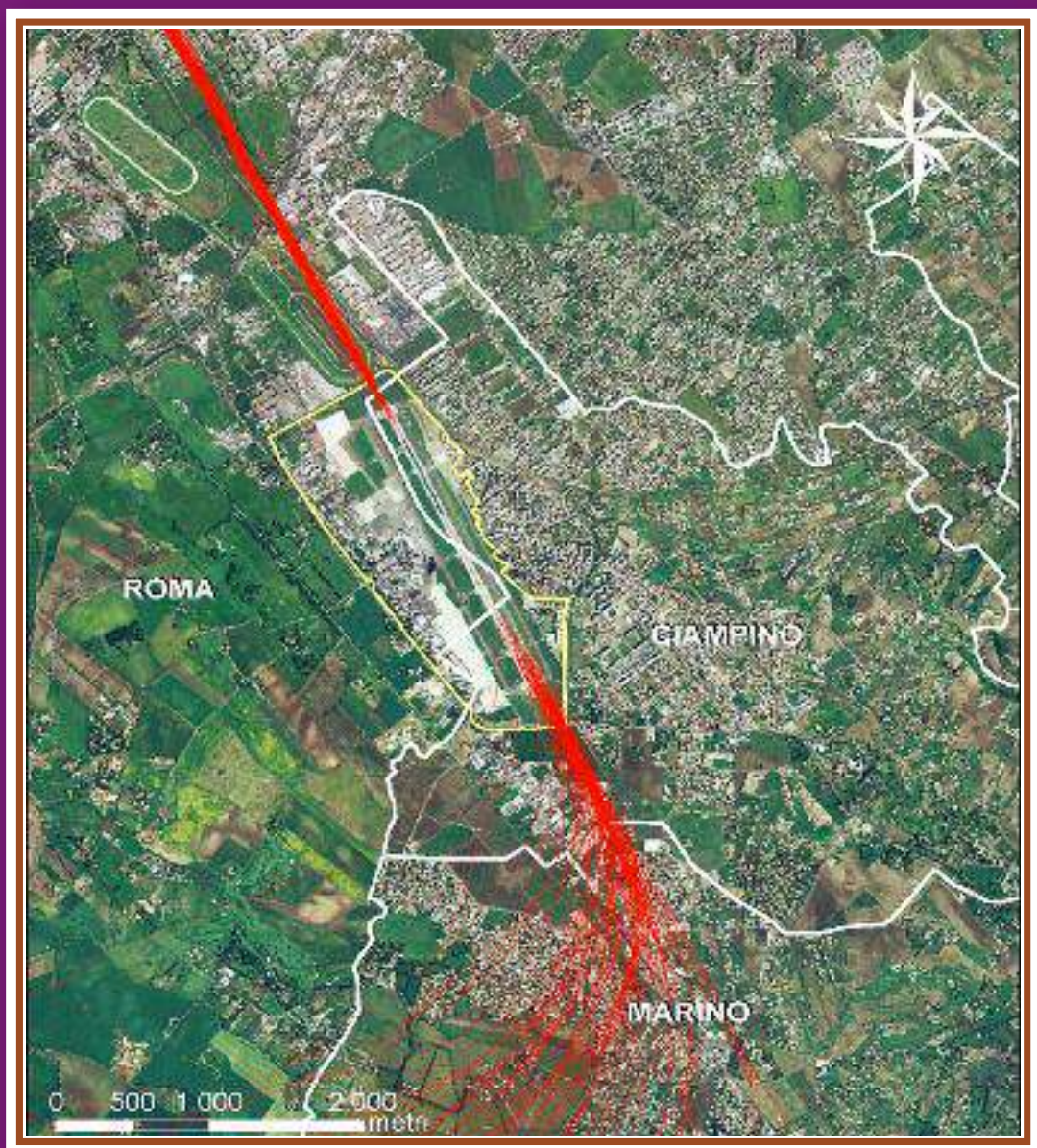


IL RUMORE AEROPORTUALE



2012



ARPALAZIO

AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO

IL RUMORE AEROPORTUALE

2012

Il rumore aeroportuale

Rapporto a cura di:

Servizio tecnico - Tina Fabozzi, Gianmario Bignardi, Valerio Briotti, Roberta Caleprico, Raffaele Piatti, Marilena Tedeschi

ABSTRACT: The noise made by planes in taking off and landing is an important source of disturbance for the population living near airports. In Italy, the morphology and topography, due to the heavy urbanization of the territory, are such that these facilities are often located in areas adjacent to urban places.

The rules controlling the airport noise have to combine several needs that are often conflicting with one another. Even if there is the need to expand air traffic, on the other side there is increasing need for protection of the population living near by the routes for aircraft's landing and takeoff. The set of rules defined by the legislator is apparently clear, but the practical application of the rules has several management regulatory problems and problems of technical nature. The legislation, in fact, met considerable difficulties in practice, due to problems of interpretation which have brought in several cases in a deadlock or unequal application of regulations between different airports. For the airport noise control the legislation requires application of sophisticated management tools and methodologies that are not immediately applicable. The need to separate the aircraft noise from other forms of noise, influences the placement of the monitoring networks. That choice should be the best compromise between the need to better estimate the aircraft noise, the measurement of noise levels near by the areas adjacent to urban places and the check of noise abatement procedures imposed on the aircrafts.

In this paper the technical and regulatory elements on airport noise will be discussed. In fact, are going to be described the main characteristics of noise generated by aircraft, the main regulations and institutional roles. Particular attention is going to be paid on the acoustics zoning of an airport that, like the municipal zoning, represents an act of political and technical governance of the territory, since, in addition to defining noise limits for the specific noise source, it also introduces some specific restrictions on its use. It was finally described a case study of airport monitoring made by ARPA Lazio at the airport "G.B. Pastine" Ciampino.

Keywords: acoustics, airport, monitoring, noise, zoning.

RIASSUNTO: Il rumore prodotto dagli aerei in fase di decollo e atterraggio rappresenta una fonte importante di disturbo per la popolazione che risiede nelle vicinanze degli aeroporti. 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 normativa che regola il rumore aeroportuale si trova oggi a dover combinare diverse esigenze spesso conflittuali. Se da una parte vige la necessità di consentire sempre più uno sviluppo del traffico aereo, dall'altra aumenta l'esigenza di tutela della popolazione residente sotto le rotte di atterraggio e decollo degli aerei. Il percorso normativo definito dal legislatore risulta apparentemente chiaro, ma l'applicazione pratica delle regole ha evidenziato diversi problemi sia di natura regolatoria-gestionale che di natura tecnica. La normativa, infatti, ha incontrato notevoli difficoltà nell'applicazione pratica, dovute ad alcune questioni interpretative che hanno portato in diversi casi a una situazione di stallo o comunque ad applicazioni difformi della normativa tra i diversi aeroporti nazionali. Ai fini del controllo dell'inquinamento acustico aeroportuale la normativa vigente richiede l'applicazione di metodologie e strumenti gestionali sofisticati che non sono di immediata applicazione. La necessità di separare il rumore di origine aeronautica dalle restanti forme di inquinamento acustico influenza, tra l'altro, la scelta del posizionamento delle stazioni di monitoraggio. Infatti, tale scelta dovrebbe risultare il miglior compromesso tra l'esigenza di stimare al meglio il rumore aereo, la misura dei livelli di rumore presso insediamenti abitativi sensibili e il controllo del rispetto delle procedure antirumore imposte agli aeromobili.

Nel presente lavoro vengono illustrati gli elementi tecnici e normativi sul rumore aeroportuale. Vengono infatti descritte le principali caratteristiche del rumore generato dagli aeromobili, i principali riferimenti normativi e i ruoli istituzionali. Particolare attenzione è stata riservata alla zonizzazione acustica aeroportuale che, analogamente a quella comunale, rappresenta un atto tecnico-politico di governo del territorio, visto che, oltre a definire limiti acustici per la specifica sorgente di rumore, ne introduce anche degli specifici vincoli di utilizzo. È stato, infine, descritto un caso pratico di monitoraggio aeroportuale effettuato dall'ARPA Lazio presso l'aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino.

Parole Chiave: acustica, aeroporto, monitoraggio, rumore, zonizzazione.

Contatti autori: tina.fabozzi@arpalazio.it

© ARPA Lazio - Rieti 2012

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Coordinamento editoriale: ARPA Lazio - Divisione polo didattico

INDICE

LEGENDA	Pag.	5
PARTE A: IL RUMORE AEROPORTUALE	“	7
1. INTRODUZIONE	“	7
2. IL CONTROLLO DEL RUMORE AEROPORTUALE	“	11
2.1. Principali caratteristiche del rumore aeroportuale	“	12
3. I RIFERIMENTI NORMATIVI	“	13
4. L'INDICE DI VALUTAZIONE AEROPORTUALE E IL SISTEMA DI MONITORAGGIO	“	17
5. IL RUMORE GENERATO DAGLI AEROMOBILI	“	21
5.1. La propagazione del rumore da aeromobile	“	21
5.1.1. La riduzione delle emissioni sonore degli aeromobili	“	23
5.2. Aeromobili con motore a getto	“	24
5.2.1. Funzionamento del motore a getto	“	24
5.2.2. Le sorgenti principali di rumore nel motore a getto	“	25
5.2.3. Il turbogetto puro	“	26
5.2.4. Il turbofan a basso rapporto di bypass	“	28
5.2.5. Il turbofan ad alto rapporto di bypass	“	29
5.3. Rumore aerodinamico di forma	“	30
6. I RUOLI ISTITUZIONALI	“	33
6.1. Commissioni aeroportuali	“	33
6.1.1. Commissioni ai sensi dell'art. 4 del D.M. 31-10-1997	“	33
6.1.2. Commissione aeroportuale ai sensi dell'art. 5 del D.M. 31-10-1997	“	33
6.1.3. Procedure antirumore	“	34
6.1.4. Zonizzazione acustica aeroportuale e criticità	“	34
6.1.5. Definizione indici per la classificazione degli aeroporti	“	38
6.2. Compiti della Regione	“	39
6.2.1. Imposta regionale sulle emissioni sonore degli aeromobili (IRESA)	“	39
6.3. Ruolo dell'ARPA	“	41
6.3.1. I CRISTAL	“	42
6.4. Ruolo del direttore della circoscrizione	“	43
6.5. Ruolo dell'ENAV	“	43
6.6. Ruolo dell'ENAC	“	43
6.7. Compiti delle società e degli enti gestori	“	43

PARTE B: AEROPORTO "G.B. PASTINE"	
ESEMPIO DI UN MONITORAGGIO AEROPORTUALE	" 47
7. DESCRIZIONE AEROPORTO "G.B. PASTINE" DI CIAMPINO	" 47
8. SISTEMA DI MONITORAGGIO	" 51
8.1. Stazioni di misura ARPA Lazio	" 51
8.2. Catena strumentale e software	" 51
8.2.1. Calibrazione e certificazione SIT	" 52
8.3. Sensibilità delle postazioni ai movimenti aerei	" 52
9. METODOLOGIA DI ANALISI DEI DATI	" 53
9.1. Scelta delle settimane con maggior numero di movimenti	" 53
9.1.1. Statistiche del volato	" 56
9.2. Determinazione del rumore di origine aeronautica	" 58
9.3. Metodologia di correlazione degli eventi	" 58
9.3.1. Eventi correlati	" 59
10. CALCOLO DELL'INDICE LVA	" 63
11. STUDIO DEGLI SCENARI DI IMPATTO ACUSTICO	" 65
11.1. Modello previsionale	" 65
11.1.1. Periodo di riferimento	" 66
11.1.2. Dati meteo	" 66
11.1.3. Dati di traffico - profili	" 66
11.1.4. Modalità di assegnazione del traffico	" 66
11.1.5. Definizione di giorno medio	" 67
11.1.6. Definizione del dominio di calcolo	" 67
11.2. Output INM: calcolo impronta acustica aeroportuale	" 67
12. CALCOLO DELLA POPOLAZIONE ESPOSTA	" 69
13. ZONIZZAZIONE ACUSTICA DELL'AEROPORTO "G.B. PASTINE"	" 71
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	" 73
INDICE DELLE FIGURE	" 75
INDICE DELLE TABELLE	" 76
ELENCO ALLEGATI	" 77

LEGENDA

Acronimo	Definizione
ADR	Aeroporti di Roma
AIP	Aeronautical Information Publication (Pubblicazione delle informazioni aeronautiche)
APAT	Agenzia per la Protezione dell' Ambiente e per i servizi Tecnici
APU	Auxiliary Power Unit (Unità ausiliaria di potenza)
ARP	Aerodrome Reference Point (punto di riferimento geografico per la localizzazione dell'aeroporto)
ARPA	Agenzia Regionale di Protezione dell' Ambiente
CRISTAL	Centro Regionale Infrastrutture Sistemi Trasporto Aereo del Lazio
ENAC	Ente Nazionale per l'Aviazione Civile
ENAV	Ente Nazionale per l'Assistenza al Volo
EPNdB	Effective Perceived Noise in Decibels (Unità di misura del livello effettivo di rumorosità percepita)
FAA	Federal Aviation Administration (Agenzia federale statunitense per l'aviazione civile)
GIS	Geographic Information System (Sistema Informativo Geografico)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile)
ILS	Instrumental Landing System
INM	Integrated Noise Model
IRESA	Imposta Regionale sulle Emissioni Sonore degli Aeromobili
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Istat	Istituto nazionale di statistica
LAeq	Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A
LAeq,Ti	Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A dell'i-esimo evento sonoro
LAF	Livello equivalente ponderato A in costante di tempo Fast
LAFmax	Livello massimo della pressione sonora in curva di ponderazione A, con la costante di tempo Fast
Lden	Day-evening-night level (Descrittore acustico giorno-sera-notte)
LPN	Livello di rumore percepito
LVA	Livello di valutazione del rumore aeroportuale
LVAd	Livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo diurno
LVAj	Valore giornaliero del livello di valutazione del rumore aeroportuale
LVAn	Livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo notturno
SEL	Livello dell'evento sonoro associato al singolo movimento
VOR	Very High Frequency Omnidirectional Radio Range (sistema di radionavigazione per aeromobili)

PARTE A: IL RUMORE AEROPORTUALE

1. INTRODUZIONE

Il rumore prodotto dagli aerei in fase di decollo e atterraggio rappresenta una fonte importante 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 ha mostrato nel tempo un progressivo e significativo aumento (fig. 1).

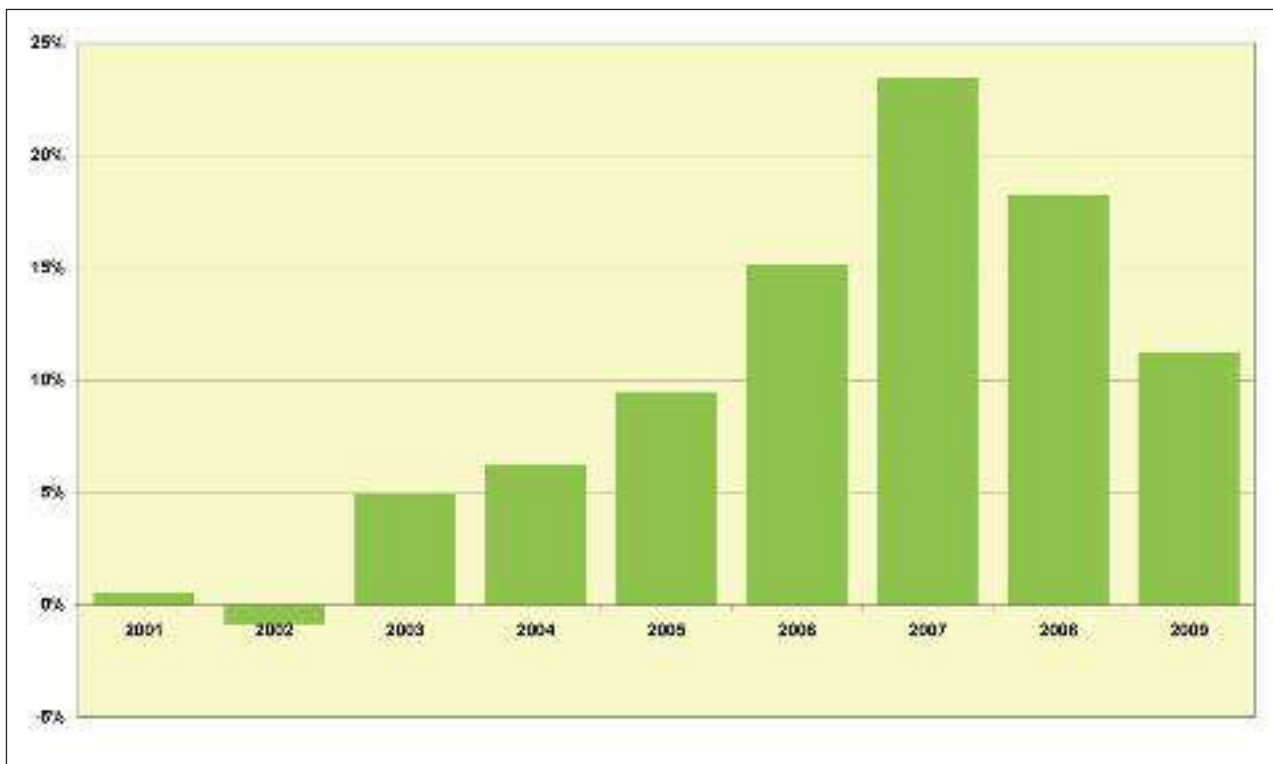


Fig. 1 - Incremento percentuale del numero di movimenti aerei rispetto al 2000

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

I problemi ambientali connessi alla presenza di un aeroporto non sono mai trascurabili e riguardano pressioni che vanno dalla gestione dei rifiuti all'inquinamento atmosferico, dal traffico autoveicolare 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.

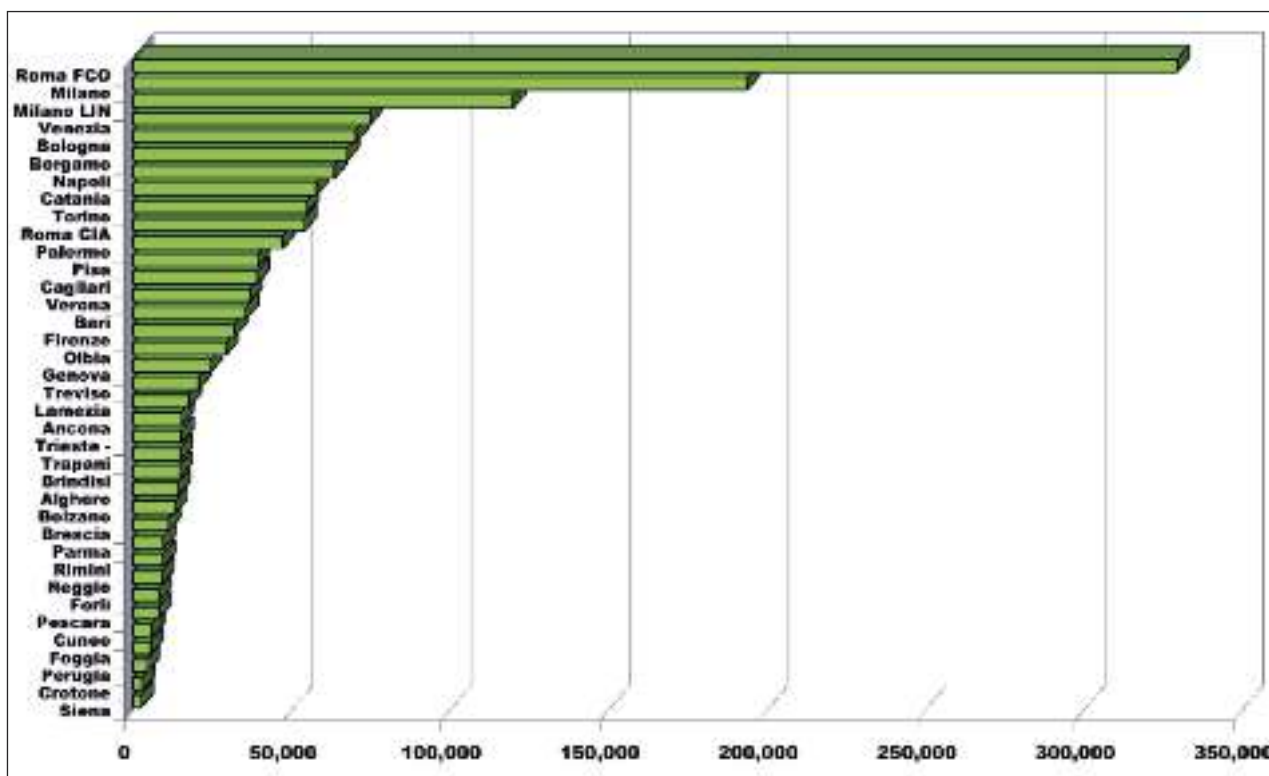


Fig. 2 - Movimenti aerei relativi all'anno 2010 negli aeroporti italiani

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. Il rumore prodotto da un aereo dipende da diversi fattori: la tipologia dell'aeromobile, la quota di sorvolo, il tipo di movimentazione (decollo/atterraggio) e la traiettoria seguita. Gli aeroporti minori, le elisuperfici, le aviosuperfici (aree non appartenenti al demanio aeronautico riconosciute comunque idonee alla partenza e all'approdo degli aeromobili), sia per la tipologia di mezzi utilizzati sia per il ridotto flusso di traffico, coinvolgono nel complesso un territorio più contenuto e un minor numero di persone, sebbene localmente possano comportare situazioni particolarmente critiche e rappresentare, pertanto, la principale causa di disturbo. 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 (aeroporti di Ciampino, Bergamo e Catania).

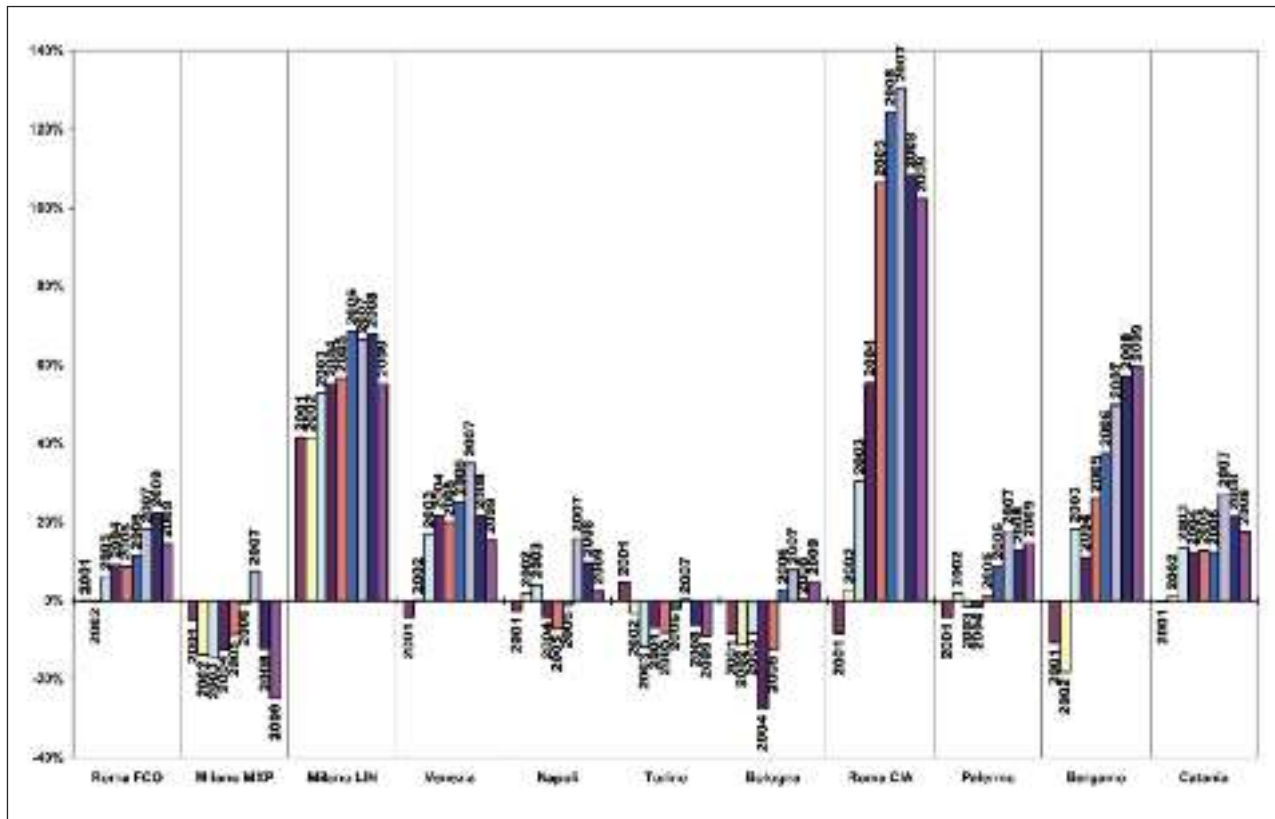


Fig. 3 - Incremento percentuale dei voli rispetto al 2000 negli aeroporti italiani

La normativa che regola il rumore aeroportuale si trova oggi a dover combinare diverse esigenze spesso conflittuali. Se da una parte vige la necessità di consentire sempre più uno sviluppo del traffico aereo, dall'altra aumenta l'esigenza di tutela della popolazione residente sotto le rotte di atterraggio e decollo degli aerei. La presenza di queste infrastrutture, inoltre, limita i Comuni nella pianificazione territoriale delle aree coinvolte.

Oggi in Italia il rumore aeroportuale viene regolamentato da diversi decreti che definiscono le seguenti linee di azione principali:

- caratterizzazione delle aree circostanti l'aeroporto mediante la definizione di 3 zone, definite come A, B e C, a cui corrispondono specifiche limitazioni nella destinazione d'uso delle stesse;
- definizione dei limiti di rumore da rispettare da parte dell'infrastruttura in ciascuna zona;
- applicazione di una specifica metodologia di misura del rumore prodotto dal trasporto aereo;
- definizione per ciascun aeroporto di procedure antirumore che devono essere rispettate dagli aerei in fase di atterraggio e decollo e nelle operazioni a terra;
- obbligo di realizzare e gestire un sistema di monitoraggio in continuo del rumore aeroportuale al fine di garantire il rispetto dei limiti;
- limitazione del traffico aereo nel periodo notturno;
- obbligo di adozione di misure di risanamento nel caso di non rispetto dei limiti di classificazione degli aeroporti nazionali sulla base dei livelli di rumore prodotti nell'ambiente circostante.

Il percorso normativo definito dal legislatore risulta apparentemente chiaro ma l'applicazione pratica delle regole ha evidenziato diversi problemi sia di natura regolatoria-gestionale che di natura tecnica. La normativa, infatti, ha incontrato notevoli difficoltà nell'applicazione pratica, dovute ad alcune questioni interpretative che hanno portato in diversi casi a una situazione di stallo o comunque ad applicazioni difformi della normativa tra i diversi aeroporti nazionali.

2. IL CONTROLLO DEL RUMORE AEROPORTUALE

Il controllo dell'inquinamento acustico aeroportuale richiede l'applicazione di metodologie e strumenti gestionali sofisticati che non sono di immediata realizzazione.

La normativa italiana in materia di tutela dall'inquinamento acustico (legge quadro e decreti attuativi) stabilisce che nei dintorni di ogni scalo aperto al traffico civile debba essere controllato il rumore di origine aeroportuale. Il sistema di rilevazione, analisi ed elaborazione dati viene gestito dalla società esercente l'aeroporto; all'ARPA (l'Agenzia Regionale di Protezione dell'Ambiente) è assegnato per legge il compito di verificare tale sistema. L'area di impatto acustico di origine aeronautica viene solitamente rappresentata tramite curve di isolivello, curve ideali congiungenti punti del territorio corrispondenti a eguali valori dell'indice descrittore acustico (LVA) di cui all'allegato "A", punto 1 del decreto ministeriale del 31 ottobre 1997.

Glossario	
Clima acustico	Termine con il quale si intendono le condizioni sonore esistenti in una determinata porzione di territorio, derivanti dall'insieme di tutte le sorgenti sonore naturali e antropiche
Intorno aeroportuale	Aree sottoposte all'impatto acustico di origine aeronautica, ovvero dove sono misurati o previsti valori di LVA superiori a 60 dBA (A, B e C) che comportano una differente pianificazione territoriale [Dm 31/10/1997]

La Commissione aeroportuale, istituita presso ciascun aeroporto ai sensi del decreto ministeriale del 31 ottobre 1997 "Metodologia di misura del rumore aeroportuale", ha il compito di classificare le zone dell'intorno aeroportuale e stabilire le procedure antirumore. Lo scopo è quello di ridurre l'inquinamento acustico nelle suddette aree e minimizzare il numero di persone esposte.

Il problema del rumore dovuto agli aeromobili riguarda principalmente i territori circostanti gli aeroporti, dove è necessario che i livelli di rumore causati dagli aeromobili vengano misurati o stimati tramite modelli, scorporandoli dalle altre sorgenti. Il parametro stabilito dalla normativa nazionale per considerare il rumore degli aeromobili è il livello di valutazione aeroportuale (LVA). La valutazione del rumore dovuto agli aeromobili richiede che ciascun evento acustico di origine aeronautica venga riconosciuto e discriminato rispetto alle altre fonti di rumore. Inoltre, presso le postazioni di misura risulta indispensabile poter correlare il tracciato radar del singolo movimento aereo con l'evento rumoroso da esso generato. La separazione del rumore di origine aeronautica dalle restanti forme di inquinamento acustico influenza anche la scelta del posizionamento delle stazioni di monitoraggio. Infatti, tale scelta dovrebbe risultare il miglior compromesso tra l'esigenza di stimare al meglio il rumore aereo e le finalità alle quali è deputata la centralina stessa, ossia la misura dei livelli di rumore presso insediamenti abitativi sensibili e il controllo del rispetto delle procedure antirumore imposte agli aeromobili.

La riduzione del rumore degli interni aeroportuali può essere perseguita attraverso differenti approcci che possono concorrere a ottenere i seguenti risultati positivi:

- la riduzione delle emissioni sonore degli aeromobili;
- l'attuazione di procedure antirumore;
- la messa in atto di restrizioni operative;
- una corretta pianificazione territoriale.

2.1. Principali caratteristiche del rumore aeroportuale

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.

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 pre-stabilito, 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 minore 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. 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 (area di atterraggio).

Analogo effetto, sebbene di minore intensità, viene prodotto dai movimenti degli 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. I RIFERIMENTI NORMATIVI

Con l'emanazione della legge quadro sull'inquinamento acustico (L. 26-10-1995, n. 447) è stato avviato un percorso di riassetto e di ricostruzione dell'impalcato normativo in tema di rumore ambientale dal quale scaturiscono anche i decreti applicativi che regolamentano l'inquinamento acustico di natura aeroportuale.

Gli attuali riferimenti normativi riguardanti il rumore aeroportuale sono di seguito schematizzati:

L. 26-10-1995, n. 447	Legge quadro sull'inquinamento acustico
D.P.C.M. 14-11-1997	Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore
D.M. 31-10-1997	Metodologia di misura del rumore aeroportuale
D.P.R. 11-12-1997, n. 496	Regolamento recante norme per la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto dagli aeromobili civili
D.M. 20-05-1999	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
D.P.R. 09-11-1999, n. 476	Regolamento recante modificazioni al D.P.R. 11 dicembre 1997, n. 496, concernente il divieto di voli notturni
D.M. 03-12-1999	Procedure antirumore e zone di rispetto negli aeroporti
L. 21-11-2000, n. 342	Misure in materia fiscale CAPO IV - Imposta regionale sulle emissioni sonore degli aeromobili
D.Lgs. 17-01-2005, n.13	Attuazione della direttiva 2002/30/CE relativa all'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti comunitari
D.Lgs. 19-08-2005, n.194	Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale

Tab. 1 - Riferimenti normativi per il rumore aeroportuale

L'impalcatura normativa derivante dalla "Legge Quadro" (447/1995) prevede il coinvolgimento di vari soggetti ed enti istituzionali nella gestione dei problemi inerenti al rumore aeroportuale, come di seguito specificato:

- l'ENAC istituisce e presiede una Commissione per ogni aeroporto aperto al traffico civile e verifica le certificazioni delle emissioni acustiche degli aeromobili;
- l'ENAV fornisce, quando disponibili, i tracciati radar delle traiettorie degli aeromobili civili, relativi ai sorvoli delle aree di interesse, ai gestori delle infrastrutture aeroportuali;
- le commissioni aeroportuali propongono le procedure antirumore e i confini delle aree di rispetto (zone A, B e C) di ciascun aeroporto, determinano inoltre gli indici di inquinamento acustico degli stessi;
- i Direttori di Circostrizione Aeroportuale adottano le procedure antirumore, contestano le violazioni ai vettori su segnalazione degli enti gestori e riscuotono le sanzioni amministrative;
- il Vettore applica le procedure antirumore;
- l'Esercente gestisce la rete di monitoraggio del rumore aeroportuale e attua i piani di risanamento acustico;
- l'ISPRA (ex ANPA e APAT) valida i modelli matematici per la determinazione delle curve di isolivello;
- le ARPA controllano l'efficienza dei sistemi di monitoraggio, il loro corretto impiego e verificano la documentazione delle emissioni degli aeromobili.

L'assetto normativo nazionale contempla anche due decreti legislativi, di seguito sintetizzati nei contenuti, emanati in attuazione di due direttive CE (direttiva 2002/30/CE e direttiva 2002/49/CE), che, ai fini del contenimento del rumore aeroportuale, introducono restrizioni operative per gli aeroporti che superano i limiti acustici e individuano scadenze temporali che le società di gestione aeroportuale devono rispettare per conseguire specifici adempimenti tecnico-gestionali.

In particolare, il D.Lgs. 17-01-2005 n. 13 "Attuazione della direttiva 2002/30/CE relativa all'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti comunitari" stabilisce condizioni e modalità per l'adozione di restrizioni operative volte a favorire il raggiungimento di obiettivi di riduzione dell'inquinamento acustico a livello dei singoli aeroporti. I contenuti del decreto si applicano esclusivamente agli aeroporti aventi un traffico superiore a 50.000 movimenti/anno di velivoli la cui massa massima al decollo è maggiore o uguale a 34 tonnellate e agli "aeroporti metropolitani" individuati nell'allegato 1 (Berlin - Tempelhof, Stockholm Bromma, London City, Belfast City).

Le restrizioni operative sono misure relative alle emissioni acustiche mediante le quali viene limitato, ridotto, oppure vietato nel caso dei velivoli marginalmente conformi¹, l'accesso di velivoli subsonici civili a reazione in uno specifico aeroporto. Le restrizioni operative sono adottate, tenuto conto dell'approccio equilibrato, esclusivamente nel caso in cui venga dimostrato che l'attuazione di ogni altra misura di contenimento dell'inquinamento acustico, prevista dalla normativa vigente in attuazione della legge 447/1995, non consenta di raggiungere gli obiettivi stabiliti dal decreto.

Nel decreto viene introdotto il cosiddetto "approccio equilibrato" definito come il metodo in base al quale sono prese in considerazione le misure disponibili per affrontare il problema dell'inquinamento acustico in un aeroporto e, in particolare, la riduzione alla fonte del rumore degli aeromobili, la pianificazione e la gestione del territorio, le procedure operative di riduzione del rumore e le restrizioni operative, tenuto conto dei criteri e delle linee guida pubblicati dall'Organizzazione internazionale per l'aviazione civile, di seguito denominata «ICAO», e comunque degli obiettivi del decreto stesso. Per l'adozione delle restrizioni operative il decreto prevede l'istituzione presso il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti di un Comitato tecnico-consultivo composto di dieci tecnici indicati rispettivamente da:

- 1) Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, con funzioni di presidente;
- 2) Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio;
- 3) ENAC;
- 4) ENAV S.p.A;
- 5) Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici;
- 6) Regioni e Province autonome;
- 7) Unione delle Province d'Italia;
- 8) Associazione nazionale dei Comuni italiani;
- 9) Associazioni dei vettori aerei più rappresentative a livello nazionale;
- 10) Associazione delle società di gestione aeroportuale.

Tale Comitato ha il compito di emanare le linee-guida di indirizzo per l'adozione delle restrizioni operative, individuare e proporre all'ENAC le ipotesi di eventuali restrizioni operative ritenute idonee, alla luce delle valutazioni eseguite dalla Commissione aeroportuale. Tale Comitato è stato costituito ma, ad oggi, non si è ancora riunito.

¹ *Velivolo marginalmente conforme*: un velivolo subsonico civile a reazione che soddisfa i limiti di certificazione definiti nel volume 1, parte II, capitolo 3, dell'annesso 16 della convenzione sull'Aviazione civile internazionale, stipulata a Chicago il 7 dicembre 1944, approvata e resa esecutiva con decreto legislativo 6 marzo 1948, n. 616, e ratificata con legge 17 aprile 1956, n. 561, con margine cumulativo non superiore a 5 EPNdB (Effective Perceived Noise in decibels - unità di misura del livello effettivo di rumorosità percepita). Per margine cumulativo si intende la cifra espressa in EPNdB ottenuta sommando le singole eccedenze, cioè le differenze tra il livello di rumore certificato e il livello di rumore massimo autorizzato, misurate in ciascuno dei tre punti di riferimento per la misurazione del rumore, quali definiti nel volume 1, parte II, capitolo 3, del citato annesso 16.

Il D.Lgs. n. 194 del 19-08-2005 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale” recepisce la direttiva 2002/49/CE ed è rivolto alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale delle industrie e delle grandi infrastrutture di comunicazione, in particolare fa riferimento agli “aeroporti principali” definiti come aeroporti civili o militari con più di 50.000 movimenti l'anno. Tale decreto definisce le competenze e le procedure per:

- 1) l'elaborazione della mappatura acustica, in termini di rappresentazione dell'ambiente acustico relativamente alla presenza di una determinata sorgente, e la redazione della mappa acustica strategica, finalizzata alla determinazione dell'esposizione globale al rumore causato da tutte le sorgenti presenti in una determinata zona;
- 2) l'elaborazione e l'adozione dei piani di azione, destinati a gestire i problemi relativi all'inquinamento acustico;
- 3) assicurare l'informazione e la partecipazione del pubblico.

Il decreto definisce i nuovi descrittori acustici Lden (day-evening-night) e impegna le società o gli enti gestori a elaborare le mappe acustiche entro il 30/06/2007 e, entro il 18/07/2008, a definire i piani d'azione per l'abbattimento del rumore.

4. L'INDICE DI VALUTAZIONE AEROPORTUALE E IL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Attualmente le funzioni assegnate all'ARPA, all'ENAC, alla società di gestione aeroportuale e agli enti locali per il rispetto delle norme in materia di inquinamento acustico, vengono descritte nel D.M. 20-05-1999 che dà indicazioni sulla progettazione dei sistemi di monitoraggio e nel D.M. 31-10-1997 per la determinazione del livello di valutazione del rumore aeroportuale LVA.

In Italia, il descrittore acustico individuato dal legislatore per la determinazione del livello di rumore aeroportuale è il cosiddetto LVA (Livello di Valutazione del rumore Aeroportuale), per il calcolo del quale, come successivamente verrà meglio descritto, è necessario eseguire rilevazioni acustiche per almeno un anno. L'indice LVA, in particolare, è un indicatore che per la sua determinazione richiede una complessa e lunga procedura di calcolo tale per cui, purtroppo, diventa spesso non immediato eseguire la verifica del rispetto dei limiti imposti agli aeroporti derivante dalle regolamentazioni oggi vigenti. Inoltre, si fa osservare che l'indicatore LVA perde di significato a mano a mano che ci si allontana dall'aeroporto e può assumere anche valore nullo, laddove il livello di rumore di fondo maschera gli eventi aeronautici.

Purtroppo è doveroso anche sottolineare come, alla difficoltà di determinare in maniera corretta tale indicatore, si somma un importante inconveniente visto che, essendo l'indice LVA un parametro di valore mediato nel lungo periodo e relativo alla sommatoria di tutti gli eventi di origine aeronautica, non risulta idoneo per la determinazione delle violazioni delle procedure antirumore dei singoli voli, prevista dal D.P.R. 496/1997.

Il D.M. 31-10-1997 "Metodologia di misura del rumore aeroportuale" definisce il campo di applicazione ai fini del contenimento dell'inquinamento acustico negli aeroporti civili e negli aeroporti militari aperti al traffico civile, i criteri di misura del rumore emesso dagli aeromobili nelle attività aeroportuali, fissa l'indice di riferimento (LVA) e individua le aree di rispetto intorno agli aeroporti. La procedura per la determinazione del valore di LVA è riportata nell'allegato A.

Il decreto, oltre a elencare le importanti definizioni di aeromobile, esercente, aeroporto, aviosuperficie, curve di isolivello, attività aeroportuali, intorno aeroportuale, definisce nell'allegato A i periodi di riferimento diurno e notturno che, diversamente dalle altre sorgenti acustiche, sono compresi rispettivamente tra le 06:00 e le 23:00 e tra le 23:00 e le 06:00.

Il livello di valutazione del rumore aeroportuale (LVA) è definito dalla seguente espressione, dove N è il numero dei giorni del periodo di osservazione del fenomeno, L_{VAj} è il valore giornaliero del livello di valutazione del rumore aeroportuale:

$$LVA = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 10^{L_{VAj}/10} \right] dB(A)$$

Il decreto stabilisce che il numero dei giorni N del periodo di osservazione del fenomeno deve essere pari a 21, che corrispondono a tre settimane nel corso dell'anno, ciascuna delle quali scelta nell'ambito dei seguenti tre periodi:

- tra il 1° ottobre e il 31 gennaio;
- tra il 1° febbraio e il 31 maggio;
- tra il 1° giugno e il 30 settembre.

La settimana di osservazione selezionata all'interno di ogni periodo deve essere quella a maggior numero di movimenti e la misura del rumore, durante ciascuna settimana di osservazione, deve essere effettuata di continuo nel tempo.

Il valore giornaliero del livello di valutazione del rumore aeroportuale (**LVAj**) si determina mediante la relazione sotto indicata, dove LVA_d e LVA_n rappresentano, rispettivamente, il livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo diurno (06.00 - 23.00) e notturno (23.00 - 06.00). Per il calcolo dell'LVAj devono essere considerate 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:

$$LVA_j = 10 \log \left[\frac{17}{24} 10^{LVA_d/10} + \frac{7}{24} 10^{LVA_n/10} \right] dB(A)$$

Il livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo diurno (**LVA_d**) è determinato dalla seguente relazione, in cui T_d è la durata in secondi del periodo diurno (61.200 sec.), 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:

$$LVA_d = 10 \log \left[\frac{1}{T_d} \sum_{i=1}^{N_d} 10^{SEL_i/10} \right] dB(A)$$

Il livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo notturno (**LVA_n**) è determinato mediante la seguente relazione, in cui T_n è la durata in secondi del periodo notturno (25.200 secondi), N_n è il numero totale dei movimenti degli aeromobili in detto periodo, SEL_k è il livello sonoro del k-esimo evento associato al singolo movimento:

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

Il livello sonoro dell'i-esimo evento associato al singolo movimento di aeromobile (SEL_i) è pari alla seguente relazione:

$$SEL_i = 10 \log \left[\frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_{Aj}^2(t)}{P_0^2} dt \right] = \left(L_{Aeq, T_i} + 10 \log \frac{T_i}{T_0} \right) dB(A)$$

in cui:

T₀ = 1 s,

è il tempo di riferimento;

t₁ e t₂

rappresentano gli istanti iniziale e finale della misura, cioè la durata dell'evento T_i = (t₂ - t₁) in cui il livello L_A risulta superiore alla soglia L_{AFmax} - 10 dB(A);

P_{Aj}(t)

è il valore istantaneo della pressione sonora dell'evento i-esimo ponderata A;

P₀ = 20 μPa,

rappresenta la pressione sonora di riferimento;

L_{Aeq, T_i}

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", collegato all'evento.

Per la strumentazione da adottare e le modalità di misura ai fini della caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale si rimanda ai contenuti dell'allegato B in cui vengono descritti:

- 1) il sistema di misura da adottare (sistema assistito e sistema non assistito);
- 2) il metodo di individuazione degli eventi per i sistemi assistiti;
- 3) il metodo di individuazione degli eventi per i sistemi non assistiti;
- 4) il metodo di determinazione del SEL e dei parametri correlati;
- 5) la posizione del microfono;
- 6) le caratteristiche del microfono;
- 7) le condizioni meteorologiche;
- 8) il metodo di verifica di stabilità e calibrazione;
- 9) il metodo di verifica di conformità e taratura;
- 10) l'utilizzo di modelli previsionali.

D.M. 20-05-1999 "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 definisce nel dettaglio le caratteristiche tecniche che deve possedere il sistema di monitoraggio del rumore aeroportuale, con particolare riferimento alla composizione del sistema stesso, alle caratteristiche delle stazioni di misura, all'ubicazione di tali stazioni e alle informazioni necessarie al fine di caratterizzare acusticamente ogni singolo evento.

Ubicazione stazioni di monitoraggio: devono essere situate nell'intorno aeroportuale, in corrispondenza della posizione più vicina alle proiezioni al suolo delle rotte di avvicinamento e di allontanamento dei velivoli. La scelta del luogo deve essere preceduta da un'analisi del livello di rumore di origine aeronautica (L_{AFmax}) e del livello residuo: la differenza dei due livelli nei dieci minuti di massimo rumore deve essere superiore a 20 dB. Al fine di caratterizzare in maniera completa il singolo evento prodotto dall'attività aerea, alcune stazioni di monitoraggio possono essere posizionate secondo le normative internazionali ICAO, annesso 16, volume 1.

Struttura del sistema di monitoraggio

I sistemi di monitoraggio devono essere costituiti da:

- *stazioni periferiche di rilevamento dei livelli sonori prodotti*, idonee a monitorare l'intorno aeroportuale;
- *stazioni microclimatiche*, idonee a correlare gli eventi sonori con i dati meteo-climatici, per verificare il rispetto della metodologia di misura del rumore aeroportuale (di cui al D.M. 31-10-1997 allegato B);
- *centro di elaborazione dati*, che, utilizzando opportuni software, sia in grado di raccogliere ed elaborare i dati rilevati in ogni stazione al fine di ricavare i parametri necessari per il calcolo dell'indice LVA. Il centro di elaborazione dovrà eseguire in maniera automatica la correlazione tra i parametri di rumore (SELi) e i dati aeronautici del velivolo che lo ha provocato, contenuti nei tracciati radar rilevati dall'ENAV o dai sistemi informatici del gestore aeroportuale.

Tali sistemi di monitoraggio devono essere realizzati allo scopo di:

- monitorare le singole operazioni di decollo e atterraggio;
- registrare in continuo i dati di ogni singolo evento ed effettuare il calcolo degli indici di inquinamento acustico;
- essere predisposti a recepire e gestire le eventuali lamentele da parte dei cittadini.

Dalla registrazione in continuo del rumore effettuato dalle stazioni di monitoraggio, il sistema deve essere in grado di calcolare il rumore ambientale in assenza di quello prodotto dall'attività aeronautica.

Ogni stazione di monitoraggio dovrà rendere disponibili le seguenti informazioni:

- ubicazione della postazione di rilevamento;
- data e ora dell'evento;
- durata dell'evento;
- SEL dell'evento;
- LAFmax dell'evento.

5. IL RUMORE GENERATO DAGLI AEROMOBILI

5.1. La propagazione del rumore da aeromobile

L'analisi dei problemi fondamentali connessi allo studio del rumore di tipo aeronautico è un passaggio preliminare importante che condiziona e giustifica le scelte tecnologiche che stanno alla base dei requisiti che devono possedere i sistemi di monitoraggio, tali per cui siano in grado di garantire un'adeguata protezione del territorio dal punto di vista acustico.

L'aereo produce infatti una tipologia di emissione sonora specifica e molto diversa dalle altre sorgenti acustiche relativamente ad ampiezza, spettro e durata, visto che la propagazione del suono avviene dall'alto verso il basso e il rumore generato da un aeromobile è costituito da un grandissimo numero di sorgenti aventi ciascuna ampiezza e frequenza distribuite casualmente. Infatti, le superfici aerodinamiche e i motori di un aereo a reazione sono emettitori estesi di onde acustiche prodotte, oltre che dal motore, anche dalle turbolenze e dall'attrito viscoso. Si può immaginare ogni punto della superficie dell'aeroplano come una sorgente puntuale di onde sferiche, dotata di un'intensità proporzionale alla "rumorosità" intrinseca del piccolo elemento di superficie a cui è associata la nostra sorgente puntuale idealizzata. Il rumore che un osservatore esterno percepisce è l'involuppo dei fronti d'onda generati dal complesso di sorgenti puntuali in cui è stata idealmente suddivisa la superficie 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. La difficoltà aumenta dal momento che ogni aeromobile è caratterizzato da una fisionomia acustica propria, che dipende dal tipo di velivolo, dal tipo di motorizzazione e dai parametri operativi di volo. Una volta conosciute le caratteristiche acustiche delle varie sorgenti e le traiettorie percorse da queste, è possibile stabilire il campo acustico relativo a un singolo evento o operazione. In tal modo il rumore generato da un evento aeronautico diventa idealmente schematizzabile e si può considerare il velivolo come un'unica sorgente di rumore puntiforme che si muove lungo una determinata traiettoria.

Il problema del rumore di origine aeronautica ha iniziato a diventare evidente da quando hanno fatto la loro comparsa, tra i velivoli commerciali, i motori a reazione. Il propulsore, pur non costituendo l'unica sorgente di rumore, ne rappresenta, infatti, la fonte principale, associata al flusso aerodinamico. In particolare, quest'ultimo viene definito anche rumore della struttura dell'aereo e viene prodotto dal flusso d'aria sulla fusoliera, dalle sue cavità, dalle superfici di controllo e dai carrelli d'atterraggio. Per tale motivo esso rappresenta un contributo significativo all'interno dell'aeroplano stesso, mentre può diventare di entità trascurabile, rispetto al rumore dei motori, sul territorio localizzato in prossimità dell'aeroporto (in fase di decollo).

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, il rumore generato dalle vibrazioni della struttura del motore e il rumore dovuto all'alta velocità dei gas di scarico, chiamato anche rumore aerodinamico del getto.

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 turboreazione di tipo turbo-jet, il rumore deriva in misura preponderante dall'ultima delle tre fonti, mentre per quanto riguarda i motori a turbo-fan, di più evoluta tecnologia, il disturbo arrecato si riferisce essenzialmente alla struttura del motore, in particolare all'elica con compressore e alla rotazione della turbina.

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 rumo-

re 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.

La diversa percezione del rumore aeronautico avvertito a terra è giustificata, inoltre, anche per la diversità dello spettro tra operazioni di decollo e di atterraggio.

In figura 4 sono mostrati, a titolo esemplificativo, gli spettri a 1/3 di banda di ottava di un decollo di un aereo commerciale a reazione comandato da quattro motori a turbo-fan, misurati a 5500 m dall'inizio del decollo con l'aereo a un'altezza di circa 350 m.

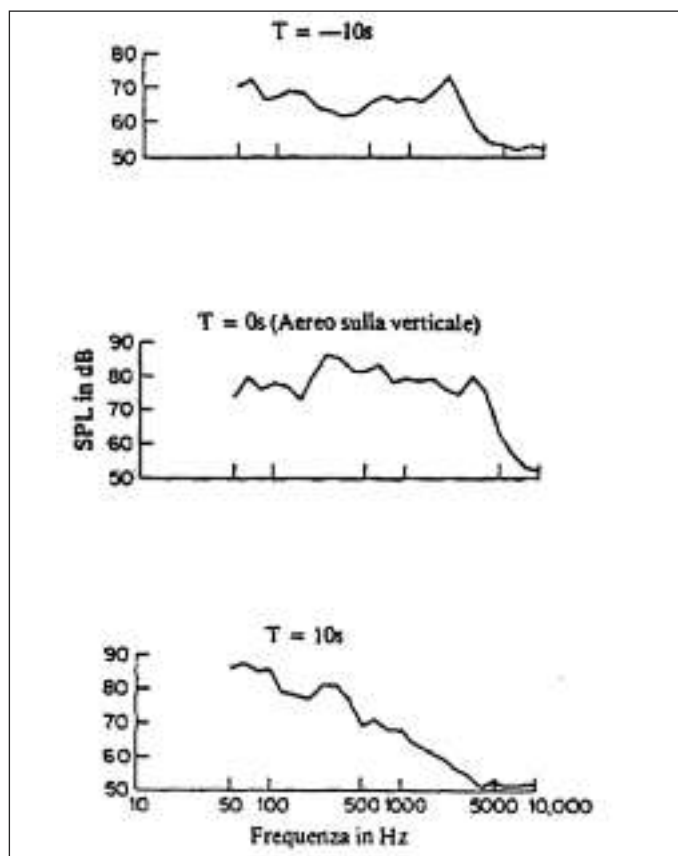


Fig. 4 - Spettri a 1/3 di banda d'ottava per un aereo a -10s e +10s di un sorvolo in decollo

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.

Un esempio della distribuzione in frequenza del rumore generato dal passaggio di un aereo si può osservare in figura 5, che rappresenta due diversi sonogrammi di sorvoli dove in ascissa è riportato l'intervallo di misura del livello sonoro e in ordinata il campo di frequenza considerato. I diversi toni di colore sono associati a livelli di pressione sonora, la cui scala di conversione è riportata sul lato destro. Il

sonogramma superiore si riferisce a un sorvolo immediatamente successivo a un decollo: si nota la presenza di componenti ad alta frequenza in fase di avvicinamento all'osservatore, mentre in fase di allontanamento dominano le componenti alle basse frequenze. Il sonogramma inferiore è associato a una fase di atterraggio: in questo caso la durata del rumore è limitata a un intervallo più breve, ma la gamma di frequenze interessata è più estesa.

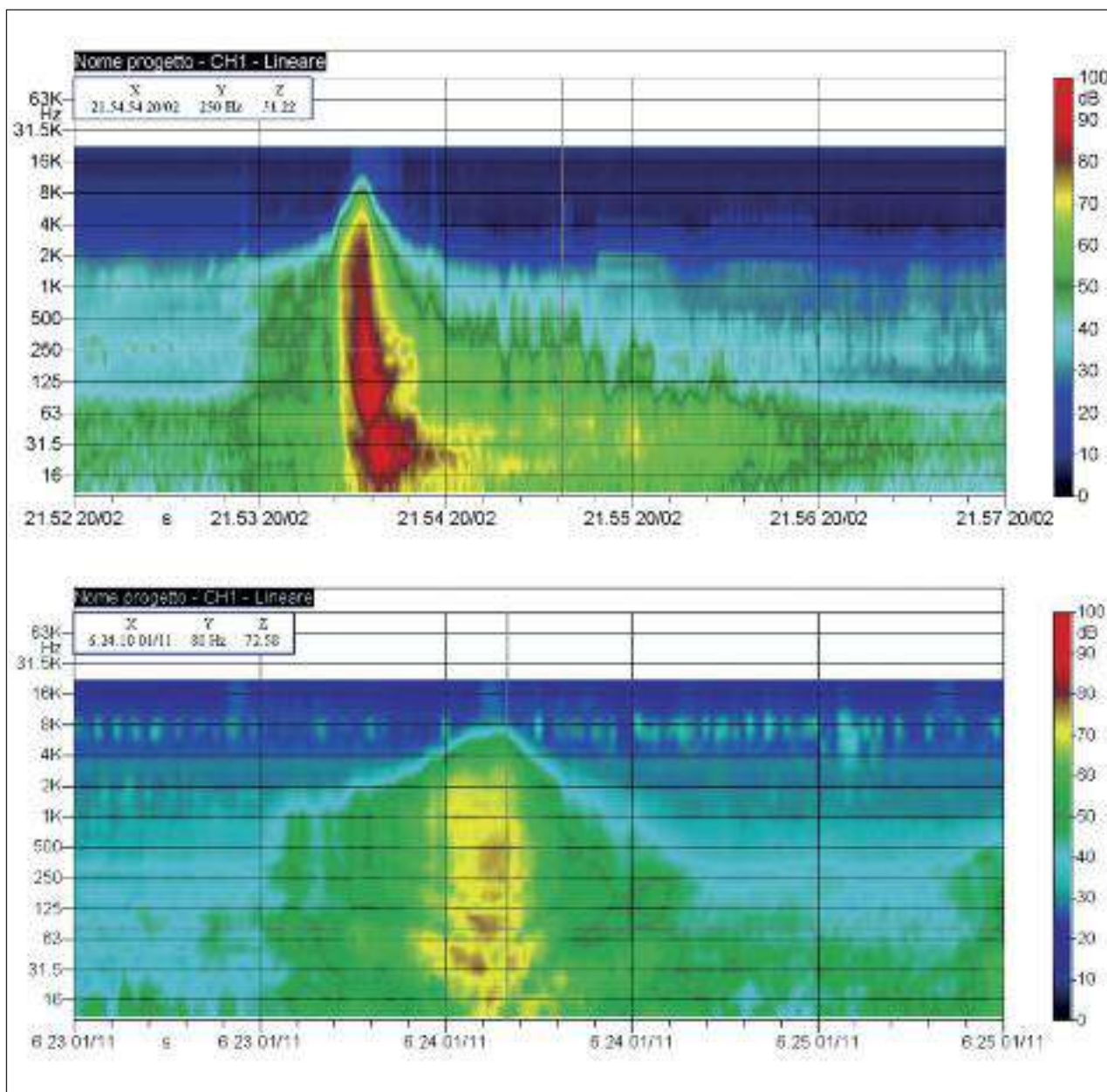


Fig. 5 - Caratteristiche del rumore generato da passaggi di aerei su edifici; sopra: fase di decollo; sotto: fase di atterraggio

5.1.1. La riduzione delle emissioni sonore degli aeromobili

I velivoli in esercizio sono classificati acusticamente in base ai requisiti di certificazione adottati dall'ICAO (International Civil Aviation Organization) e definiti nell'annesso 16 - Environmental Protection, volume I:

- capitolo 1: appartiene a questa categoria la prima generazione di motori degli anni Cinquanta e Sessanta ("turbogetto"), estremamente rumorosi e ritirati a partire dal 1990 (aeromobili tipo Caravelle, B707);

- capitolo 2: il motore di questa tipologia di aeromobili (turbofan) è reso meno rumoroso e maggiormente efficiente rispetto al turbogetto grazie a una tecnologia di costruzione più avanzata (aeromobili del tipo B727, B737-200);
- capitolo 3: i moderni motori sono meno rumorosi e inquinanti grazie a un maggiore utilizzo di materiale fonoassorbente e all'impiego di più turbine (aeromobili del tipo B747 e A320). Sono immatricolati in questa categoria anche gli aviogetti dotati di silenziatore ricertificati.

La maggior parte degli aeroplani per uso commerciale in esercizio attualmente in Italia soddisfa le specifiche del capitolo 3 dell'annesso 16 (per esempio Boeing 737-300/400, Boeing 767, Airbus A319). Nel giugno 2001 il Consiglio dell'ICAO ha adottato un ulteriore capitolo di classificazione acustica:

- capitolo 4: appartengono a questa categoria i motori più recenti in grado di rispettare il più restrittivo standard ICAO, entrato in vigore per gli aerei prodotti a partire dal 2006 (es. B777).

5.2. Aeromobili con motore a getto

Sin dal primo manifestarsi del problema dell'inquinamento acustico sugli insediamenti urbani in prossimità degli aeroporti, emerso all'inizio degli anni '60, la tecnologia aeronautica ha indirizzato i propri sforzi al contenimento delle emissioni di rumore dei motori, impostando allo scopo onerosi programmi di ricerca e sviluppo sia a breve che a lungo termine. L'imposizione dei limiti di emissioni sonore previsti dalla certificazione acustica ebbe dunque come conseguenza, oltre allo sviluppo delle tecniche di insonorizzazione dei motori esistenti, anche una migliore disposizione costruttiva verso motori di tipo completamente nuovo, meno rumorosi. Questo fatto, unitamente alla concomitante tendenza a disporre di maggiori spinte e di più elevati rendimenti, portò alla produzione dei motori turbofan a basso rapporto di bypass prima e alto rapporto di bypass poi, questi ultimi addirittura con livelli di emissione inferiori fino a 5 dB rispetto ai limiti della certificazione acustica "capitolo 3". Nell'arco di circa trent'anni, le azioni di regolamentazione, a suo tempo intraprese su basi nazionali e internazionali, hanno dunque permesso di ottenere dei risultati di tutto rilievo, impedendo, nonostante l'imponente crescita del traffico aereo, un aggravamento significativo delle situazioni di esposizione al rumore negli insediamenti urbani e, in certi casi, hanno consentito anche un miglioramento delle stesse.

5.2.1. Funzionamento del motore a getto

Il motore a getto è costituito essenzialmente da una presa d'aria esterna ove l'aria viene convogliata in un compressore assiale a più stadi che la comprime in un rapporto di circa 20:1. Una parte di aria entra nella camera di combustione combinandosi a titolo stechiometrico 15:1 con il combustibile, la rimanente parte lambisce esternamente la camera di combustione, raffreddandola. Tale flusso, inoltre, all'uscita della camera si unisce ai gas di combustione diminuendone drasticamente la temperatura. I gas di combustione così miscelati entrano quindi nella turbina ed espandendosi parzialmente producono il lavoro necessario ad azionare il compressore con il quale la turbina è collegata coassialmente. All'uscita dalla turbina, i gas, nell'ugello di scarico, completano la loro espansione uscendone a elevata velocità e costituendo appunto il getto.

Alla forza che fa uscire i gas dall'ugello corrisponde una reazione uguale e contraria che spinge il motore in senso opposto a quello dei gas. Tale reazione è detta spinta S ed è pertanto data dalla:

$$S = m (U-V) \quad (4.1)$$

dove:

m = il flusso massico dei gas in kg/s,

U = la velocità di uscita dei gas dall'ugello di scarico,

V = la velocità del velivolo,

$U-V$ = la velocità relativa dei gas rispetto all'ambiente esterno.

Da quanto sopra, emerge che tutto il lavoro prodotto dalla turbina viene assorbito dal compressore, con un bilancio energetico compressore-turbina chiuso su se stesso; il moto viene impresso al velivolo dal getto dei gas di scarico. Il lavoro utile ottenuto è quindi uguale all'energia posseduta dal fluido all'uscita dell'ugello diminuita dell'energia cinetica all'entrata, detratte ovviamente le varie perdite termodinamiche e meccaniche, mentre il lavoro propulsivo è dato dal prodotto della spinta per la velocità del velivolo. Il rendimento propulsivo, rapporto fra lavoro propulsivo e lavoro utile, è quindi dato dalla:

$$\eta_p = L_{\text{propulsivo}}/L_{\text{utile}} = 2 / (1 + U/V) \quad (4.2)$$

Esso risulta tanto maggiore quanto più la velocità del flusso massico si avvicina alla velocità del velivolo. Dato che la velocità di volo V dei velivoli commerciali subsonici, intorno a Mach 0.8, è molto inferiore alla velocità U di uscita dei gas del getto, il rendimento propulsivo η_p , per la configurazione di motore sopra descritta, rimane molto basso.

Per aumentarlo è necessario diminuire U , ma per ottenere ciò senza diminuire la spinta $S = m (U-V)$ è necessario aumentare m in modo da compensare la diminuzione della differenza $U-V$ a parità di velocità del velivolo. È appunto in questo senso che fino ad oggi si è verificata l'evoluzione dei motori a reazione portando alla definizione dei motori a doppio flusso; in essi l'aria aspirata è in peso molto maggiore rispetto a un motore a flusso singolo. Questa massa d'aria viene accelerata soltanto da una ventola (fan), che si trova a monte del compressore, e si divide in due flussi: una parte entra nel compressore e, dopo la combustione, entra in turbina e poi esce dall'ugello; l'altra parte non entra né nel compressore né nella turbina, ma si riunisce alla prima parte, quando questa esce dall'ugello, abbassando la velocità di efflusso. Il rapporto tra il quantitativo d'aria che non partecipa al ciclo termodinamico e il quantitativo che vi partecipa si chiama "rapporto di bypass" o rapporto di diluizione. Se il flusso massico di aria aspirata è tale da mantenere costante il prodotto $m (U-V)$, la spinta rimane costante, altrimenti, l'aumento di m può dare addirittura un aumento della spinta. A parità di velocità, a rendimento termico e velocità costanti, aumentando η_p aumenta ovviamente anche il rendimento globale del motore e diminuisce il consumo specifico.

5.2.2. Le sorgenti principali di rumore nel motore a getto

Le sorgenti principali di rumore nel motore a getto sono due:

- il getto dei gas che fuoriesce dal sistema o dai sistemi di uscita;
- le palette dei compressori, delle turbine e dei fan che si muovono in moto rotatorio entro il flusso di gas.

Nel getto si formano due zone: una detta della "corrente potenziale" di flusso non turbolento, l'altra della "corrente sviluppata" o di mixing, che circonda la prima dove si verifica la miscelazione turbolenta del getto con il fluido ambiente e che si estende a valle dell'ugello per circa 15 volte il diametro dello stesso; la componente maggiore del rumore del getto, costituita da una emissione a larga banda, è quella dovuta alla miscelazione turbolenta nella regione di mixing e che dà luogo a uno spettro a larga banda. Inoltre, se il getto non è correttamente espanso, si verificano onde d'urto che danno luogo a un'altra componente costituita da un insieme di toni discreti e da un'ulteriore emissione a larga banda.

Secondo il modello elaborato da Lighthill, il rumore del getto è il risultato di tensioni fluttuanti di tipo viscoso nel flusso turbolento, dovute ai forti gradienti di velocità in direzione normale all'asse del getto (molto veloce sull'asse, meno veloce alla periferia) che danno luogo a sorgenti di rumore del tipo a quadripolo.

Infatti, dato che le forze risultanti possono verificarsi solo in fasi opposte, non essendo disponibile una reazione da parte di un ostacolo, la sorgente è costituita da due dipoli che irradiano sfasati di 180 gradi fra loro, per cui si può ritenere un quadripolo. L'intensità sonora alla distanza r e nella direzione

θ irradiata da un quadripolo, dipende da parametri fisici e geometrici secondo la seguente relazione di proporzionalità:

$$I(\theta, r) \propto \rho S (U^8/c^5) (1/r^2) \quad (4.3)$$

dove:

ρ = densità del getto
 U = velocità del getto
 S = area della sezione dell'ugello
 c = velocità del suono

Dato che l'intensità varia in ragione dell'ottava potenza della velocità di efflusso, a ogni raddoppio di quest'ultima si ha un aumento di 24 dB dell'emissione sonora del getto. Nel moto rotatorio delle palette dei vari rotor (fan, compressori e turbine) si verificano delle interazioni delle palette con il flusso di gas turbolento che le attraversa e con le scie delle alette degli statori o delle palette a monte, dando luogo a un ulteriore tipo di sorgente sonora. La componente più importante di questa sorgente è generata dalla distribuzione fluttuante della pressione sulla superficie delle palette, dovuta principalmente a instabilità degli effetti aerodinamici, ma anche alla rotazione stessa delle palette che si traduce in una loro pulsazione rispetto a un osservatore fisso.

A causa della presenza di superfici rigide di confine, questo tipo di sorgente è un dipolo e la sua intensità alla distanza r e nella direzione θ dipende da parametri fisici e geometrici come segue:

$$I(\theta, r) \propto \rho (S/r^2 c^3) V_{rel}^6 \quad (4.4)$$

dove V_{rel} è la velocità relativa del flusso rispetto alla palette e gli altri simboli sono quelli già descritti. Dalla (4.4) emerge che anche per questo tipo di sorgente la velocità è il più importante fattore, ma con un esponente 6 anziché 8 e quindi essa varia in modo diverso dal rumore del getto al variare della frazione della spinta erogata dal motore. Il rumore della palettatura, oltre a una base a larga banda sensibilmente piatta dovuta alla turbolenza, presenta, similmente all'azione di una sirena, accentuati toni puri dipendenti dalle frequenze dei passaggi delle palette di fronte alle alette deviatrici con una fondamentale data dal prodotto del numero di giri al secondo del rotore per il numero di palette dello stesso.

5.2.3. Il turbogetto puro

Il nuovo tipo di rumore che fece la sua apparizione sullo scenario dei motori a pistone alla fine degli anni '50, fu quello dovuto al turbogetto puro, primo tipo di motore a reazione introdotto sui grandi velivoli da trasporto commerciale. Lo schema funzionale del turbogetto puro è indicato in figura 6: compressore e turbina sono generalmente suddivisi in due parti di alta e bassa pressione; il compressore di bassa è accoppiato con la turbina di bassa e il compressore di alta è accoppiato, tramite un albero coassiale cavo, con la turbina di alta. In questo motore tutto il volume d'aria aspirato prende parte al ciclo termodinamico e la spinta viene fornita unicamente dal getto. A motivo di questa conformazione, il rumore del getto diventa quello predominante ed esso si irradia posteriormente entro un angolo di 30-40 gradi rispetto all'asse. Le sorgenti di rumore della palettatura sono costituite sia dalle turbine di alta e di bassa pressione, il rumore delle quali è portato a valle dai gas caldi fino a emergere dall'ugello di efflusso e a irradiare nella parte posteriore insieme al rumore del getto, sia dal compressore di bassa pressione, il rumore del quale si suddivide fra la direzione della corrente a monte e quella a valle; la propagazione a monte emerge dall'ingresso dell'aria al motore e si irradia anteriormente entro un angolo di 50-60 gradi rispetto all'asse, mentre quella a valle passa attraverso il condotto di bypass ed emerge anch'essa dall'ugello di efflusso irradiandosi po-

steriormente entro un angolo compreso fra 60 e 70 gradi con una caratteristica simile a quella del rumore della turbina.

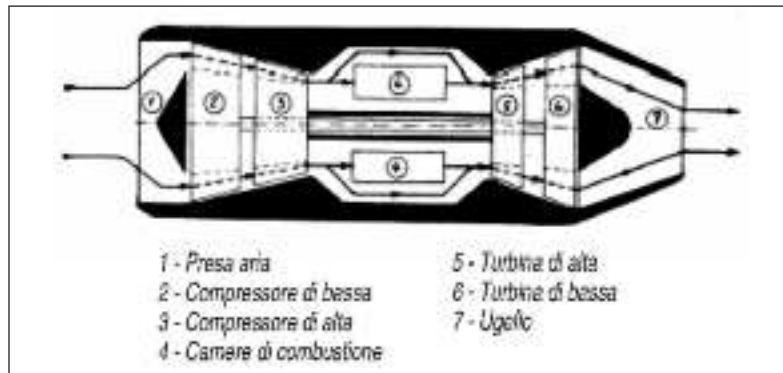


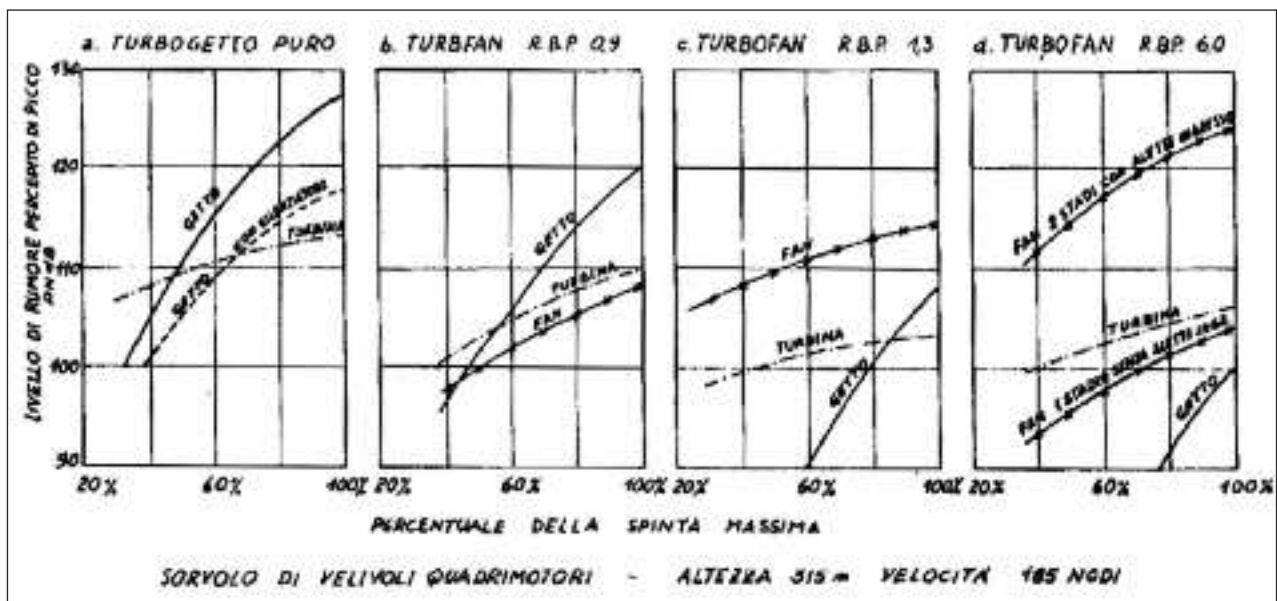
Fig. 6 - Schema di un turbogetto puro

Vi è infine la radiazione dovuta al rumore meccanico e fluidodinamico generato internamente al motore che emerge dalla cassa dello stesso e si irradia principalmente nelle direzioni a 90 gradi rispetto all'asse; quest'ultima radiazione sonora è almeno 20 dB inferiore rispetto alle altre precedentemente descritte per cui può essere trascurata. L'esatta identificazione della provenienza del rumore dalle varie sorgenti è ottenuta con analisi a banda stretta, noto il numero di palette negli stadi del compressore e della turbina. Via via che la spinta del motore viene aumentata, i livelli di rumore del compressore e della turbina aumentano in accordo con la legge di proporzionalità di cui alla (4.4).

Il rumore del getto, che è trascurabile alle spinte ridotte, cresce invece più rapidamente in accordo con l'altra legge (4.3), con un esponente della velocità più elevato. Pertanto, alle spinte prossime al massimo, il rumore del getto diviene predominante rispetto agli altri e il massimo dell'irraggiamento si ha sempre entro l'angolo solido posteriore del motore.

Anche il rumore del compressore verso l'avanti è di gran lunga superato dal rumore del getto alla spinta massima e leggermente superato dal rumore della turbina alle spinte ridotte.

Nella figura 7.a è riportato, in funzione della frazione di spinta, il livello LPN di picco prodotto al suolo, sotto la traiettoria nell'angolo solido posteriore, dalle sorgenti di rumore di un velivolo con quattro motori turbogetto puro alla quota di 315 metri e alla velocità di 340 km/h.



Figg. 7.a, 7.b, 7.c, 7.d - Confronto dei livelli percepiti di picco

Il rumore del getto appare preponderante a partire dal 50% della spinta massima, al disotto della quale emerge il rumore della turbina; quest'ultimo diventa pertanto significativo alla frazione di spinta usata per l'atterraggio (35-50%) e paragonabile a quello del getto. Sono state studiate varie soluzioni per ridurre il rumore del getto in questo tipo di motore con applicazione di dispositivi insonorizzanti in modo da soddisfare i limiti della certificazione acustica prevista per velivoli del "capitolo 2". Queste soluzioni, peraltro, comportano sempre una penalizzazione delle prestazioni del motore. Una di esse è rappresentata dalla applicazione di una prolunga a lobi sull'ugello di efflusso e dalla applicazione di strati fonoassorbenti al condotto di aspirazione; l'attenuazione ottenibile con tale dispositivo varia da 2-3 dB alle spinte ridotte fino a 10 dB alle spinte massime come illustrato dalla figura 7.a; il rumore della turbina emerge allora a frazioni di spinta superiori.

5.2.4. Il turbofan a basso rapporto di bypass

Una drastica riduzione della rumorosità del getto si ebbe con i motori a getto della seconda generazione dotati di doppio flusso. In questi motori l'espansione dei gas nella turbina di bassa viene prolungata e il maggior lavoro disponibile sull'albero è assorbito dai primi stadi del compressore di bassa, detti "fan", per produrre un secondo flusso massico che, senza partecipare al ciclo termodinamico e bypassando le fasi a valle, si unisce al getto propulsivo, contribuendo con quest'ultimo alla generazione della spinta. Lo schema di tale motore è rappresentato nella figura 8. Il motore a doppio flusso o turbofan può realizzare, pertanto, la stessa spinta di un turbogetto puro con un maggiore flusso massico e con una minore velocità del getto, incrementando, inoltre, il rendimento propulsivo e quindi l'efficienza del motore. La più bassa velocità del getto ottenibile con un rapporto di bypass intorno a 1, considerato che l'intensità sonora prodotta dal getto varia con l'ottava potenza della sua velocità, ebbe come conseguenza che il livello del rumore del getto fu ridotto a un grado paragonabile a quello che si ottiene con un silenziatore efficiente, ma senza le penalizzazioni che quest'ultimo produce sul motore. I velivoli equipaggiati con motori turbofan a basso rapporto di bypass poterono, pertanto, soddisfare i requisiti di contenimento del rumore del "capitolo 2" dell'annesso 16, presentando, per di più, una maggiore efficienza e quindi un contenimento dei consumi rispetto ai velivoli con motori turbogetto puro. Nei motori turbofan a basso rapporto di bypass, a causa della presenza di percorsi senza ostacoli verso valle lungo il condotto del bypass, il rumore del compressore si manifesta in maggior misura a valle nell'angolo solido posteriore, ma è sovrascernato dal rumore della turbina.

Aumentando però il rapporto di bypass, mentre continua la tendenza alla riduzione del rumore del getto, nello stesso tempo si manifesta una tendenza all'aumento del rumore del fan. Nella figura 7.c sono riportate le curve del livello LPN di picco prodotte dai principali componenti del motore nell'angolo solido posteriore, che come vedremo è quello più significativo, in funzione della frazione di spinta per un motore con rapporto di bypass pari a 1.3 (le altre condizioni operative sono le stesse della figura 7.a); in essa si vede come il rumore del fan è divenuto preponderante. Ciò è dovuto al fatto che l'aumento del flusso massico è ottenuto solo aumentando la velocità delle palette degli stadi del fan. Come conseguenza, alle spinte ridotte inferiori al 75% della massima, quali si hanno al decollo con le procedure antirumore e all'atterraggio, il rumore del turbofan con rapporto di bypass di 1.3 risulta superiore a quello con rapporto 0,9, quindi l'aumento del rapporto di diluizione oltre valori intorno a 1, senza altre modifiche nel disegno del motore, non porta alcun vantaggio nel contenimento del rumore. Un ulteriore aumento del rapporto di bypass ottenuto con incremento della velocità del fan multistadio ha infatti come conseguenza un eccessivo aumento del rumore del fan per cui, anche se il rumore del getto si è ulteriormente smorzato, l'effetto complessivo è un incremento della rumorosità; con rapporto di bypass pari a 6 e con fan multistadio la situazione risulta addirittura peggiore di quella del turbogetto puro.

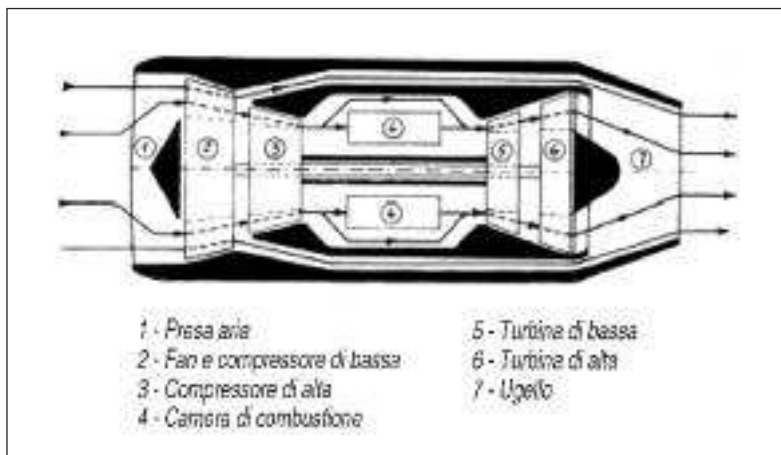


Fig. 8 - Schema di turbofan a basso rapporto di riduzione

A fronte di una richiesta di motori con sempre maggior spinta, e quindi di più elevati rapporti di bypass, questa conclusione risultò a suo tempo molto limitativa e priva di soluzioni se non ricorrendo a una concezione del motore totalmente nuova. Il rumore generato dalla palettatura del fan si propaga, infatti, attraverso l'aria che fluisce nel sistema, sia verso la parte anteriore che verso la parte posteriore del motore. Ma se la velocità dell'aria raggiunge quella del suono allora l'energia acustica non può più propagarsi contro corrente; in tal caso tutto il rumore della palettatura del fan viene convogliato verso la parte posteriore, andando ad aggiungersi al rumore che, a qualunque velocità dell'aria, si propaga verso tale parte e quindi con un aumento massimo di 3 dB. L'effetto di convezione del suono verso valle in un flusso d'aria si verifica peraltro a ogni velocità divenendo via via più marcato quando la velocità del flusso si avvicina a Mach 1.0, alla quale si ha l'interruzione della propagazione a monte. La velocità assiale del flusso d'aria attraverso il fan è sempre inferiore a Mach 1.0, ma la velocità nei passaggi fra palettature adiacenti è maggiore di quella assiale e può essere anche superiore a Mach 1.0; in pratica, ciò comporta una riduzione di circa 10 dB del rumore emesso dalla parte anteriore con flusso d'aria Mach 0,9 e maggiore di 20 dB con flusso d'aria a Mach 1.0. Il rumore che emerge dalla presa d'aria anteriore del fan, con velocità del flusso d'aria prossime a Mach 1.0, come avviene anche con spinte ridotte, risulta pertanto una componente relativamente non importante del rumore globale del motore.

5.2.5. Il turbofan ad alto rapporto di bypass

L'incremento del rumore del fan all'aumentare del rapporto di bypass si verifica con motori che hanno fan multistadio e alette fisse all'ingresso, a causa del corrispondente incremento della velocità relativa del flusso nelle palettature del fan stesso; peraltro aumentando il rapporto di bypass, le prestazioni ottenibili del fan possono essere realizzate con un solo stadio e ciò avviene a cominciare da un rapporto oltre 3,5. Il più ridotto incremento di pressione ottenibile con un solo stadio può essere infatti compensato a partire dal suddetto valore del rapporto di bypass con un maggior flusso massico. Con la riduzione del fan a un solo stadio, le sorgenti di rumore dovute all'interazione fluidodinamica delle palette con la turbolenza del flusso e con la scia del rango di palette immediatamente a monte si riducono a due sole: una costituita dalle alette fisse di ingresso e dal rotore, l'altra dal rotore e dalle alette fisse di uscita, con corrispondente riduzione anche della emissione sonora. Inoltre, dato che la velocità relativa del flusso all'ingresso rispetto alle palette rotanti è notevolmente superiore a quella del flusso all'uscita, la prima sorgente di rumore risulta, in base alla relazione della emissione del dipolo (4.4), molto più forte della seconda. Ne segue che riducendo i ranghi del fan a un solo stadio e togliendo il rango di alette fisse di ingresso si può ottenere una notevolissima riduzione del rumore emesso dal fan. Agli inizi degli anni '70, sulla base delle precedenti considerazioni, si pervenne alla definizione di un nuovo tipo di motore, il turbofan ad alto ratio di bypass, con fan a un solo stadio di grande diametro (fino a m. 2,40) senza alette fisse di guida all'ingresso e con alette fis-

se di uscita più distanti dalle palette rotanti, in modo da diminuire anche l'interazione con la scia di queste ultime (fig. 9).

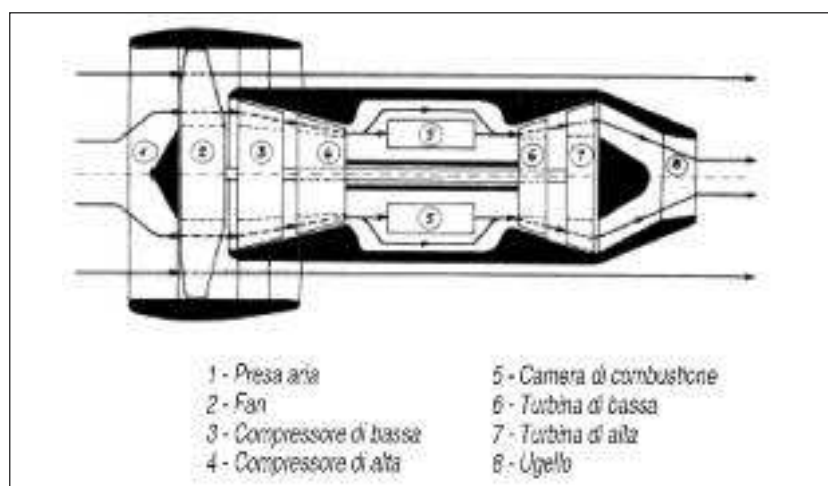


Fig. 9 - Schema di turbofan a un solo stadio ad alto rapporto di diluizione

Questo motore, che rappresenta la terza generazione dei motori a reazione, capace di erogare grandi spinte unitarie fino a 250 kN, con consumi specifici più ridotti a seguito della minore velocità del flusso massico e del maggiore rendimento propulsivo, è caratterizzato da una emissione sonora di gran lunga più contenuta dei motori delle precedenti generazioni, tanto da meritare l'appellativo di "motore quieto". Il confronto appare evidente dal grafico di figura 7.d, dove sono riportati i valori di picco al suolo del LPN in funzione della frazione di spinta; da tale grafico emerge che ogni ulteriore riduzione del rumore del fan porterebbe da solo a scarsi benefici avendo raggiunto un livello di emissione pari a quello della turbina e del getto. Gli aerei equipaggiati con questo tipo di motori potranno abbondantemente soddisfare i limiti della certificazione acustica "capitolo 3", avendo una emissione sonora inferiore di 5 dB rispetto al limite concesso. Con la configurazione assunta dal fan in questo tipo di motore, assimilabile a un'elica intubata, si manifesta una tendenza a pervenire a propulsori con altissimo rapporto di bypass, simile al rapporto che si realizza con il turboelica, con più ridotti consumi specifici.

5.3. Rumore aerodinamico di forma

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 nuovi 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. Nella figura 10 è rappresentato il campo dei livelli stimati del rumore aerodinamico di forma in funzione della massa al decollo durante la manovra di avvicinamento alla pista; da tale figura si osserva che il rumore delle sorgenti non propulsive si trova solo da 4 a 6 dB al di-

sotto dei livelli limite di rumore all'atterraggio prescritti dalla normativa di certificazione acustica per gli aeromobili classificati al "capitolo 3" dell'annesso 16.

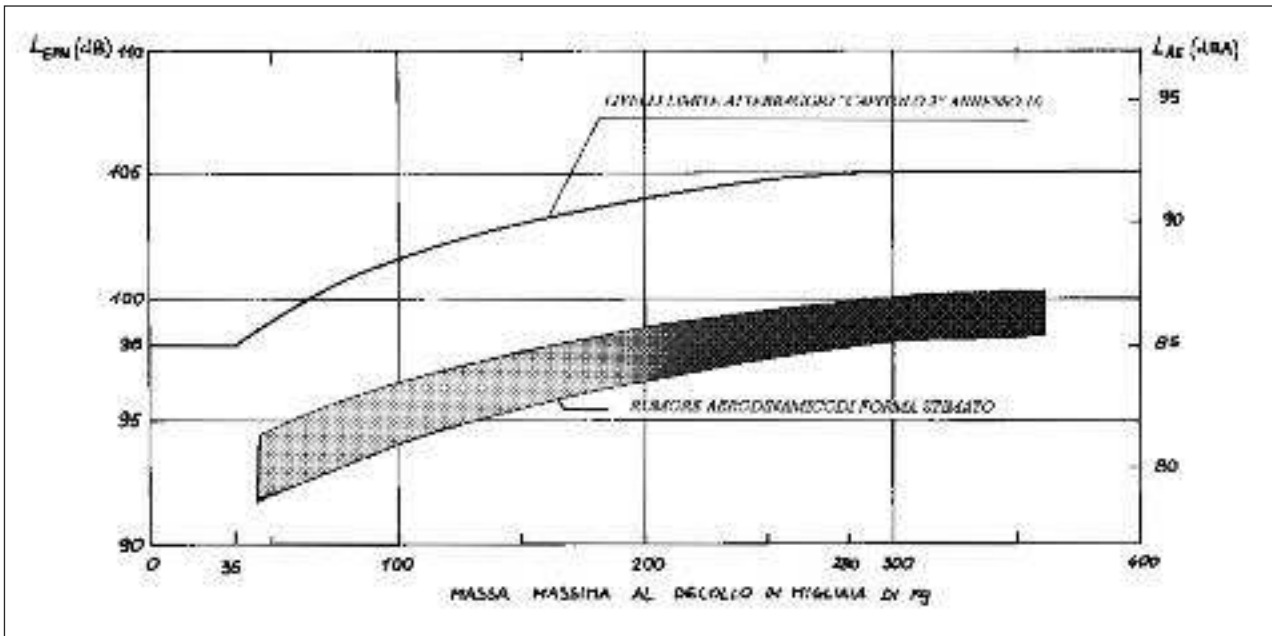


Fig. 10 - Rumore aerodinamico di forma stimato e limite di certificazione "capitolo 3"

Il rumore aerodinamico di forma diventa significativo durante l'avvicinamento alla pista per l'atterraggio, anche perché in tale fase i motori di propulsione 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 nella 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 formazione, a valle degli stessi, di vortici frenanti (fig. 11).

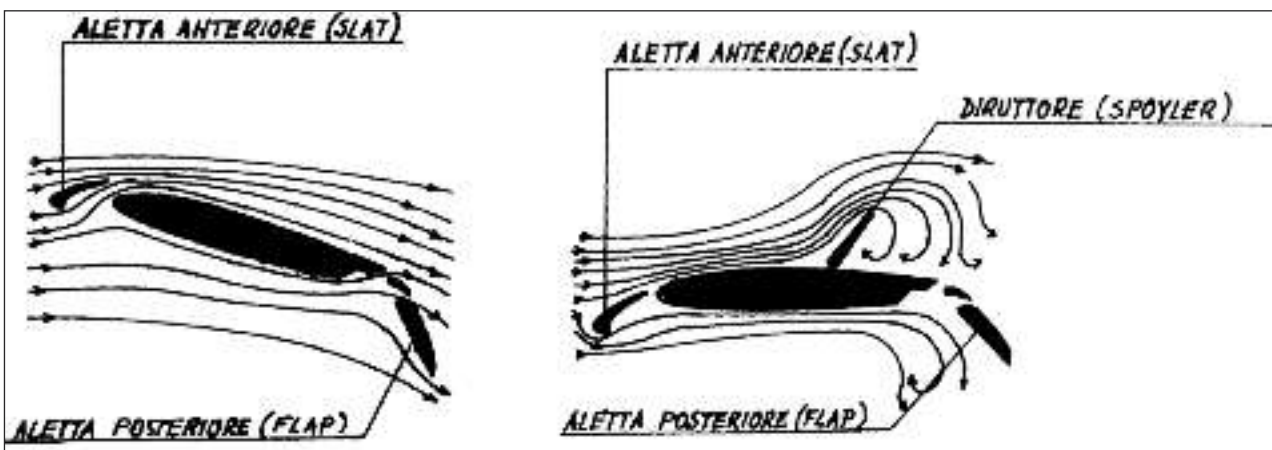


Fig. 11 - Ipersostentatori e freni aerodinamici

Lo spettro in frequenza del rumore prodotto dal dispiegamento degli ipersostentatori, dai freni aerodinamici e dalla fuoriuscita dei carrelli è uno spettro a larga banda in funzione delle dimensioni locali di tali apparecchiature e dei loro eventuali alloggiamenti; tali modificazioni di forma delle superfici dell'aeromobile possono dare luogo anche alla generazione di toni puri a seguito del flusso d'aria che si viene a creare nelle cavità di alloggiamento dei carrelli e sulle strutture tubolari portanti degli stessi. Nella figura 12 è rappresentato un aeromobile in fase di atterraggio con le apparecchiature di ipersostentamento dispiegate e i carrelli disposti fuori dagli alloggiamenti.

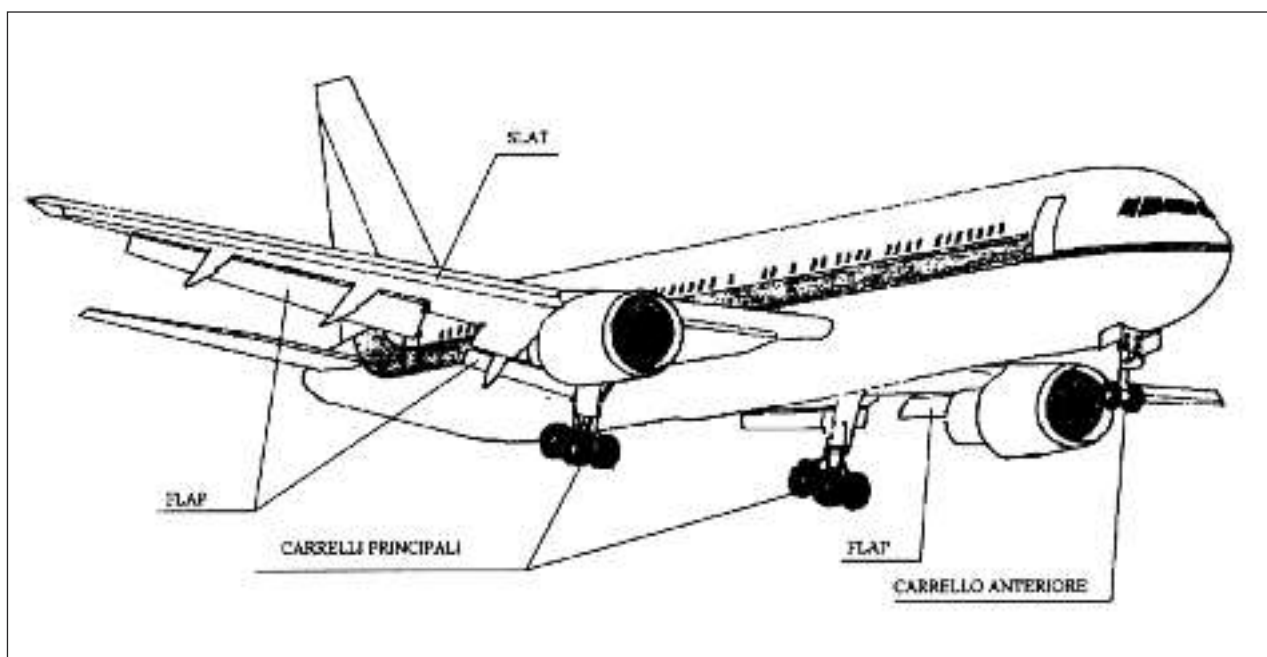


Fig. 12 - Aeromobile in configurazione di atterraggio

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. In tali condizioni lo spettro in frequenza del rumore di forma è normalmente a larga banda, essendo una funzione solo dei vortici che si vengono a formare nei vari strati di confine del flusso e nella scia, con un picco intorno ai 200 Hz. Esso 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.

6. I RUOLI ISTITUZIONALI

Il processo di regolamentazione del rumore aeroportuale prevede la partecipazione di diversi soggetti istituzionali e non, con una chiara suddivisione di ruoli. Nei paragrafi che seguono, viene eseguita una rassegna dei soggetti coinvolti, con la descrizione delle relative funzioni derivanti dalla normativa vigente, che sinteticamente vengono di seguito elencati:

- la Commissione aeroportuale definisce le procedure antirumore, la zonizzazione acustica (zone A, B, C) e gli indici Ia, Ib, Ic;
- la Società esercente gestisce il sistema di monitoraggio, provvede alla sua manutenzione e predispone il piano di contenimento e abbattimento del rumore. Predispone inoltre la mappatura acustica e il piano d'azione ai sensi del D.Lgs. 194/2005;
- l'Agenzia regionale per la protezione ambientale (ARPA) svolge la propria attività di controllo in merito al rispetto della regolamentazione vigente derivante dal D.P.R. 496/1997 e trasmette una relazione periodica al Ministero dell'ambiente circa l'attività di controllo effettuata e le infrazioni rilevate;
- il direttore della circoscrizione aeroportuale (ENAC) contesta e sanziona le violazioni delle procedure antirumore;
- la Regione verifica il raggiungimento degli obiettivi di risanamento ed effettua le valutazioni di competenza.

6.1. Commissioni aeroportuali

6.1.1. Commissioni ai sensi dell'art. 4 del D.M. 31-10-1997

Il D.M. 31-10-1997 "Metodologia di misura del rumore aeroportuale" ha istituito due diverse commissioni con il compito di predisporre i criteri generali per la definizione delle procedure antirumore, della caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale e della classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico. I lavori delle commissioni hanno portato all'emanazione dei Decreti del 20-05-1999 e del 03-12-1999, di cui:

- a) il D.M. 20-05-1999 stabilisce i criteri per la progettazione dei sistemi di monitoraggio per il controllo dei livelli di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti e i criteri per la classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico;
- b) il D.M. 03-12-1999 detta i criteri metodologici per la definizione delle procedure antirumore e delle zone di rispetto negli aeroporti.

6.1.2. Commissione aeroportuale ai sensi dell'art. 5 del D.M. 31-10-1997

Dal termine dei lavori delle commissioni di cui al precedente punto, l'ENAC, per ciascun aeroporto aperto al traffico civile, ha istituito una commissione così composta:

- il direttore della circoscrizione aeroportuale, nel ruolo di presidente;
- un rappresentante per ognuno dei seguenti soggetti:
 - Regione, Provincia e Comuni interessati
 - ARPA
 - ENAV
 - Vettori aerei
 - Società di gestione aeroportuale.

La commissione aeroportuale ha l'importante compito di rispondere a tre obiettivi fondamentali, che sono:

- 1) definizione procedure antirumore
- 2) calcolo intorno aeroportuale (zone A, B, C)
- 3) calcolo indici Ia, Ib, Ic.

6.1.3. Procedure antirumore

Le procedure antirumore, definite da ciascuna commissione aeroportuale, sono adottate dal direttore della circoscrizione aeroportuale e vengono applicate dal vettore quando l'aeromobile manovra in aria. Esse devono seguire i seguenti criteri generali:

- a) ottimizzare le proiezioni al suolo delle rotte a tutela delle popolazioni esposte;
- b) disegnare le proiezioni al suolo delle rotte antirumore nelle fasi di decollo e di atterraggio, in accordo con quanto previsto nel decreto ministeriale n. 38-T del 30 marzo 1998, da parte delle commissioni locali;
- c) disegnare, in accordo a quanto indicato nel decreto ministeriale n. 38-T del 30 marzo 1998 e nelle regolamentazioni ICAO (International Civil Aviation Organization), le rotte di partenza e di arrivo in modo tale da essere percorse, fatte salve le esigenze di sicurezza delle operazioni di volo, da tutti gli aeromobili in possesso di certificazione conforme al decreto ministeriale del 3 dicembre 1983 e successive modificazioni;
- d) recepire integralmente e senza modificazioni i profili di atterraggio e decollo come definiti dalla normativa ICAO;
- e) utilizzare la spinta inversa superiore al minimo nei soli casi di necessità.

Inoltre la normativa stabilisce che per ogni aeroporto vengano definite le aree idonee alle prove motori al fine di ridurre la generazione di rumore verso le zone abitate (tempi di prova motore contenuti, orientamento del velivolo, schermi fonoassorbenti e/o fonoisolanti).

6.1.4. Zonizzazione acustica aeroportuale e criticità

Il D.M. 31-10-1997 individua, in corrispondenza di ciascun aeroporto aperto al traffico civile, tre aree di rispetto, meglio definite come zona A, zona B e zona C, all'interno delle quali vengono identificati limiti acustici, definiti in termini di valori dell'indice LVA, e vincoli urbanistici, come di seguito schematizzato.

INTORNO AERPORTUALE		
Area di rispetto	Limite indice LVA	Vincoli urbanistici
Zona A	Non può superare il valore di 65 dB(A)	Nessun vincolo
Zona B	Non può superare il valore di 75 dB(A)	Esclusivamente attività agricole e allevamenti di bestiame, attività industriali e assimilate, attività commerciali, attività di ufficio, terziario e assimilate, previa adozione di adeguate misure di isolamento acustico. <u>Non possono essere realizzati fabbricati a uso residenziale</u>
Zona C	Può superare il valore di 75 dB(A)	Esclusivamente le attività funzionalmente connesse con l'uso e i servizi delle infrastrutture aeroportuali
Al di fuori delle zone A, B e C	Non può superare il valore di 60 dB(A). Il rumore immesso sul territorio dai sorvoli aerei deve concorrere, insieme alle altre sorgenti acustiche, al rispetto dei limiti della zonizzazione acustica comunale, dettati dal D.P.C.M. 14-11-1997	Nessun vincolo

La zonizzazione acustica aeroportuale, analogamente a quella comunale, rappresenta un atto tecnico-politico di governo del territorio, visto che, oltre a definire limiti acustici per la specifica sorgente di rumore, introduce anche specifici vincoli di utilizzo. La definizione delle zone di rispetto aeropor-

tuale A, B e C rappresenta quindi una fase delicata del processo regolatore, dal momento che nella zona C sono possibili soltanto attività strettamente connesse con l'uso dell'infrastruttura stessa, nella zona B sono autorizzate solo attività di tipo produttivo, commerciale, agricolo e uffici adeguatamente insonorizzati, e solo nella zona A non è prevista alcuna limitazione legata all'uso del territorio. Inoltre, successivamente all'adozione della zonizzazione acustica, gli strumenti urbanistici comunali e quindi anche la classificazione del territorio redatta ai sensi del D.P.C.M. 14 novembre 1997, devono adeguarsi alla zonizzazione acustica aeroportuale, sia in termini di vincoli che di limiti acustici.

L'importante compito di definire nell'intorno aeroportuale i confini delle tre zone A, B e C (aree di rispetto) è assegnato alla commissione aeroportuale, che tenendo conto del piano regolatore aeroportuale, degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica vigenti e delle procedure antirumore adottate, deve approvare la zonizzazione con votazione unanime da parte di tutti i partecipanti alla commissione stessa. Nel caso in cui l'unanimità non sia raggiunta o in caso di non coincidenza dei piani regolatori comunali con i piani regolatori e di sviluppo aeroportuali e le deliberazioni delle commissioni, la competenza è trasferita a un'apposita Conferenza di Servizi convocata dal Ministro dei trasporti oppure, su delega, dalla Regione o dalla Provincia autonoma interessata.

È da rilevare che dal '97 ad oggi sia la definizione delle tre fasce di rispetto che gli altri adempimenti normativi previsti per gli aeroporti tardano a essere attuati, comportando così un rallentamento dell'intero percorso previsto dal legislatore, volto alla tutela ambientale del territorio e al suo risanamento acustico.

La normativa, infatti, ha incontrato notevoli difficoltà nell'applicazione pratica, dovute ad alcuni problemi interpretativi che hanno portato, in diversi casi, a una situazione di stallo o comunque ad applicazioni difformi della norma stessa tra i diversi aeroporti nazionali.

Inoltre la regolamentazione vigente, poiché non introduce limiti temporali nella definizione delle zone di rispetto, ha generato la quiescenza dei lavori delle commissioni, impedendo la predisposizione dei piani di risanamento che, secondo il D.M. 29-11-2000, devono essere iniziati successivamente all'approvazione delle zone di rispetto A, B e C dell'aeroporto.

Il D.M. 3-12-1999 prevede che le zone di rispetto negli aeroporti debbano essere stabilite mediante la predisposizione preliminare di una "impronta acustica" rappresentativa dei livelli di LVA generati dall'aeroporto sul territorio circostante. Tale impronta acustica viene rappresentata mediante il calcolo di curve isolivello di rumore elaborate con l'ausilio di modelli matematici, validati dall'ISPRA (ex ANPA e APAT), che prendono in considerazione la tipologia e la quantità di velivoli che operano presso l'aerostadio e le relative rotte di ingresso e uscita. Tali informazioni vengono elaborate sulla base dei dati forniti da ENAC, ENAV e dalla società di gestione, nell'ambito delle rispettive competenze.

Ad oggi, l'unico modello di calcolo approvato dall'ISPRA è l'INM (Integrated Noise Model, versione 6.2a) sviluppato negli Stati Uniti dalla Federal Aviation Administration.

L'impronta acustica così ottenuta viene, in ultima analisi, sottoposta a misure di verifica in modo da poter effettuare eventuali azioni correttive, qualora le elaborazioni modellistiche non siano congruenti con i reali livelli di rumore registrati.

Le norme non forniscono indicazioni chiare e univoche sulla modalità di determinazione di dette zone, a partire dall'impronta acustica definita mediante la suddetta procedura. La modalità viene spesso individuata dai partecipanti della Commissione aeroportuale, in virtù delle specifiche problematiche di rumore generate dall'aeroporto e dall'assetto territoriale in cui si inserisce l'aeroporto stesso.

Nell'ambito di alcune commissioni aeroportuali che hanno provveduto alla zonizzazione acustica, l'interpretazione "semplificata" della norma ha portato a determinare i confini delle zone A, B e C utilizzando direttamente l'impronta acustica, in cui le curve di isolivello acustico di indice LVA vengono identificate esattamente con i confini delle suddette zone. Tale interpretazione risulta in evidente contrasto con quanto affermato dal D.M. 31-10-1997 e dal successivo D.M. 3-12-1999, ove si prevede che i confini delle aree di rispetto debbano essere definiti tenendo conto del piano regolatore aeroportuale, degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica vigenti e delle procedure antirumore adottate. Inoltre, l'applicazione di questo criterio semplificato può generare problemi di diverso tipo, come di seguito illustrato.

In riferimento all'assetto urbanistico, tale interpretazione, non analizzando il territorio compreso nell'impronta acustica, può comportare una significativa presenza di edifici residenziali in zona B (fig. 13), in contraddizione con la definizione data dal D.M. 31-10-1997, per la quale nella zona B non devono essere presenti edifici abitativi, visto che il limite acustico è pari a 75 dBA, superiore a tutte le raccomandazioni sanitarie, secondo cui non è raccomandabile un livello superiore a 65 dBA negli ambienti di vita. Inoltre, la scelta di far coincidere le zone di rispetto alle curve di isolivello acustico, può comportare la necessità di rivedere e modificare la zonizzazione acustica ogni qualvolta vengano modificate le procedure antirumore o l'operatività dello scalo. Infine una tale interpretazione, che produce una zonizzazione acustica in considerazione esclusivamente dei livelli di rumore generati dall'aeroporto sul territorio, comporta l'individuazione di zone di rispetto in cui, ovviamente, i livelli acustici rilevati sono conformi ai valori limite determinati dalla zonizzazione stessa, vanificando i principi e le azioni di risanamento come disposte dal D.M. 29-11-2000.

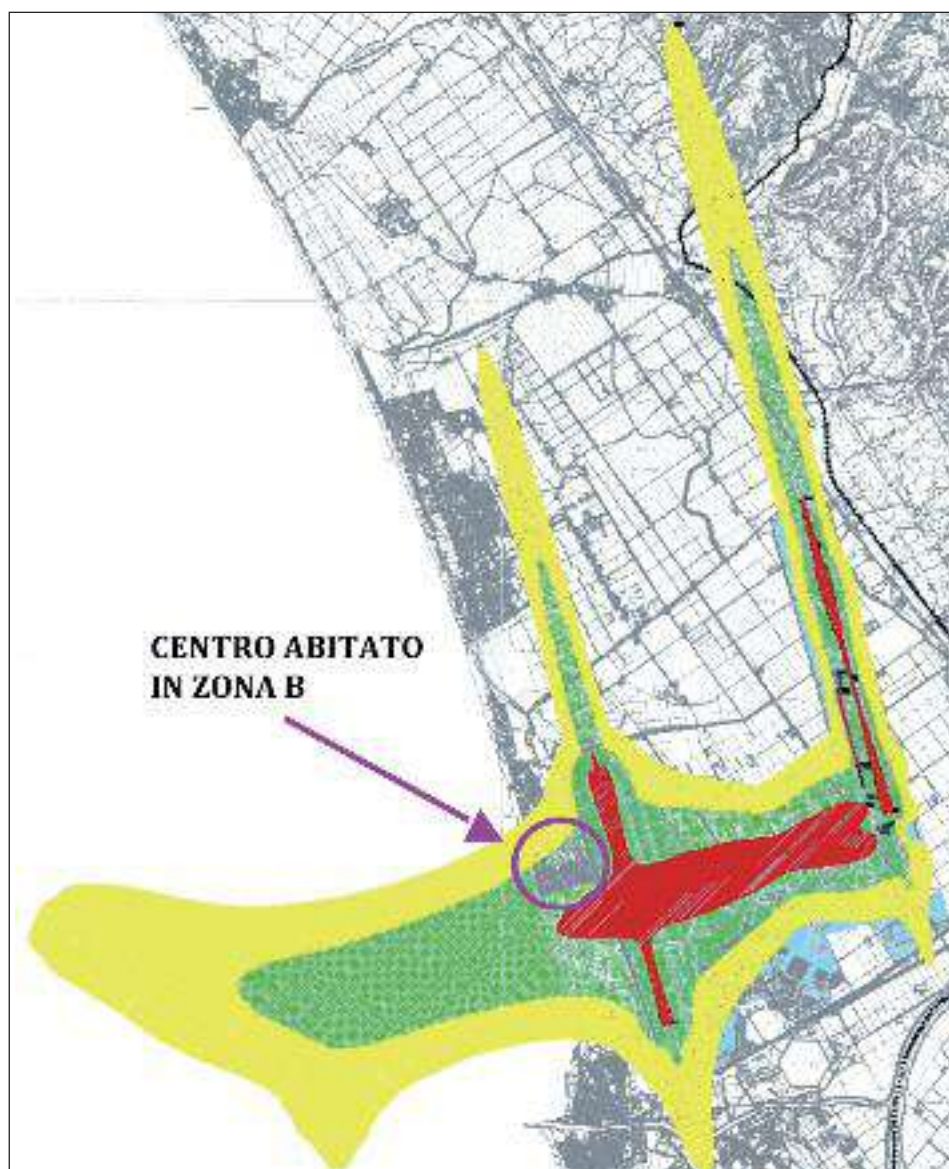


Fig. 13 - Zonizzazione acustica aeroporto di Fiumicino ottenuta mediante il criterio "semplificato" per il quale l'impronta acustica coincide con la zonizzazione acustica

D'altro canto, la normativa vigente prevede che le commissioni di cui dall'art. 5, comma 1, definiscano, nell'intorno aeroportuale, i confini delle aree di rispetto, zona A, zona B, zona C, tenuto conto del piano regolatore aeroportuale, degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica vigenti e delle procedure antirumore adottate. Solo tramite una sovrapposizione delle informazioni provenienti dall'impronta acustica con le informazioni provenienti dagli strumenti urbanistici sopra elencati è possibile eseguire una corretta zonizzazione acustica, che contemperi il diritto di tutela della salute della popolazione residente con i piani di sviluppo aeroportuale.

Con l'adozione di tale criterio "pianificatorio", la zonizzazione acustica che ne deriva andrà a comprendere per la zona C un territorio in cui siano previste soltanto le attività strettamente connesse con l'uso dell'infrastruttura (con un limite superiore a 75 dBA), per la zona B un territorio che comprenda per la massima parte attività di tipo produttivo, commerciale, agricolo e uffici (con un limite pari a 75 dBA), mentre per la zona A una porzione di territorio in cui siano localizzati gli edifici residenziali presenti nell'intorno aeroportuale e dove non viene prevista alcuna limitazione legata all'uso del territorio (con un limite di 65 dBA). Si otterrà quindi una zonizzazione acustica (fig. 14) sostanzialmente differente dall'impronta acustica generata dall'aeroporto, ma compatibile con gli usi del territorio già vigenti e con gli sviluppi dell'operatività aeroportuale previsti.

Successivamente, attraverso il confronto tra l'impronta acustica reale dell'aeroporto e le zone di rispetto redatte mediante l'applicazione del criterio "pianificatorio" è possibile definire la "mappa di conflitto" (fig. 15) dove emergono le criticità acustiche vigenti e dalla quale scaturiscono gli eventuali piani di risanamento da porre in essere.

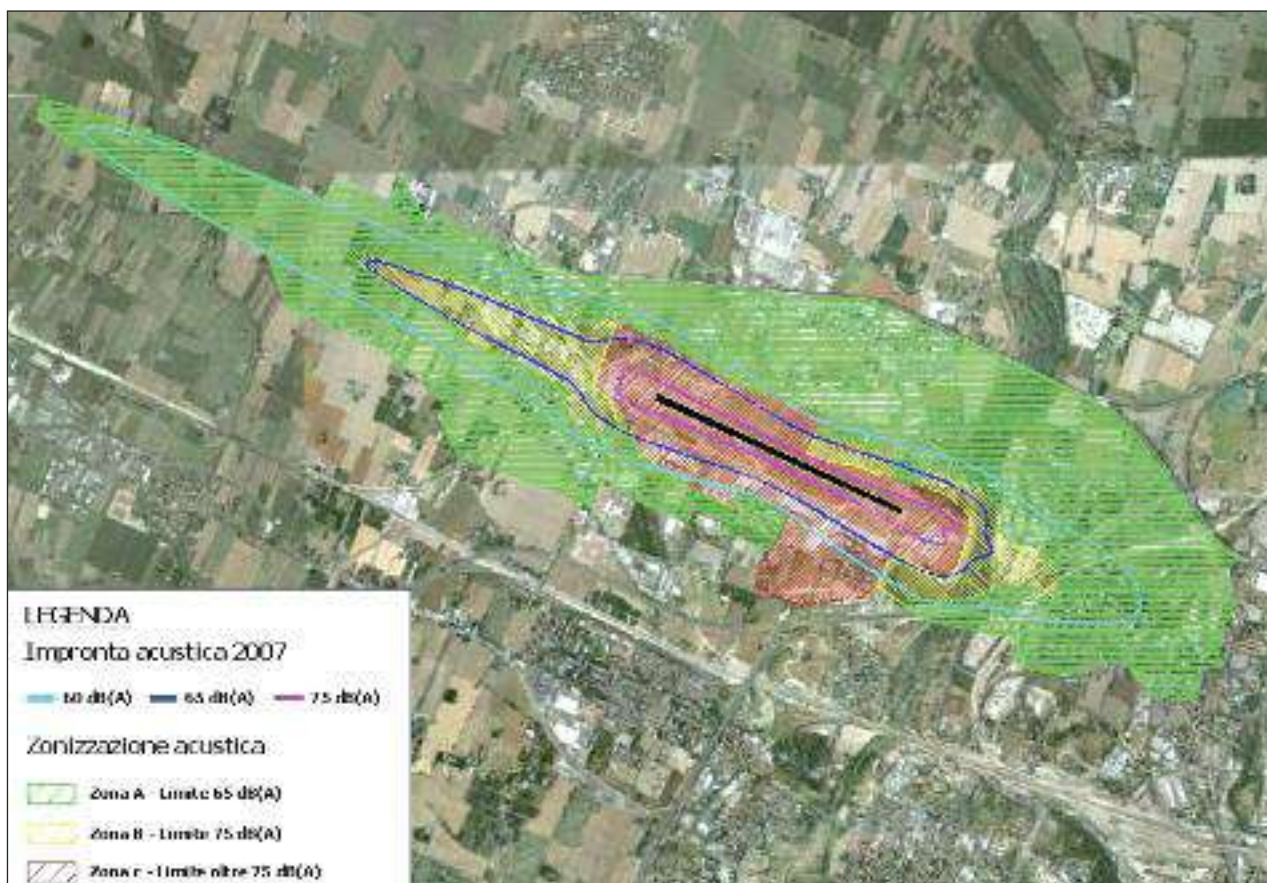


Fig. 14 - Zonizzazione acustica aeroporto di Bologna ottenuta mediante il criterio "urbanistico"

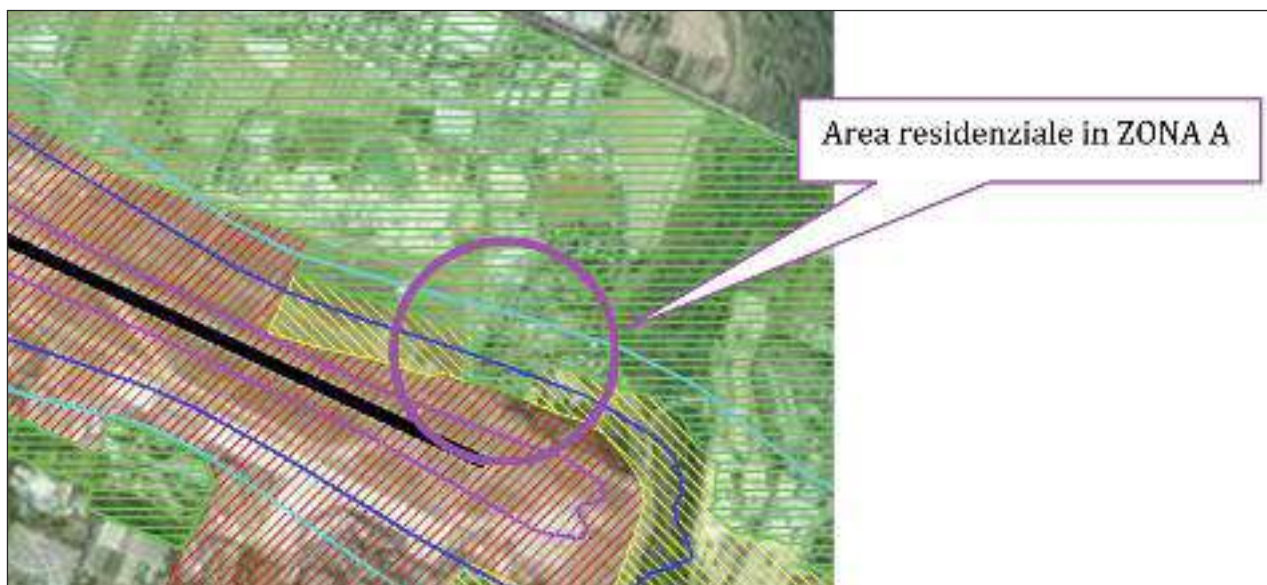


Fig. 15 - Stralcio zonizzazione acustica aeroporto di Bologna

6.1.5. Definizione indici per la classificazione degli aeroporti

La classificazione su base nazionale degli aeroporti in relazione all'inquinamento acustico a essi associato viene eseguita mediante il calcolo degli indici I_a , I_b , I_c secondo le modalità descritte nel D.M. 20-05-1999. Ai fini del calcolo di tali indici la Commissione aeroportuale deve elaborare i seguenti parametri:

- a) estensione dell'intorno aeroportuale (misurata in ettari);
- b) estensione delle zone A, B e C di cui alla zonizzazione acustica (misurata in ettari);
- c) estensione delle aree residenziali (A_r , B_r , C_r) ricadenti in ciascuna delle zone A, B e C;
- d) densità abitativa territoriale (numero di abitanti per ettaro).

I parametri A_r , B_r e C_r devono essere corretti (A_{rc} , B_{rc} e C_{rc}) in funzione della densità abitativa mediante i coefficienti moltiplicativi riportati in tabella 2:

Area residenziale	Densità abitativa (abitanti/ha)	Coefficiente correttivo
estensiva	10-150	$k = 1.1$
semiestensiva	150-250	$k = 1.2$
intensiva	> 250	$k = 1.3$

Tab. 2 - Coefficienti correttivi estensioni aree residenziali in funzione della densità abitativa

I tre indici numerici, che caratterizzano l'aeroporto dal punto di vista dell'inquinamento acustico generato, vengono dunque calcolati sulla base dell'estensione delle zone A, B e C, e delle aree residenziali A_{rc} , B_{rc} e C_{rc} ottenute dalle aree residenziali A_r , B_r e C_r a seguito dell'applicazione dei coefficienti moltiplicativi nel seguente modo:

$$I_a = A_{rc} \times A$$

$$I_b = B_{rc} \times B$$

$$I_c = C_{rc} \times C.$$

Tali indici vengono inoltre presi a riferimento per le azioni di risanamento acustico di cui all'art. 10, comma 5, della legge 26 ottobre 1995, n. 447, le quali devono essere rivolte alla riduzione del valore degli indici Ib e Ic.

6.2. Compiti della Regione

La Regione è l'organo istituzionale con funzione di indirizzo ai fini della corretta gestione del territorio anche sotto il profilo della tutela ambientale (inquinamento acustico) e in coerenza con i piani programmatici regionali. In particolare, secondo il D.M. 31-10-1997, le Regioni disciplinano con propria legge le modalità per la presentazione della documentazione di impatto acustico (di cui alla legge 447/1995 art. 8, comma 2), per le aree dove sono effettuati gli atterraggi e i decolli degli apparecchi utilizzati per il volo da diporto o sportivo (di cui alla L. 106/1985 e al D.P.R. 404/1988) e per le aviosuperfici, prevedendo l'obbligo, per i Comuni, di dare comunicazione delle loro valutazioni all'ENAC, per le eventuali azioni di competenza. A tal riguardo, la Regione Lazio, con L.R. 18/2001, all'art. 18 descrive tali modalità per la presentazione della documentazione di impatto acustico, uguali per tutte le nuove sorgenti acustiche che si inseriscono sul territorio. La legge specifica, tuttavia, che per la realizzazione, modifica o potenziamento delle aree e delle aviosuperfici, la Giunta può definire, con propria deliberazione, ulteriori contenuti e modalità di presentazione della documentazione di impatto acustico che, allo stato attuale, non sono mai stati determinati.

Secondo il D.P.R. 476/1999, le Regioni trasmettono ai ministri dell'ambiente e dei trasporti una relazione mensile sul monitoraggio del rumore aeroportuale ai fini della verifica che i voli notturni siano effettuati con velivoli che soddisfino i requisiti acustici previsti dal capitolo 3, parte seconda, volume primo, dell'allegato 16 alla Convenzione relativa all'aviazione civile internazionale.

In riferimento ai piani di risanamento acustico da parte dei gestori dell'infrastruttura aeroportuale, in accordo al D.M. 29-11-2000, la Regione riceve dal gestore la stima delle aree critiche e il piano di contenimento e abbattimento del rumore e ha un ruolo di vigilanza rispetto al raggiungimento degli obiettivi di risanamento stimati. In base a proprie valutazioni di importanza, può stabilire, d'intesa con i Comuni interessati, un ordine di priorità degli interventi da eseguire che prescinde dall'indice di priorità individuato dal gestore dell'infrastruttura e può fissare termini diversi dai 5 anni previsti per gli aeroporti, quale tempistica da rispettare per il raggiungimento degli obiettivi di risanamento.

In riferimento al D.Lgs. 194/2005, le Regioni ricevono le mappature acustiche e i piani d'azione elaborati dal gestore aeroportuale. La Regione di competenza territoriale verifica che la mappatura acustica e il piano d'azione soddisfino i requisiti richiesti.

6.2.1. Imposta regionale sulle emissioni sonore degli aeromobili (IRESA)

Dal 2001 è stata istituita l'Imposta regionale sulle emissioni sonore degli aeromobili (IRESA), (L. 21-11-2000, n. 342 "Misure in materia fiscale" - Capo IV, art. 90) destinata a fondi per i sistemi di monitoraggio e disinquinamento acustico e indennizzo delle popolazioni residenti nelle zone dell'intorno aeroportuale (zone A e B come definite dal D.M. 31-10-1997), imposta purtroppo non ancora applicata. Contemporaneamente, a decorrere dal 1° gennaio 2001 sono state soppresse le precedenti imposte erariali (rif. legge 165/1990 e legge 449/1997).

L'imposta IRESA è stabilita (art. 92 comma 1) sulla base dell'emissione sonora dell'aeromobile civile, come indicata nelle norme sulla certificazione acustica internazionale (capitolo della certificazione ICAO annesso 16) ed è dovuta a ogni Regione o Provincia autonoma per ogni decollo e atterraggio dell'aeromobile civile negli aeroporti civili. Il soggetto obbligato al pagamento dell'imposta è l'esercente dell'aeromobile, mentre sono esclusi i voli di Stato, sanitari e di emergenza. Le misure dell'imposta possono essere variate, con legge delle Regioni o delle Province autonome interessate:

- fino al 15% nel caso che il decollo o l'atterraggio dell'aeromobile avvenga nelle fasce orarie di maggiore utilizzazione, individuate dal Ministro dei trasporti e della navigazione con un proprio decreto;
- in misura non superiore all'indice Istat dei prezzi al consumo per la collettività nazionale;
- fino a un massimo del 10% in relazione alla densità abitativa dell'intorno aeroportuale differenziandole su base territoriale.

La ripartizione del gettito dell'imposta viene effettuata al proprio interno da ciascuna Regione e Provincia autonoma sulla base dei programmi di risanamento e di disinquinamento acustico presentati dai Comuni dell'intorno aeroportuale ed elaborati sui dati rilevati dai sistemi di monitoraggio acustico realizzati.

Nel caso in cui le zone sottoposte a inquinamento acustico derivante dalle emissioni sonore di aeroporti civili siano situate in Regioni limitrofe a quella in cui risiede l'aeroporto stesso, in sede di Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano si attua la compensazione tra le diverse Regioni interessate in merito alle risorse derivanti dall'applicazione dell'imposta. Vengono applicate delle sanzioni amministrative per l'omessa presentazione della comunicazione, per la dichiarazione infedele e per l'omesso versamento del tributo. Per le modalità di irrogazione delle sanzioni si applicano le disposizioni di cui al decreto legislativo n. 472 del 1997.

Purtroppo, dal 2001 ad oggi, l'imposta sopra descritta non è stata resa operativa, visto che il decreto del Ministero delle finanze (di concerto con Ministero dei trasporti e Ministero dell'ambiente) che ne avrebbe dovuto definire le modalità applicative, non è stato ancora emanato.

A titolo esemplificativo, circa l'entità dell'imposta si riporta il caso più frequente, applicabile ai voli dichiarati "capitolo 3" secondo la certificazione ICAO: l'imposta consiste in 6 cent/ton (equivalente di 120 lire/ton) fino a 25 ton + 8 cent/ton (equivalente di 158 lire/ton) fino al "peso massimo al decollo", che equivarrebbe a un'imposta media per ciascuna movimentazione aerea pari a circa 4 euro. La mancata applicazione dell'imposta in questione (stimata fino al 31.10.2010) ha comportato un mancato introito complessivo approssimativamente di 66 milioni di euro, distribuiti per regione secondo quanto riportato nel grafico di seguito mostrato.

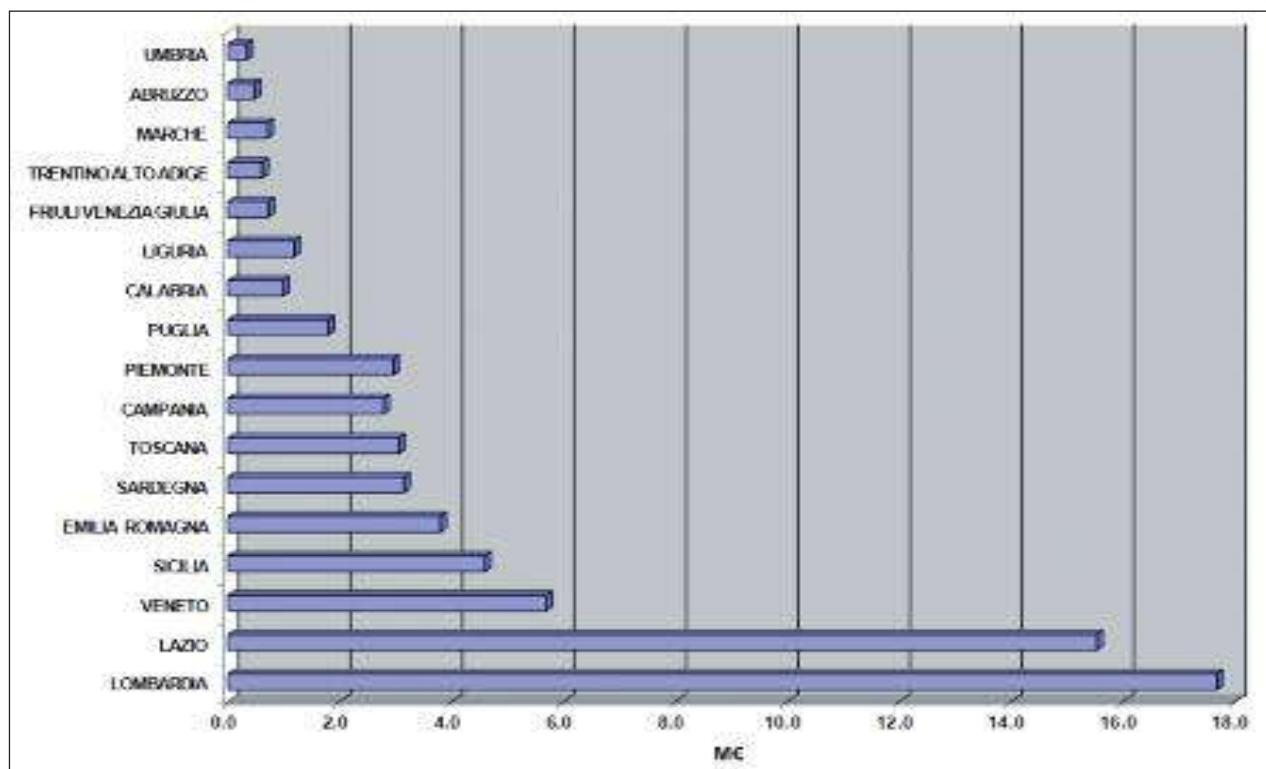


Fig. 16 - Distribuzione regionale del mancato introito dal 2000 al 2010 dell'imposta regionale sulle emissioni sonore degli aeromobili civili (IRESA)

6.3. Ruolo dell'ARPA

Le Agenzie Regionali di Protezione Ambientale (ARPA) rappresentano l'organo tecnico delle Regioni e degli Enti Locali (Province, Comuni, Consorzi locali) nell'azione di pianificazione e di controllo ambientale. Le stesse operano anche come supporto tecnico qualificato verso altre istituzioni pubbliche, gestori delle infrastrutture del trasporto e, in generale, altri organismi tecnici.

In tema di rumore aeroportuale, le Agenzie:

- 1) partecipano ai lavori delle commissioni aeroportuali, in cui ricoprono un importante ruolo di supporto tecnico;
- 2) verificano l'efficienza dei sistemi di monitoraggio gestiti dalla società di gestione aeroportuale;
- 3) trasmettono al Ministero dell'ambiente, con cadenza almeno semestrale, una relazione tecnica circa l'attività di controllo effettuata, le tipologie ed entità delle infrazioni rilevate, desunte dalla elaborazione dei dati contenuti negli archivi del sistema di monitoraggio;
- 4) svolgono un'azione di informazione del pubblico circa i dati ambientali dell'aeroporto.

Il compito affidato alle Agenzie risulta particolarmente gravoso, sia per il ruolo tecnico prevedibile, sia per le non trascurabili criticità presenti nella normativa in vigore. In particolare, rispetto alla verifica dell'efficienza dei sistemi di monitoraggio, il ruolo assegnato alle Agenzie non è solo quello di verificare il rispetto dei limiti imposti dalla normativa, ma anche quello di rendicontare periodicamente al legislatore (Ministero dell'ambiente) l'efficienza ed eventualmente gli elementi di criticità riscontrati nel sistema di monitoraggio (gestito dalla società aeroportuale), comprese le modalità per rilevare le infrazioni rispetto alle procedure antirumore.

In particolare, si ricorda che il sistema di monitoraggio del rumore aeroportuale deve consentire:

- l'accertamento delle violazioni delle procedure antirumore,
- la determinazione degli indici di rumore aeroportuale,
- la gestione di eventuali lamentele.

Le Agenzie, pertanto, sono tenute a svolgere un vero e proprio processo di audit che non può limitarsi a una verifica formale degli elementi che compongono il sistema di monitoraggio e dei dati forniti, visto che la qualità (e validazione) del dato acustico può essere verificata solo attraverso una procedura più complessa di analisi. Innanzitutto deve essere prevista una verifica dei requisiti del sistema rispetto alle disposizioni di legge, da effettuarsi allo start-up e ogni qualvolta si renda necessaria una modifica strutturale della rete. Periodicamente, inoltre, si dovrà procedere a una verifica della gestione del sistema, cioè dello stato della manutenzione, del programma di manutenzione periodica, sia delle singole stazioni che del centro di elaborazione dati, nonché del processo elaborativo dei dati. Quest'ultima verifica è quella che richiede il maggior impegno tecnico da parte delle ARPA e prevede l'analisi dei seguenti elementi:

- modalità di identificazione degli eventi sonori;
- sensibilità delle stazioni di monitoraggio ai movimenti aerei;
- identificazione delle tre settimane di massimo traffico;
- eventi correlati rispetto al numero di movimenti;
- continuità delle rilevazioni;
- verifica dei dati di LVA forniti.

Per dare seguito a questa impegnativa azione di controllo, le Agenzie si trovano spesso a dover svolgere delle proprie campagne di misura i cui risultati rappresentano un importante ausilio per la verifica dell'efficienza del sistema di monitoraggio gestito dalla società aeroportuale.

Non è da sottovalutare, inoltre, che in base al D.Lgs. 195/2005 l'esercente dello scalo deve garantire l'accesso pubblico alle informazioni sul rumore generato e, per poter correttamente svolgere queste funzioni, è necessario che i dati messi a disposizione dal gestore siano validati. In tal senso il ruolo di

verifica dell'ARPA diviene un'attività di supporto alla gestione del sistema, consentendo di disporre di dati affidabili che possano essere utilizzati sia ai fini degli adempimenti normativi a carico del gestore sia per l'informazione al pubblico. La verifica, da parte dell'ARPA, della corretta esecuzione delle attività di monitoraggio (posta in carico all'esercente) e della gestione dei relativi risultati è quindi un'attività di particolare rilevanza anche per il gestore stesso.

6.3.1. I CRISTAL

Considerato l'impegnativo ruolo assegnato dal legislatore alle ARPA e la specifica professionalità richiesta alle Agenzie, la Regione Lombardia (nel 2002) e la Regione Lazio (nel 2007) hanno deciso di avviare, presso le rispettive Agenzie, strutture tecniche dedicate in grado di:

- affrontare specifiche situazioni di criticità acustiche generate dagli scali;
- supportare attivamente i lavori delle commissioni aeroportuali;
- rispondere alle esigenze normative riguardanti valutazioni e controlli.

Tra l'altro, la normativa in materia di monitoraggio del rumore aeroportuale prevede la determinazione di specifici descrittori acustici connessi al singolo evento aeronautico (indici, LVA_j , LVA_d e LVA_n), per il calcolo dei quali è necessario separare il rumore dovuto agli eventi di origine aeronautica da quelli dovuti ad altre sorgenti. Tale separazione risulta particolarmente laboriosa visto che il contributo acustico di origine aeronautica deve essere correlato con le tracce radar ENAV.

Mediante specifici finanziamenti da parte delle Regioni, sono stati avviati presso l'ARPA Lombardia e l'ARPA Lazio dei centri dedicati all'acustica aeroportuale, denominati "CRISTAL" (Centro Regionale Infrastrutture Sistemi Trasporto Aereo del Lazio/Lombardia).



Finora le attività di verifica eseguite dai CRISTAL hanno rappresentato l'unico strumento funzionale mediante il quale le ARPA hanno potuto rispondere agli specifici compiti istituzionali presso siti aeroportuali complessi (sia in termini di traffico aereo sia in termini di densità di popolazione circostante).

6.4. Ruolo del direttore della Circostrizione

Il direttore dell'aeroporto presiede la Commissione aeroportuale e pertanto:

- coordina i lavori della Commissione ai fini della definizione delle procedure antirumore, della zonizzazione acustica aeroportuale e del calcolo degli indici Ia, Ib e Ic;
- adotta, con provvedimento specifico, le procedure antirumore, dopo averle definite nell'ambito dei lavori della Commissione aeroportuale;
- contesta all'esercente dell'aeromobile la violazione delle procedure antirumore, provvedendo alla riscossione delle sanzioni amministrative previste che vanno da un minimo di 258 euro fino a un massimo di 10.329 euro.

6.5. Ruolo dell'ENAV

Secondo il D.M. 31-10-1997, l'ENAV deve fornire ai soggetti incaricati di determinare le curve isolivello e le procedure antirumore e a quelli preposti alla gestione del sistema di monitoraggio i dati delle traiettorie degli aeromobili civili seguite nel corso delle movimentazioni aeree (tracciati radar).

L'ENAV ha, inoltre, il compito di redigere il volume *AIP Italia* dove sono riportate le rotte di ingresso e uscita degli aeromobili dagli aeroporti e dove vengono pubblicate le procedure antirumore definite dalle singole commissioni aeroportuali, che devono essere applicate dai vettori aerei nel corso delle operazioni di atterraggio e decollo.

6.6. Ruolo dell'ENAC

Secondo il D.M. 31-10-1997 art. 5, l'ENAC deve istituire, per ogni aeroporto aperto al traffico civile, la commissione di cui al cap. 5.1.2, presieduta dal competente direttore della circostrizione aeroportuale. Il D.P.R. 11-12-1997 n. 496 stabilisce che l'ENAC esegua verifiche, con cadenza almeno biennale, sugli aeromobili in esercizio per accertarne la rispondenza alla certificazione acustica di cui al decreto del Ministero dei trasporti 3 dicembre 1983. La documentazione di certificazione acustica degli aeromobili in esercizio deve essere messa a disposizione, oltre che all'ENAC, anche alle ARPA per eventuali controlli.

Secondo lo stesso decreto (art. 5) l'ENAC, d'intesa con le Regioni, può autorizzare, assicurando comunque l'agibilità dell'aeroporto per voli di Stato, sanitari e di emergenza, i voli notturni dalle ore 23 alle ore 6 se sono effettuati con aeromobili che soddisfino i requisiti acustici adeguati e se il valore LVA non supera 60dB(A) nella zona A.

6.7. Compiti delle società e degli enti gestori

I principali compiti delle società di gestione sono:

- gestione e manutenzione del sistema di monitoraggio;
- elaborazione piani di abbattimento e contenimento del rumore;
- elaborazione delle mappature acustiche degli aeroporti principali ex D.Lgs. 194/2005;
- definizione dei piani d'azione per l'abbattimento del rumore ex D.Lgs. 194/2005.

Sistema di monitoraggio aeroportuale

I sistemi di monitoraggio devono:

- 1) monitorare le singole operazioni di decollo e atterraggio al fine del rispetto delle procedure antirumore definite dalle commissioni aeroportuali;
- 2) registrare in continuo i dati di ogni singolo evento ed effettuare il calcolo dell'LVA secondo quanto indicato nell'allegato A del decreto 31 ottobre 1997;
- 3) essere predisposti a recepire e gestire le eventuali lamentele da parte dei cittadini.

Le caratteristiche tecniche dei sistemi di monitoraggio sono descritte nel capitolo 3.

Piani di risanamento

Secondo il D.M. 29-11-2000 "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", le società di gestione aeroportuali hanno l'obbligo di:

- individuare le aree in cui si rileva un superamento dei limiti previsti;
- determinare il contributo dell'infrastruttura al superamento;
- presentare ai Comuni, alla Regione o all'autorità da essi indicata il piano di contenimento e abbattimento del rumore.

I compiti e i tempi di presentazione ed esecuzione dei piani per gli aeroporti sono di seguito sintetizzati:

Compiti del gestore	Tempi	Conseguenti adempimenti del gestore
Individuazione delle aree critiche con superamento dei limiti	Entro 18 mesi dalla zonizzazione acustica aeroportuale	Trasmettere le informazioni ai Comuni interessati e alla Regione o all'autorità da essa indicata
Redazione piano di risanamento	Entro i successivi 18 mesi	Trasmettere il piano di risanamento ai Comuni interessati e alla Regione o all'autorità da essa indicata, con le priorità d'intervento
Tempo per l'attuazione del piano di risanamento	Entro 5 anni	Conseguire il risanamento dalla data di espressione della Regione o dell'autorità da essa indicata

Entro sei mesi dalla data di ultimazione di ogni intervento previsto nel piano di risanamento, la società o l'ente gestore, nelle aree oggetto dello stesso piano, provvede a eseguire rilevamenti per accertare il conseguimento degli obiettivi del risanamento e trasmette i dati relativi al Comune e alla Regione o all'autorità da essa indicata.

I gestori devono comunicare al Ministero dell'ambiente, alle Regioni e ai Comuni l'entità dei fondi accantonati annualmente e lo stato di avanzamento fisico e finanziario dei singoli interventi previsti e conclusi.

Mappature acustiche e piani di azione

L'art. 3 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 194 "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale" stabilisce che, entro il 30 giugno 2007, le società e gli enti gestori delle infrastrutture aeroportuali elaborino e trasmettano alla Regione i dati relativi alla mappatura acustica degli aeroporti principali in cui si svolgono più di 50.000 movimenti all'anno. Nel caso di infrastrutture di interesse nazionale i dati devono essere trasmessi anche al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, oltre che alla Regione.

Essi dovranno perciò contenere, come requisito minimo:

- la descrizione spaziale delle curve di isolivello degli indicatori L_{den} e L_{night} in classi di 5 dBA per i livelli 55, 60, 65, 70, 75 e 50, 55, 60, 65, 70 rispettivamente, calcolati a una quota sul terreno di 4 metri, considerando solo il suono incidente sulla facciata esposta;
- la quantificazione della popolazione esposta al rumore prodotto dall'infrastruttura specifica, con arrotondamento al centinaio, nelle classi sopra riportate;
- la quantificazione delle superfici e delle abitazioni esposte al rumore prodotto dall'infrastruttura specifica, nelle classi sopra riportate;
- la quantificazione dei recettori sensibili (scuole, ospedali, case di cura) esposti al rumore prodotto dall'infrastruttura specifica, nelle classi sopra riportate;

-
- i programmi di contenimento del rumore attuati in passato e le misure antirumore in atto;
 - la delimitazione delle aree dove è superato il valore limite, espresso dal valore LVA all'interno dell'intorno aeroportuale e dal descrittore LAeq diurno e notturno, come definito dalla zonizzazione acustica del Comune o dall'art. 6 del D.P.C.M. 1-3-1991, all'esterno dell'intorno aeroportuale e attribuibile al traffico aeroportuale;
 - una sintesi del piano d'azione previsto (elaborato da consegnare entro il 18 luglio 2008).

Il D.Lgs. 194/2005 stabilisce, inoltre, che entro il 18/7/2008 le Società e gli Enti gestori degli aeroporti con numero movimenti superiori a 50.000 all'anno elaborano e trasmettono i propri piani d'azione alla Regione, redatti secondo le specifiche modalità di cui all'allegato 5 del decreto. Analogamente alle mappature acustiche, nel caso di infrastrutture di interesse nazionale le informazioni devono essere trasmesse anche al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, oltre che alla Regione.

PARTE B: AEROPORTO “G.B. PASTINE” - ESEMPIO DI UN MONITORAGGIO AEROPORTUALE

7. DESCRIZIONE AEROPORTO “G.B. PASTINE” DI CIAMPINO

L'aeroporto “G.B. Pastine” di Ciampino è il secondo aeroporto del Lazio ed è compreso nel territorio dei Comuni di Roma, Ciampino e Marino. L'aeroscalo ha la caratteristica di ricevere aeromobili in atterraggio principalmente da Nord-Nord Ovest e di consentire decolli verso Sud-Sud Est (entrambi con l'utilizzo della pista 15) in considerazione delle condizioni meteo prevalenti. Il percorso di salita degli aeromobili si sviluppa dunque principalmente verso Sud, con una ampia virata verso Ovest, e interessa il territorio dei Comuni di Ciampino e Marino. Il percorso di discesa interessa invece il territorio del Comune di Roma (X Municipio). In base a un'analisi delle attività di decollo e di atterraggio nel corso dell'anno 2008 è stato verificato che solo per circa il 5% dei voli è stata attuata un'inversione della pista dalla 15A-15D alla 33A-33D, nel corso del 2009 l'attività è pressoché rimasta invariata. Vengono di seguito riportate le principali caratteristiche della pista dell'aeroporto e uno stralcio aerofotogrammetrico dell'area che mostra i confini comunali e alcuni tracciati radar.

Quota s.l.m. (ft)	Orientamento pista (°)	Lunghezza (m)	Ampiezza (m)
427 ft	15/33	2207.5	45

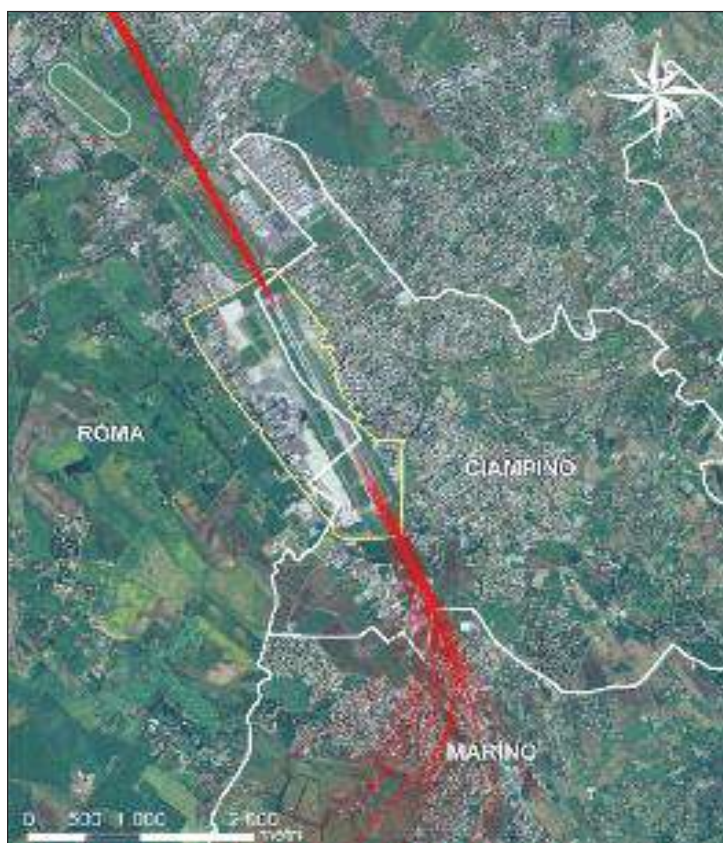


Fig. 17 - Inquadramento territoriale dell'aeroporto “G.B. Pastine” di Ciampino rispetto ai confini dei Comuni di Ciampino, Marino e Roma con le principali direzioni di atterraggio e decollo

Con lo sviluppo delle compagnie low cost, presso tale aeroporto, dall'anno 2000* si è assistito a un graduale aumento dei voli che ha avuto un maggior incremento (circa 150%) nel 2007 con un numero di voli che ha superato i 60.000. A partire dall'anno 2008 è stato constatato un decremento del numero di movimenti che rappresenta un'inversione di tendenza rispetto al trend degli anni precedenti (fig.18).

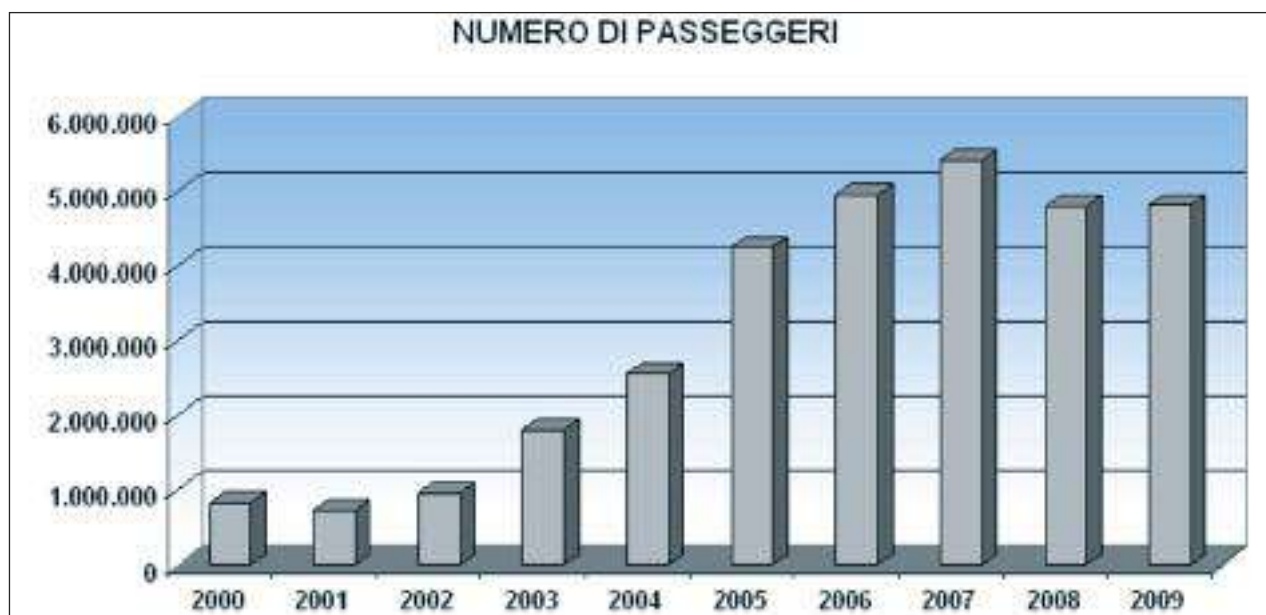


Fig. 18 - Grafici dell'andamento del numero di movimenti aerei e del numero di passeggeri relativi all'aeroporto di Ciampino negli anni dal 2000 al 2009

L'attività svolta dall'ARPA Lazio presso l'aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino, a partire dal 2008, ha previsto:

- monitoraggio acustico, elaborazione e analisi dei dati;
- verifica dell'efficienza del sistema di monitoraggio del gestore aeroportuale (Aeroporti di Roma S.p.A.) come descritto dal D.P.R. 496/1997;

* dati presi da Assoaeroporti.

-
- calcolo indici LVA, elaborazione impronta acustica aeroportuale mediante applicazioni modellistiche, calcolo della popolazione esposta;
 - partecipazione ai lavori della Commissione aeroportuale/Conferenza dei servizi

Le suddette attività sono tutt'ora in corso.

Nei capitoli seguenti è riportato nello specifico quanto sopra descritto.

8. SISTEMA DI MONITORAGGIO

Per effettuare il monitoraggio acustico dell'aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino e per verificare l'efficienza del sistema di monitoraggio del rumore aeroportuale gestito dalla società ADR S.p.A. (D.P.R. 496/1997), l'ARPA Lazio ha ritenuto opportuno installare una propria rete di stazioni di misura che è attiva da febbraio 2008. Dopo un'attenta valutazione della zona circostante l'aeroporto e delle caratteristiche di utilizzo dello scalo aeronautico, sono state posizionate sei stazioni di monitoraggio lungo le traiettorie di decollo (principalmente verso S-SE), interessando gli abitati di Ciampino e Marino, di atterraggio (principalmente da N-NW), sul territorio di Roma e lateralmente la pista (pista 15).

8.1. Stazioni di misura ARPA Lazio

Dal giorno 11/02/08 sono contemporaneamente attive sei postazioni di misura installate e gestite dall'ARPA Lazio, il cui posizionamento è di seguito descritto:

- **Postazione ROM01:** monitoraggio attivo dall'11/02/08 e ancora in corso, nel Comune di Roma (X Municipio). La stazione di misura è posizionata in area aperta vicino ad alcune villette, in prossimità dell'ippodromo delle Capannelle. La postazione si colloca sotto il profilo di atterraggio della pista 15.
- **Postazione CIA01:** monitoraggio attivo dall'11/02/08 e ancora in corso, nel Comune di Ciampino. La stazione di misura è posizionata sul lastrico solare di un edificio residenziale, in prossimità del centro di Ciampino e lateralmente alla pista.
- **Postazione CIA02:** monitoraggio attivo dall'11/02/08 e ancora in corso, nel Comune di Ciampino. La stazione di misura è posizionata presso una scuola, lateralmente alla pista.
- **Postazione CIA03:** monitoraggio attivo dall'11/02/08 e ancora in corso, nel Comune di Ciampino. La stazione di misura è posizionata nel giardino di un fabbricato residenziale, in prossimità del profilo di decollo della pista 15.
- **Postazione MAR01:** monitoraggio attivo dall'11/02/08 e ancora in corso, nel Comune di Marino. La stazione di misura è posizionata sul terrazzo di una scuola, sotto il profilo di decollo della pista 15.
- **Postazione MAR02:** monitoraggio attivo dall'11/02/08 al 17/03/08, nel Comune di Marino. La stazione di misura è posizionata sul terrazzo di un edificio residenziale, sotto il profilo di decollo della pista 15.
- **Postazione MAR03:** monitoraggio attivo dal 17/03/08 al 27/03/08, nel Comune di Marino. La stazione di misura è posizionata sul balcone di un edificio residenziale, sotto il profilo di decollo della pista 15.
- **Postazione MAR04:** monitoraggio attivo dal 27/03/08 e ancora in corso, nel Comune di Marino. La stazione di misura è posizionata sul lastrico solare di un edificio residenziale, sotto il profilo di decollo della pista 15.

La centralina inizialmente installata nella postazione MAR02 è stata successivamente trasferita nelle postazioni MAR03 e poi MAR04 per meglio monitorare le rotte di decollo degli aeromobili lungo la pista 15. Nella tavola 01 (allegata a fine testo) è riportata la posizione di tutte le stazioni di misura.

8.2. Catena strumentale e software

La catena strumentale utilizzata per le misurazioni dei livelli acustici è conforme alle specifiche del D.M. 31-10-1997 ed è provvista di certificato di taratura secondo il D.M. 16-03-1998 eseguito presso laboratori accreditati da un servizio di taratura nazionale, ai sensi della legge 11 agosto 1991, n. 273.

La strumentazione adottata per l'acquisizione dei dati di monitoraggio acustico è costituita da:

- 4 fonometri Bruel & Kjaer mod. "2250"
- 2 fonometri 01dB mod. "Solo"
- 2 fonometri L&D 824 SLM, LARSON DAVIS
- 2 fonometri L&D 831, LARSON DAVIS.

La strumentazione è stata impostata per l'acquisizione delle storie temporali in LAF (livello di pressione sonora ponderata "A" in costante di tempo Fast) e in short LAeq con intervallo di integrazione $\Delta t = 1s$. Per la discriminazione degli eventi sonori prodotti dagli aeromobili civili rispetto a quelli di altra origine non aeronautica è stato adottato il criterio di definire a posteriori una soglia per il livello sonoro LAF che deve essere superata da quest'ultimo per un periodo di tempo non inferiore a una durata minima. La durata minima di superamento della soglia è stata determinata sperimentalmente per ciascuna postazione di misura al fine di ottimizzare la discriminazione degli eventi sonori prodotti dagli aeromobili. Per facilitare il lavoro di riconoscimento degli eventi aeronautici rispetto alle altre sorgenti di rumore presenti sul territorio sono stati acquisiti anche gli spettri in frequenza in 1/3 ottava.

I software utilizzati per la post elaborazione sono: pacchetto Bruel (BZ5503, Evaluator Tipo 7820 - 7821) pacchetto 01dB (CityNoise Analyzer) e pacchetto SPECTRA (Noise & vibration works).

Per realizzare gli scenari di impatto acustico è stato utilizzato il modello previsionale aeroportuale INM.

8.2.1. Calibrazione e certificazione SIT

Secondo il D.M. 16-03-1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico", art. 2 comma 4, gli strumenti e i sistemi di misura devono essere provvisti di certificato di taratura e controllati almeno ogni due anni per la verifica della conformità alle specifiche tecniche. Il controllo periodico è stato eseguito presso laboratori accreditati da un servizio di taratura nazionale ai sensi della legge 11 agosto 1991, n. 273.

8.3. Sensibilità delle postazioni ai movimenti aerei

Nella tabella 3 è riassunta la sensibilità delle stazioni di misura, ossia la loro capacità di rilevare il rumore degli eventi aeronautici: tale capacità dipende dal loro posizionamento rispetto alle piste di atterraggio (A) e decollo (D) dell'aeroporto.

In particolare, si evidenzia che le stazioni di misura posizionate a Nord dell'aeroporto risultano sensibili ai movimenti aeronautici 15A e 33D, mentre quelle posizionate a Sud dell'aeroporto risultano sensibili ai movimenti 33A e 15D; le stazioni di misura posizionate lateralmente alla pista sono invece sensibili alla totalità dei movimenti.

Stazioni di misura ARPA	Piste di decollo e atterraggio			
	15A	33A	15D	33D
ROM01	X			X
CIA01	X	X	X	X
CIA02	X	X	X	X
CIA03		X	X	
MAR01		X	X	
MAR04		X	X	

Tab. 3 - Sensibilità rispetto alle operazioni di decollo e atterraggio delle stazioni di misura

Nella tavola 02 (allegata fine testo) è riportato graficamente un esempio di utilizzo della pista per una settimana di monitoraggio (21-27 maggio 2008) ottenuto attraverso l'implementazione delle tracce radar in un sistema informativo (database).

9. METODOLOGIA DI ANALISI DEI DATI

Il presente capitolo ha lo scopo di illustrare i livelli di rumorosità generati dall'infrastruttura aeroportuale "G.B. Pastine" nel corso degli anni 2008 e 2009.

Gli esiti del monitoraggio, effettuato attraverso le sei stazioni di monitoraggio in continuo, sono stati presi in considerazione per uno studio preliminare del livello di valutazione del rumore aeroportuale (LVA) calcolato secondo le metodologie previste dal D.M. 31-10-1997.

Per il calcolo dell'LVA secondo le specifiche del succitato decreto (allegato A) sono state scelte tre settimane nell'ambito dei seguenti periodi:

- 1 Ottobre - 31 Gennaio;
- 1 Febbraio - 31 Maggio;
- 1 Giugno - 30 Settembre.

La settimana di osservazione, all'interno di ogni periodo, è stata scelta considerando quella a maggior numero di atterraggi e decolli, secondo i dati delle tracce radar ENAV forniti dalla Società Aeroporti di Roma (ADR) S.p.A.

Per le tre settimane sono state eseguite le seguenti elaborazioni:

- calcolo delle correlazioni tra le tracce radar e gli eventi acustici aeronautici;
- calcolo dell'LVA.

La metodologia di analisi dei dati è stata condotta prendendo in considerazione, in assenza di altri riferimenti normativi, le linee guida dell'ARPA Lombardia (allegato tecnico della D.G.R. Regione Lombardia 808/2005) che costituiscono una guida per l'efficiente funzionamento dei sistemi di monitoraggio del rumore aeroportuale e per le campagne di misura.

Per poter effettuare una caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale, è stato implementato il modello acustico dell'aeroporto con il software di simulazione dei livelli sonori INM. Tramite l'utilizzo di questo modello è stato possibile definire gli scenari di impatto acustico dell'aeroporto riferito al periodo 2008 (tre settimane con maggior numero di movimenti).

Per stimare l'impatto acustico sulle aree territoriali circostanti l'aeroporto è stato realizzato un GIS in cui sono stati inseriti tutti i dati di monitoraggio, il censimento di popolazione Istat 2000-2001 e gli scenari di impatto acustico. Per poter effettuare il calcolo della quantità della popolazione esposta ai differenti valori del livello di valutazione ambientale sono stati utilizzati gli strumenti di calcolo di ArcView versione 9.3.

In conformità a quanto stabilito dal D.M. 31-10-1997 sono state prese in esame anche le condizioni meteorologiche nell'area interessata dalle postazioni di misura. La caratterizzazione meteorologica nell'area oggetto di studio è stata realizzata tramite l'elaborazione dei dati delle stazioni di misura dell'Aeronautica Militare (presso l'aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino) e dell'ARPA Lazio (presso la postazione di via Saredo - Roma, zona Cinecittà). Gli indicatori presi in considerazione sono: regime dei venti (velocità e direzione), temperatura dell'aria, umidità relativa, pressione e precipitazioni.

9.1. Scelta delle settimane con maggior numero di movimenti

La settimana di osservazione all'interno di ogni periodo è stata scelta considerando quella a maggior numero di atterraggi e decolli, secondo i tracciati radar forniti dalla Società aeroporti di Roma (ADR S.p.A.).

I tracciati radar sono stati implementati in un sistema informativo (database) dove è possibile effettuare interrogazioni sulle caratteristiche dei voli (compagnia di appartenenza, tipo di velivolo, tipo di volo ecc.) e conteggiare i voli giornalieri e settimanali.

Per calcolare la settimana a maggior numero di movimenti è stata computata la somma dei movimenti in un intervallo di sette giorni consecutivi (somma trascinata).

Le tre settimane scelte nell'ambito dei tre periodi (allegato A del D.M. 31-10-1997) sono le seguenti:

per il 2008

- 21/05/2008 - 27/05/2008
- 21/06/2008 - 27/06/2008
- 09/10/2008 - 15/10/2008

per il 2009

- 24/05/2009 - 30/05/2009
- 05/07/2009 - 11/07/2009
- 13/10/2009 - 19/10/2009

Nelle tabelle che seguono sono riportati il numero di voli giornalieri nei periodi succitati per il 2008 e per il 2009.

NUMERO DI VOLI GIORNALIERI ANNO 2008					
Settimana 21-27/05/2008		Settimana 21-27/06/2008		Settimana 09-15/10/2008	
DATA	VOLI	DATA	VOLI	DATA	VOLI
21/05/2008	229	21/06/2008	154	09/10/2008	225
22/05/2008	231	22/06/2008	171	10/10/2008	205
23/05/2008	231	23/06/2008	204	11/10/2008	151
24/05/2008	154	24/06/2008	202	12/10/2008	176
25/05/2008	173	25/06/2008	225	13/10/2008	178
26/05/2008	220	26/06/2008	255	14/10/2008	195
27/05/2008	196	27/06/2008	239	15/10/2008	191
Totale	1.434	Totale	1.450	Totale	1.321

Tab. 4 - Numero di voli giornalieri nelle tre settimane di maggiore movimentazione anno 2008

NUMERO DI VOLI GIORNALIERI ANNO 2009					
Settimana 24-30/05/2009		Settimana 05-11/07/2009		Settimana 13-19/10/2009	
DATA	VOLI	DATA	VOLI	DATA	VOLI
24/05/2009	171	05/07/2009	164	13/10/2009	190
25/05/2009	218	06/07/2009	212	14/10/2009	189
26/05/2009	310	07/07/2009	200	15/10/2009	210
27/05/2009	299	08/07/2009	211	16/10/2009	193
28/05/2009	415	09/07/2009	207	17/10/2009	145
29/05/2009	271	10/07/2009	231	18/10/2009	146
30/05/2009	164	11/07/2009	165	19/10/2009	194
Totale	1.848	Totale	1.390	Totale	1.267

Tab. 5 - Numero di voli giornalieri nelle tre settimane di maggiore movimentazione anno 2009

Per le stazioni di monitoraggio che nelle settimane di maggior movimento non hanno acquisito il dato acustico, ai fini della scelta del periodo più critico è stato fatto riferimento alla metodologia indicata dalle linee guida dell'ARPA Lombardia per le quali i periodi sostitutivi devono essere selezionati tenendo conto dei seguenti fattori, in ordine di priorità:

- devono essere minimizzate le differenze nel numero dei voli notturni;
- devono essere minimizzate le differenze nel numero dei voli complessivi;
- devono essere minimizzate le differenze nel numero dei voli maggiormente rumorosi.

Pertanto si è applicato il criterio della settimana sostitutiva per le stazioni di monitoraggio di seguito riportate.

Per il 2008:

- periodo febbraio - maggio: MAR01;
- periodo ottobre - gennaio: ROM01, MAR02 e MAR04;

Per il 2009:

- periodo febbraio - maggio: CIA03;
- periodo giugno - settembre: ROM01;
- periodo ottobre - gennaio: ROM01.

Queste settimane sono direttamente equiparabili alle settimane critiche anche come voli notturni. Per problemi tecnici alla stazione di monitoraggio CIA03 la scelta della settimana sostitutiva ricade nel periodo 14-20/05/2009.

Di seguito sono riportati i voli giornalieri e totali delle settimane sostitutive selezionate.

NUMERO DI VOLI GIORNALIERI (SETTIMANE SOSTITUTIVE 2008)			
Settimana 17-23/05/2008		Settimana 25- 31/10/2008	
DATA	VOLI	DATA	VOLI
17/05/2008	151	25/10/2008	142
18/05/2008	164	26/10/2008	166
19/05/2008	174	27/10/2008	178
20/05/2008	189	28/10/2008	187
21/05/2008	229	29/10/2008	217
22/05/2008	231	30/10/2008	208
23/05/2008	231	31/10/2008	207
Totale	1.369	Totale	1.305

Tab. 6 - Numero di voli giornalieri nelle settimane sostitutive anno 2008

NUMERO DI VOLI GIORNALIERI (SETTIMANE SOSTITUTIVE 2009)

Settimana 14-20/05/2009		Settimana 11-17/06/2009		Settimana 15-21/12/2009	
DATA	VOLI	DATA	VOLI	DATA	VOLI
14/05/2009	202	11/06/2009	222	15/12/2009	179
15/05/2009	184	12/06/2009	215	16/12/2009	172
16/05/2009	131	13/06/2009	175	17/12/2009	169
17/05/2009	151	14/06/2009	170	18/12/2009	198
18/05/2009	191	15/06/2009	196	19/12/2009	137
19/05/2009	173	16/06/2009	199	20/12/2009	127
20/05/2009	221	17/06/2009	208	21/12/2009	173
Totale	1.253	Totale	1.385	Totale	1.155

Tab. 7 - Numero di voli giornalieri nelle settimane sostitutive anno 2009

Complessivamente si osserva che presso l'aeroporto di Ciampino si è effettuato mediamente un numero di movimentazioni giornaliere, nelle settimane critiche, di circa 200 voli di cui il 5% ha interessato il periodo di riferimento notturno.

9.1.1. Statistiche del volo

Sempre dall'implementazione dei tracciati radar nel database, è stato possibile effettuare una distribuzione statistica dei velivoli e delle compagnie/tipologie di voli nelle tre settimane individuate a maggiore numero di movimentazioni 2008 (figg. 19 e 20). Le percentuali sono state calcolate sulla totalità dei voli dei periodi prescelti.

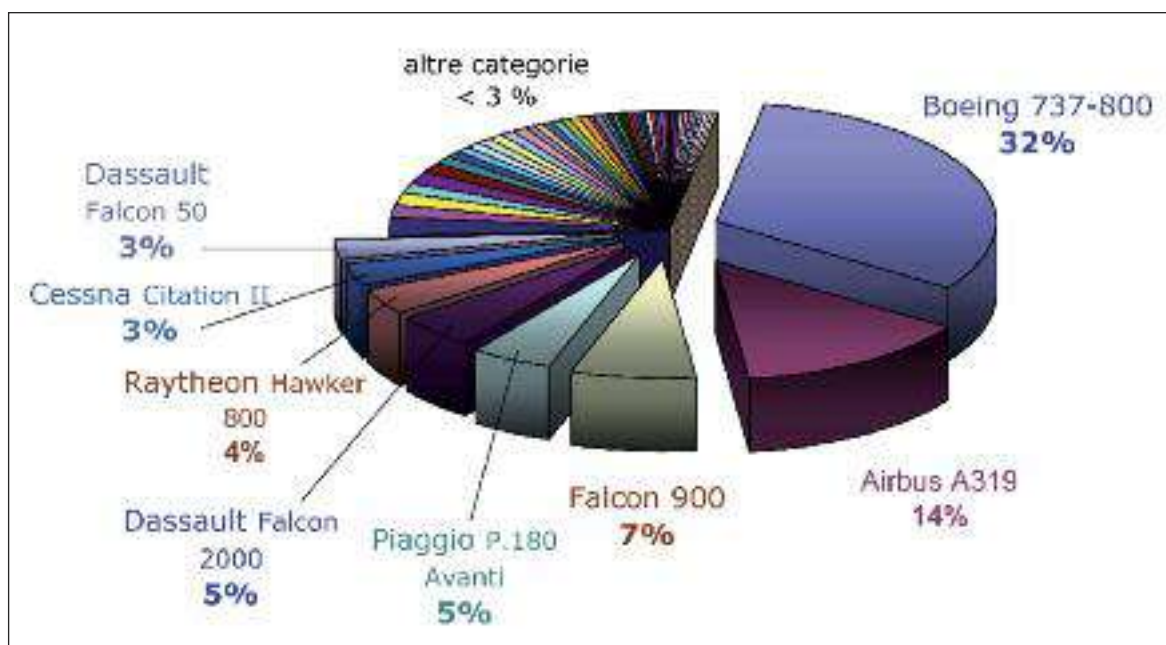


Fig. 19 - Percentuale per tipologia di aereo nelle tre settimane con maggior numero di movimenti

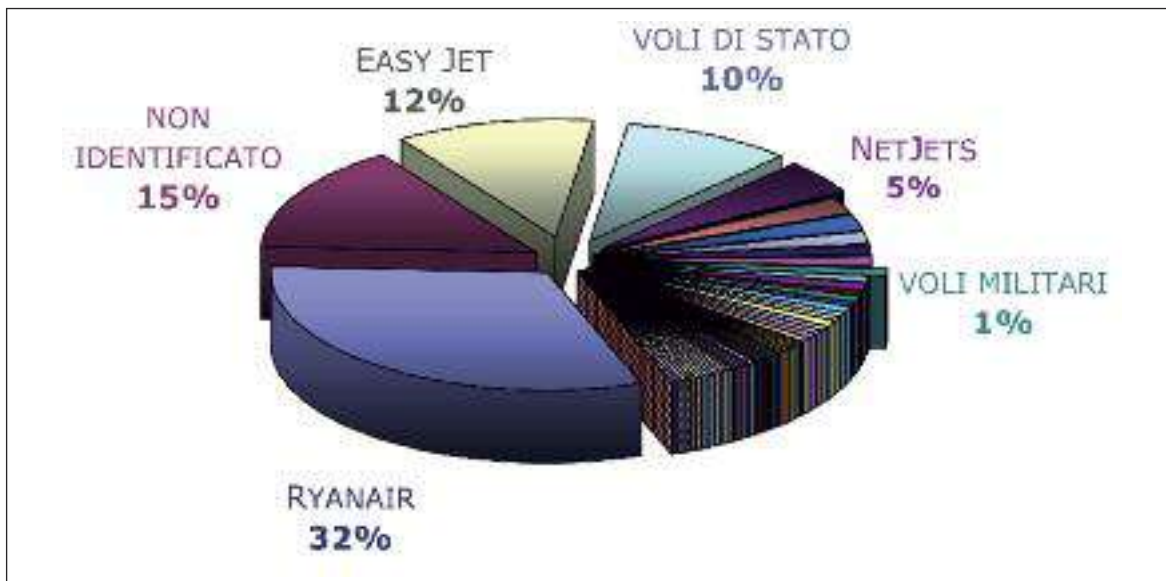


Fig. 20 - Percentuale per tipologia di compagnia nelle tre settimane con maggior numero di movimenti

Dalla figura 20 si osserva che la compagnia aerea Ryanair è quella che utilizza per la massima parte l'aeroporto di Ciampino, seguita dalla compagnia EasyJet. Pertanto circa il 50% delle presenze presso l'aeroporto è rappresentato dalle compagnie aeree definite "low-cost".

Il 15% del volato non è stato possibile associarlo alla specifica compagnia/tipologia (non identificato). Dalle figure 19 e 20 è possibile notare come gli aeromobili predominanti sull'aeroporto di Ciampino siano il Boeing 737-800 (32%) e l'Airbus A319 (14%). In particolare, nelle tre settimane è stato osservato che la categoria Boeing 737- 800 corrisponde ai velivoli utilizzati da Ryanair e la categoria Airbus A319 è quasi esclusivamente utilizzata da EasyJet.

Di seguito viene rappresentata una distribuzione annuale (2008) delle compagnie aeree che operano sullo scalo di Ciampino.

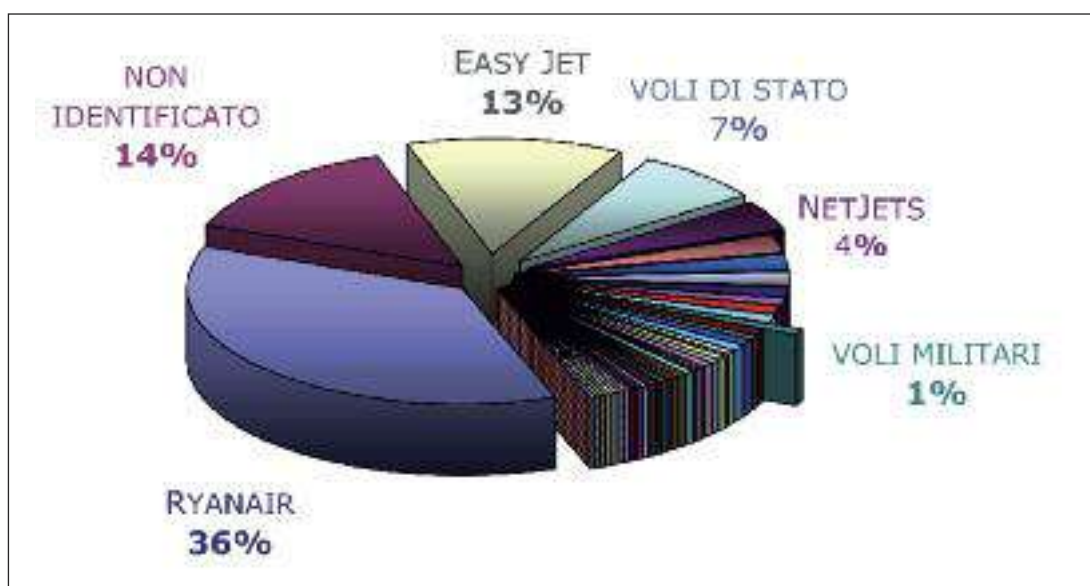


Fig. 21 - Percentuale per tipologia di compagnia nell'anno 2008

Come si può osservare dalle figure 20 e 21 la percentuale di presenza delle singole compagnie aeree/tipologie di voli presso l'aeroporto è confrontabile sia su base annuale che nelle tre settimane a maggior traffico 2008. Anche per l'anno 2009 la percentuale di presenza delle singole compagnie aeree/tipologie di voli è rimasta pressoché invariata.

9.2. Determinazione del rumore di origine aeronautica

Per le stazioni di monitoraggio del rumore aeroportuale, ai fini della determinazione del descrittore acustico connesso all'evento aeronautico (indice LVA), è necessario, sulla base dei dati rilevati dalle centraline, determinare il rumore di origine aeronautica e correlarlo con le tracce radar.

Come prescritto dal D.M. 31-10-1997 allegato B art. 3, le rilevazioni acustiche e le successive elaborazioni dati devono essere infatti efficaci al fine di eseguire la "discriminazione degli eventi sonori prodotti dagli aeromobili civili da quelli di altra origine".

Per la determinazione del SEL, relativo all'evento correlato, è stata definita una soglia di livello di pressione sonora e una durata minima. La soglia utilizzata per l'identificazione degli eventi è circa di 60 dB(A) e 10 sec, variabili giorno per giorno in relazione al rumore di fondo riscontrato.

Per migliorare il livello di riconoscimento degli eventi aeronautici è stato inoltre analizzato il sonogramma in corrispondenza di ciascun evento individuato. In figura 22, viene rappresentato un esempio di tre eventi aeronautici con il sonogramma associato.

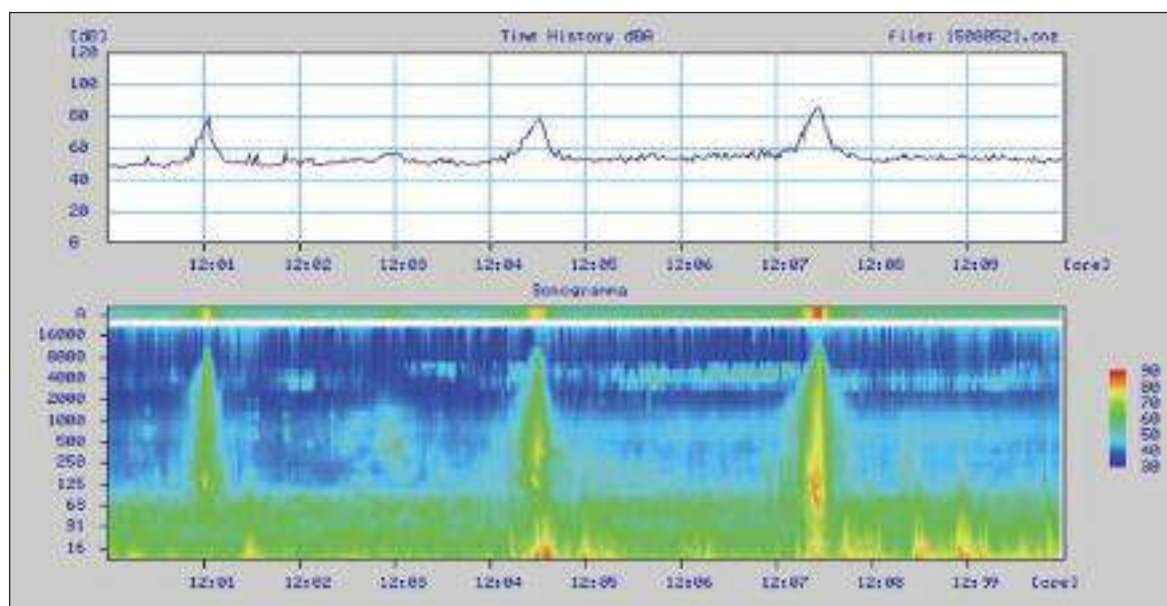


Fig. 22 - Sonogramma di tre eventi aeronautici

9.3. Metodologia di correlazione degli eventi

La normativa vigente (D.M. 31-10-1997, allegato B) indica che per il calcolo dell'LVA bisogna discriminare gli eventi sonori prodotti dagli aeromobili civili da quelli di altra origine.

Per distinguere gli eventi di rumore di origine aeronautica tra tutti quelli costantemente rilevati dalle stazioni di monitoraggio, si fa riferimento, oltre che all'intensità e alla durata del singolo evento, ai dati delle tracce radar relative ai movimenti aerei.

La metodologia adottata per la correlazione degli eventi con le tracce radar prevede la definizione dei vincoli spaziali, in termini di distanza tridimensionale tra la battuta radar (x, y, z, t) e la posizione della stazione di misura, e dei vincoli temporali, in termini di intervallo durante il quale l'aeromobile sorvola la stazione. Per effettuare questo studio è stato previsto lo sviluppo di applicativi per la correlazione degli eventi aeronautici con le tracce radar, finalizzati al calcolo degli LVA. Tali applicazioni sono state approntate adattando strumenti software già sviluppati e sperimentati dall'ARPA Lombardia negli ultimi dieci anni. Il software è stato perfezionato per le esigenze del CRISTAL Lazio, mettendo a punto funzionalità conformi alle necessità emerse durante l'attività svolta presso l'aeroporto di Ciampino.

I dati acustici rilevati dalle sei stazioni di misura sono stati analizzati al fine di individuare gli eventi aeronautici, definiti in base al superamento di soglie predefinite e alla durata. Gli eventi acustici selezionati sono stati correlati alle tracce radar. La gestione di queste informazioni avviene tramite applicativi GIS (Geographic Information Systems) che consentono la correlazione dei dati utilizzandone i riferimenti geo-cartografici. In questa fase sono stati acquisiti i dati acustici elaborati e le informazioni generali di ogni volo, nonché le informazioni spazio-temporali delle singole battute radar che lo compongono. Successivamente è stata eseguita l'elaborazione degli stessi attraverso la correlazione degli eventi con le battute: il processo associa gli eventi aeronautici agli eventi acustici partendo dai valori di SEL e ne ricava il valore maggiore da associare alla battuta che spazialmente e temporalmente risulta correlabile. È stata in tal modo prodotta una tabella di eventi correlati che è alla base del calcolo degli LVA. Il sistema è stato preventivamente tarato e validato mediante ripetuti controlli manuali e con l'ausilio dei sonogrammi degli eventi acustici.

Per le postazioni localizzate lateralmente alla pista, deputate al rilevamento dei decolli, degli atterraggi e delle movimentazioni all'interno dell'aeroporto, sono state riscontrate delle difficoltà nella correlazione tra l'evento aeronautico e la traccia radar. Infatti le correlazioni sono sottostimate a causa della mancanza di informazione delle tracce radar nelle vicinanze dell'aeroporto, in particolare nelle ultime fasi dell'atterraggio e nella prima parte del decollo.

9.3.1. Eventi correlati

Come prescritto dal D.M. 31-10-1997 allegato B art. 3, le rilevazioni acustiche e le successive elaborazioni dati devono essere efficaci al fine di eseguire la "discriminazione degli eventi sonori prodotti dagli aeromobili civili da quelli di altra origine".

Le tabelle che seguono evidenziano, per le tre settimane di riferimento negli anni 2008 e 2009, il numero di movimenti aeronautici complessivi giornalieri (n. voli totali) su ogni stazione di monitoraggio, come rilevato dai tracciati radar ENAV. Inoltre, sempre partendo dalle tracce radar, vengono riportati il numero di movimenti aeronautici che hanno interessato le stazioni di monitoraggio (n. voli attesi sulla centralina). Le ultime due colonne riportano per ciascuna settimana il numero degli eventi acustici correlati agli eventi aeronautici individuati dalle tracce radar (ENAV) e la relativa percentuale di correlazione rispetto ai voli attesi su ciascuna postazione di misura.

STAZIONE DI MISURA CIA01 ANNO 2008				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
21-27/05/2008	1.434	1.434	1.213	85%
21-27/06/2008	1.450	1.450	1.282	88%
9-15/10/2008	1.321	1.321	1.178	89%

Tab. 8 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA01

STAZIONE DI MISURA CIA01 ANNO 2009				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
24-30/05/2009	1.848	1.848	1.580	89%
05-11/07/2009	1.390	1.390	1.258	93%
13-19/10/2009	1.267	1.267	1.143	93%

Tab. 9 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA01

STAZIONE DI MISURA CIA02 ANNO 2008				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
21-27/05/2008	1.434	1.434	983	68%
21-27/06/2008	1.450	1.450	1.004	69%
9-15/10/2008	1.321	1.321	875	66%

Tab. 10 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA02

STAZIONE DI MISURA CIA02 ANNO 2009				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
24-30/05/2009	1.848	1.848	*	*
05-11/07/2009	1.390	1.390	*	*
13-19/10/2009	1.267	1.267	833	69%

Tab. 11 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA02

* per problemi tecnici la centralina CIA02 non ha funzionato e pertanto non si hanno dati nel primo e nel secondo periodo

STAZIONE DI MISURA CIA03 ANNO 2008				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
21-27/05/2008	1.434	709	647	92%
21-27/06/2008	1.450	712	667	94%
9-15/10/2008	1.321	557*	526*	94%*

Tab. 12 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA03

* calcolo voli su 6 giorni

STAZIONE DI MISURA CIA03 ANNO 2009				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
14-20/05/2009*	1.253	590	560*	95%
05-11/07/2009	1.390	658	651	99%
13-19/10/2009	1.267	581	573	99%

Tab. 13 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA03

* periodo sostitutivo

STAZIONE DI MISURA MAR01 ANNO 2008				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
17-23/05/2008*	1.369	674	625	93%
21-27/06/2008	1.450	712	664	93%
25-31/10/2008*	1.305	637	599	94%

Tab. 14 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina MAR01
* periodo sostitutivo

STAZIONE DI MISURA MAR01 ANNO 2009				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
24-30/05/2009	1.848	880	856	97%
05-11/07/2009	1.390	665	651	98%
13-19/10/2009	1.267	585	577	99%

Tab. 15 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina MAR01

STAZIONE DI MISURA MAR04 ANNO 2008				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
21-27/05/2008	1.434	709	661	93%
21-27/06/2008	1.450	712	663	93%
25-31/10/2008*	1.305	637	579	91%

Tab. 16 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina MAR04
* periodo sostitutivo

STAZIONE DI MISURA MAR04 ANNO 2009				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
24-30/05/2009	1.848	879	856	97%
05-11/07/2009	1.390	663	641	97%
13-19/10/2009	1.267	583	578	99%

Tab. 17 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina MAR04

STAZIONE DI MISURA ROM01 ANNO 2008				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
21-27/05/2008	1.434	611*	599*	98%*
21-27/06/2008	1.450	746	738	99%
25-31/10/2008**	1.305	678	634	94%

Tab. 18 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina ROM01

* calcolo voli su 6 giorni; **periodo sostitutivo

STAZIONE DI MISURA ROM01 ANNO 2009				
PERIODO	N. Voli totali (NVt)	N. Voli attesi sulla centralina (NVa)	Eventi correlati (Ec)	% Correlazione (Ec/ NVa)
24-30/05/2009	1.848	929	927	100%
11-17/06/2009*	1.390	699	686	98%
15-21/12/2009*	1.267	635	579	92%

Tab. 19 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina ROM01

* periodo sostitutivo

Come si può notare dalle tabelle sopra riportate, le percentuali di correlazione per le stazioni di misura localizzate sotto il profilo di decollo e atterraggio sono superiori al 90%.

Si osserva inoltre che le percentuali di correlazione per le stazioni CIA01 e CIA02, posizionate lateralmente alla pista, sono più basse rispetto a quelle delle altre postazioni di misura. Infatti, come già rilevato precedentemente, l'associazione tra gli eventi di rumore registrati in prossimità della pista e i movimenti aeronautici è resa più difficile dalla mancanza, nelle tracce radar, delle battute relative alle fasi iniziali dei decolli e alle fasi finali degli atterraggi.

10. CALCOLO DELL'INDICE LVA

L'indice LVA è il parametro acustico individuato dalla normativa per la valutazione dei livelli di immisione sonora associati alla sola movimentazione aerea delle infrastrutture aeroportuali. Esso viene determinato secondo la metodologia indicata nell'apposito allegato A del D.M. 31-10-1997 "Metodologia di misura del rumore aeroportuale". In particolare tutti gli eventi sonori misurati dalle stazioni di monitoraggio nelle tre settimane dell'anno prescelte e associati alle fasi di decollo/atterraggio degli aerei, come spiegato precedentemente, sono mediati sull'intera durata del periodo di riferimento considerato (periodo diurno: 06.00÷23.00; periodo notturno: 23.00÷06.00). Dopo aver penalizzato di 10 dB(A) il livello notturno, viene calcolato l'indice LVA giornaliero e settimanale. L'indice LVA viene infine calcolato come media logaritmica dei tre livelli medi settimanali sopra individuati. Nelle tabelle che seguono è riportato, per le tre settimane di riferimento, per gli anni 2008 e 2009, l'indice LVA settimanale calcolato nei periodi definiti dalla normativa (ottobre - gennaio; febbraio - maggio; giugno - settembre) su ogni stazione di monitoraggio e, nell'ultima colonna, LVA annuale.

PERIODI DI RIFERIMENTO ANNO 2008							
Stazione di misura	FEB - MAG		GIU - SET		OTT - GEN		ANNUALE LVA 2008
	data	LVA	data	LVA	data	LVA	
CIA01	21-27/05/2008	68.4	21-27/06/2008	68.1	9-15/10/2008	67.8	68.1
ROM01	21-27/05/2008	62.3	21-27/06/2008	61.8	25-31/10/2008*	62.5	62.2
CIA02	21-27/05/2008	59.0	21-27/06/2008	57.6	9-15/10/2008	57.3	58.0
CIA03	21-27/05/2008	65.4	21-27/06/2008	64.2	9-15/10/2008	65.3	65.0
MAR01	17-23/05/2008*	61.7	21-27/06/2008	61.6	25-31/10/2008*	62.1	61.8
MAR04	21-27/05/2008	62.7	21-27/06/2008	62.8	25-31/10/2008*	60.8	62.2

Tab. 20 - LVA settimanale e annuale per tutte le stazioni di monitoraggio anno 2008

* periodo sostitutivo

PERIODI DI RIFERIMENTO ANNO 2009							
Stazione di misura	FEB - MAG		GIU - SET		OTT - GEN		ANNUALE LVA 2009
	data	LVA	data	LVA	data	LVA	
CIA01	24-30/05/2009	71	05-11/07/2009	69.5	13-19/10/2009	68.4	69.8
ROM01	24-30/05/2009	62.7	11-17/06/2009*	61.8	15-21/12/2009*	61.2	61.9
CIA02	**	**	**	**	13-19/10/2009	56	56.0
CIA03	14-20/05/2009*	64	05-11/07/2009	66.1	13-19/10/2009	65	65.1
MAR01	24-30/05/2009	65.1	05-11/07/2009	63	13-19/10/2009	62.1	63.6
MAR04	24-30/05/2009	65.7	05-11/07/2009	64.3	13-19/10/2009	63.7	64.6

Tab. 21 - LVA settimanale e annuale per tutte le stazioni di monitoraggio anno 2009

* periodo sostitutivo, ** per problemi tecnici la centralina CIA02 non ha funzionato e pertanto non si hanno dati nel primo e nel secondo periodo.

11. STUDIO DEGLI SCENARI DI IMPATTO ACUSTICO

Contemporaneamente al monitoraggio del rumore in continuo, è stato effettuato uno studio previsionale mediante utilizzo di un modello di calcolo, per determinare l'impatto che il rumore di origine aeronautica ha sul territorio nell'area immediatamente a ridosso dell'aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino.

Per determinare più fedelmente il rumore prodotto nelle tre settimane con maggior traffico (2008) sono stati implementati, nel modello di calcolo previsionale INM, tutti i velivoli associando a ciascun aereo la reale rotta percorsa ricavata dai tracciati radar.

Attraverso l'ausilio del software previsionale è stato così possibile determinare l'impronta acustica dell'aeroporto per il 2008 e quindi l'estensione del territorio influenzato dal rumore di origine aeronautico.

Gli studi sono stati effettuati mediante l'utilizzo del software di previsione di impatto acustico per il rumore aeroportuale INM (Integrated Noise Model, versione 6.2a) della Federal Aviation Administration. Il software INM è stato sviluppato dalla Federal Aviation Administration (FAA) negli Stati Uniti, allo scopo di calcolare le curve di isolivello, relative a indicatori acustici opportunamente scelti, nei pressi di impianti aeroportuali. I risultati ottenuti con INM possono dunque essere utilizzati al fine di indirizzare la pianificazione territoriale in funzione dei problemi connessi all'inquinamento acustico.

INM è un modello statistico, fornisce cioè una stima mediata sul lungo periodo, basandosi su un giorno medio caratterizzato da valori medi di numero e tipologia di operazioni aeree, nonché di temperatura, pressione e vento. Al fine di calcolare le curve di isolivello, il modello procede in un primo momento alla determinazione del livello di rumore generato dai singoli movimenti dei singoli velivoli presso una griglia di punti attorno all'aeroporto, in un secondo momento realizza la somma o composizione dei livelli di rumore presso i rispettivi punti in accordo alla formulazione dell'indice scelto e infine effettua un'interpolazione e il tracciamento delle curve relative al descrittore scelto.

Le caratteristiche statiche di uno scenario, come per esempio le coordinate e la quota dell'aeroporto e delle estremità delle piste, le traiettorie di atterraggio e decollo, etc., sono identificate in INM dallo studio (*Study*).

11.1. Modello previsionale

Lo studio è stato impostato tramite la definizione delle caratteristiche principali dell'aeroporto di Ciampino: quota e coordinate dell'ARP² prese dal documento AIP³, coordinate delle piste e metodologia di utilizzo delle stesse, localizzazione di punti interessanti ai fini dello studio (VOR⁴ etc.).

Le rotte considerate sono quelle realmente percorse dagli aeromobili, ricavate dall'analisi delle battute del radar dell'aeroporto di Ciampino.

La preparazione dei dati di input dello scenario è stata effettuata attraverso uno script automatico che, accedendo al database (DB) ARPA, estrae i voli, assegna a ciascun volo il profilo e lo stage⁵ corretto a seconda dell'aeromobile, assegna il volo al periodo corretto (diurno o notturno) e riversa

² Aerodrome Reference Point: punto di riferimento geografico per la localizzazione dell'aeroporto.

³ Aeronautical Information Publication: pubblicazione edita a cura di ENAV sulle informazioni aeronautiche (es. procedure di volo).

⁴ Very High Frequency Omnidirectional Radio Range: sistema di radioassistenza per la navigazione aerea.

⁵ Lo stage del velivolo dipende dal tipo di aereo e dal suo peso al decollo (in prima approssimazione, dal carico di carburante e dunque dalla destinazione). Tale parametro risulta determinante nel computo del percorso di accelerazione al suolo in decollo e delle velocità e gradiente di salita iniziale. Stage bassi corrispondono a profili di decollo più ripidi. La logica che sta alla base della suddivisione è quella per cui per tratte più lunghe si hanno carichi di carburante maggiori e quindi pesi al decollo superiori.

tutti i dati ottenuti nei file di input di traffico di INM. Contestualmente, per ciascuna operazione, vengono estratte dal DB ARPA le informazioni geografiche della rotta percorsa. Queste vengono convertite in coordinate relative all'ARP dell'aeroporto in esame e riversate nei file di input di INM che contengono le informazioni sulle tracce.

Per quanto riguarda lo stage è stato fatto riferimento, in mancanza delle informazioni sull'aeroporto di Ciampino, ai dati resi disponibili dalle compagnie aeree nel corso dei lavori della Commissione aeroportuale di Malpensa.

Per i profili di decollo si è utilizzato il profilo "ICAO A" laddove previsto nel database di INM; in caso contrario è stato utilizzato il profilo "standard", corrispondente alla procedura "close in" secondo la definizione del documento PANS OPS 8168 ICAO.

11.1.1. Periodo di riferimento

Lo studio è stato effettuato considerando per l'aeroporto di Ciampino i dati relativi alle tre settimane con maggior numero di movimenti del periodo 2008. Le tre settimane selezionate sono:

21/05/08 - 27/05/08
21/06/08 - 27/06/08
09/10/08 - 15/10/08

Le tre settimane di riferimento sono state calcolate a partire dal numero di movimenti giornalieri presenti nelle tracce radar fornite da ENAV.

INM prevede come dato di input relativo al traffico i movimenti di un aeroporto riferiti a un giorno medio, che è stato ottenuto operando una media delle tre settimane di maggior traffico sopra indicate. Le operazioni di volo sono state ripartite in due fasce orarie (diurna e notturna) su cui sono stati calcolati gli indicatori acustici di interesse.

11.1.2. Dati meteo

I dati meteorologici utilizzati sono i valori orari di temperatura, pressione, umidità, velocità e direzione del vento riferite alla stazione di misura dell'Aeronautica militare (presso l'aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino). La meteorologia di input richiesta da INM consiste nel set di valori mediati sul periodo di riferimento relativo al caso stesso. Essendo ogni caso corrispondente a una settimana, a partire dalle medie orarie sono state ricavate le medie settimanali per temperatura, pressione e umidità.

In input al programma di simulazione bisogna considerare il parametro di *headwind* che è una grandezza derivata e rappresenta la componente controvento della velocità del vento lungo la direzione delle piste. Per stimare l'*headwind* giornaliero sono stati analizzati nel dettaglio i valori orari di velocità e direzione del vento per le tre settimane di riferimento. Il valore considerato in input nel programma di simulazione è pari a 0.5 nodi.

11.1.3. Dati di traffico - profili

I dati relativi al traffico aereo utilizzati sono quelli reali nelle tre settimane di riferimento. Essi sono organizzati secondo il modello di aereo, il tipo di operazione (decollo o atterraggio), la pista assegnata, il numero di operazioni nelle diverse fasce orarie (diurna, serale e notturna).

In tutti gli scenari si sono utilizzati i profili di decollo ICAO A; laddove non era disponibile l'informazione è stato preso a riferimento il profilo standard. Per quanto riguarda i profili di atterraggio è stato preso in considerazione solo il profilo standard.

11.1.4. Modalità di assegnazione del traffico

Ad ogni traccia bidimensionale del modello INM viene assegnato il traffico mediante uno script automatico che, accedendo al DB ARPA, estrae i voli validati, assegna a ciascun volo il modello aereo, l'operazione e il profilo corretto a seconda dell'aeromobile, assegna il volo al periodo corretto (diurno o notturno) e riversa tutti i dati ottenuti nei file di input di traffico di INM. In questo modo a ogni volo cui corrisponde una traccia radar valida viene assegnata una e una sola traccia bidimensionale

nel modello INM. Per ciascuna operazione, vengono estratte dal DB ARPA le informazioni geografiche della rotta percorsa. Queste vengono convertite in coordinate relative all'ARP dell'aeroporto in esame e riversate nei file di input di INM che contengono le informazioni sulle tracce. Questa modalità di utilizzo viene denominata "one track - one radar": in questo modo non è necessario definire delle traiettorie medie e la relativa dispersione, che verrà invece simulata così come si è manifestata effettivamente.

11.1.5. Definizione di giorno medio

INM prevede come dato di input relativo al traffico i movimenti di un aeroporto riferiti a un giorno medio, ottenuto generalmente operando una media su un periodo piuttosto lungo, tipicamente un anno. Le operazioni di volo vengono ripartite in due fasce orarie (diurna e notturna) su cui vengono calcolati gli indicatori acustici di interesse nel caso simulato.

Va osservato, comunque, che INM è un modello di tipo statistico, e non predittivo, ed è comunemente utilizzato per ottenere stime che hanno valore quando riferite a un periodo che consenta di rappresentare dei valori medi significativi, mentre risulta non adatto per riprodurre i parametri acustici relativi a un singolo evento, che sono condizionati da innumerevoli fattori aleatori, la cui influenza può essere rilevante.

Per lo studio in esame si è scelta una metodologia che consiste nell'elaborare lo scenario relativo a ciascun giorno medio delle tre settimane considerate, con le tracce radar associate e con le condizioni meteorologiche osservate; in seguito gli scenari ottenuti per le tre settimane sono stati mediati con NMPLOT.

11.1.6. Definizione del dominio di calcolo

Per tutti gli scenari le curve di isolivello sono calcolate utilizzando un dominio di calcolo di tipo Contour, definito su una griglia quadrata di lato pari a 20 miglia nautiche, centrata sulle coordinate dell'ARP dell'aeroporto, di granularità variabile elaborata dinamicamente da INM sulla base di alcuni parametri numerici di soglia definiti dall'utente e riportati in tabella 22.

Coordinate ARP	LAT=5032926.475	LONG=1521797.463
Grid Origin (nmi)	X= -8	Y= -8
Distance between points (nmi)	16	
Refinement	9	
Tolerance	0,25	

Tab. 22 - Dominio di calcolo

11.2. Output INM: calcolo impronta acustica aeroportuale

Nel presente paragrafo vengono illustrati gli scenari di impatto acustico calcolati per le tre settimane del 2008 con maggior numero di movimenti.

Il territorio è rappresentato dalla ortofoto del 2006 del Portale cartografico nazionale del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. Il Portale permette l'utilizzo della cartografia di base nazionale, prodotta a seguito dell'accordo integrativo tra Stato - Regioni del 12 ottobre 2000 sul Sistema cartografico di riferimento.

Le curve sono in formato shapefile ESRI georeferenziato nel sistema UTM-WGS84, per poter essere plottate sullo sfondo di interesse tramite un qualsiasi sistema di tipo GIS.

Nelle tavole allegate a fine testo, sono riportati gli scenari di impatto acustico dell'aeroporto calcolati per ciascuna delle tre settimane individuate a maggior traffico (tavole 03, 04 e 05). Nella tavola 06 è riportato lo scenario di impatto acustico medio fra le tre settimane di traffico. Nella tavola 07 è

riportato lo scenario di impatto acustico medio delle tre settimane 2008 con gli LVA calcolati per ciascuna centralina di monitoraggio. Tali scenari di impatto acustico sono illustrati mediante l'individuazione di aree di livelli acustici delimitati dalle curve isolivello a 60, 65 e 75 dB(A), come indicate dal D.M. 31-10-1997. Si sottolinea che tali scenari illustrano l'impatto acustico dell'aeroporto solo ed esclusivamente per le tre settimane di maggior traffico a cui è corrisposto uno specifico assortimento di flotta aerea complessiva (figg. 19 e 20), con caratteristiche specifiche. È stato osservato che nel corso di tutto l'anno 2008 l'assortimento dell'intera flotta aerea che ha interessato l'aeroporto di Ciampino è confrontabile con quelle delle tre settimane a maggior traffico, seppur con modeste differenze (fig. 21). Inoltre tale scenario di impatto potrà subire nel futuro delle variazioni qualora dovessero sopraggiungere variazioni di utilizzo delle tipologie di velivoli.

12. CALCOLO DELLA POPOLAZIONE ESPOSTA

Al fine della determinazione di un quadro complessivo sulla popolazione influenzata dal rumore prodotto dalle attività aeroportuali, è stato applicato un parametro che tenesse conto del numero di persone residenti nell'area descritta dalle curve isolivello precedentemente calcolate con il software INM. Tale parametro è la densità abitativa definita dal rapporto tra il numero di residenti nelle sezioni censuarie circostanti l'aeroporto e la superficie dell'intorno aeroportuale.

I dati sulla popolazione utilizzati provengono dall'ultimo censimento pubblicato dall'Istat relativo al biennio 2000-2001. I dati quantitativi e qualitativi sugli abitanti residenti, raccolti attraverso le rilevazioni censuarie, garantiscono un grado di dettaglio non deducibile da nessun'altra fonte.

Per quanto riguarda l'unità territoriale considerata è stato preso come riferimento il D.M. 31-10-1997 (art. 2) che definisce come intorno aeroportuale "il territorio circostante l'aeroporto, il cui stato dell'ambiente è influenzato dalle attività aeroportuali, corrispondente all'area in cui il parametro LVA assume valori superiori a 60 dB(A)". La metodologia di calcolo prevede la sovrapposizione dei tematismi delle sezioni di censimento e dell'area definita "intorno aeroportuale", opportunamente georeferiti e rappresentati nel sistema cartografico UTM - WGS84.

Dalla sovrapposizione risulta che alcune sezioni di censimento saranno interne all'area dell'intorno aeroportuale per tutta la loro estensione, mentre altre vi parteciperanno solo parzialmente (fig. 23).

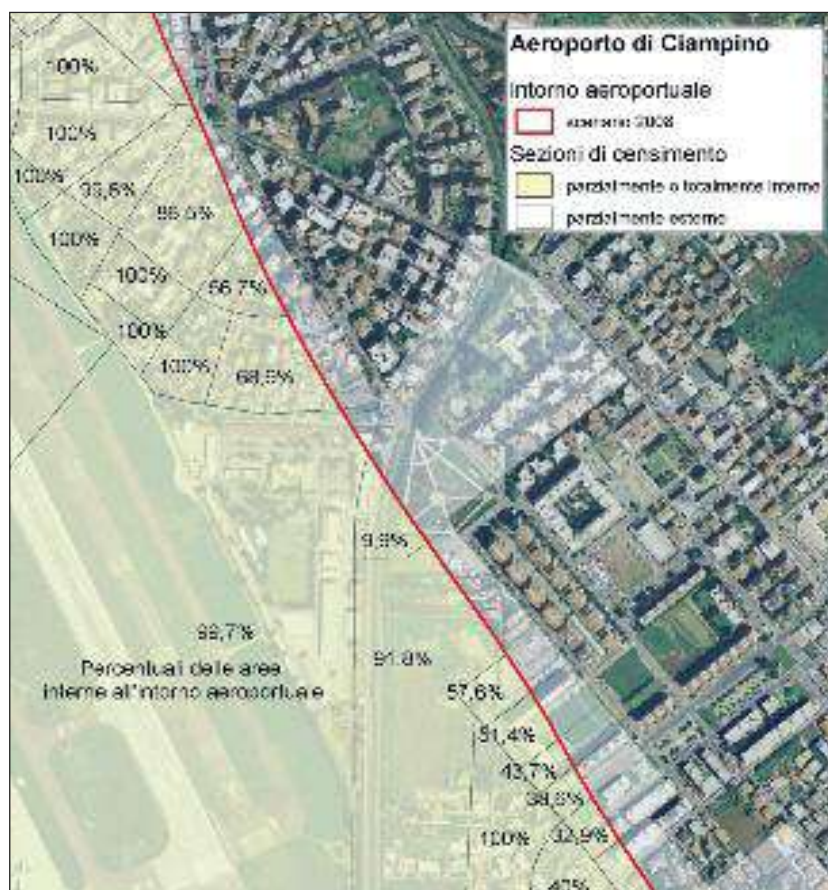


Fig. 23 - Particolare della correlazione tra le aree dell'intorno aeroportuale e le sezioni di censimento

Per il calcolo è stato utilizzato sia il numero di residenti relativo alle sezioni di censimento totalmente interne all'intorno aeroportuale, sia il numero di residenti relativo alle sezioni di censimento parzialmente comprese nell'intorno aeroportuale; queste ultime sono state stimate in funzione della superficie della sezione a cui l'unità territoriale si riferisce (come riportato in giallo in figura 23). All'interno

dell'impronta acustica è stato eseguito un conteggio dei fabbricati a esclusiva destinazione residenziale suddivisi per singola fascia dei livelli acustici e, una volta elaborato il dato di densità abitativa, si è calcolata la popolazione ricadente nelle relative fasce.

Nelle tabelle che seguono sono riportati i valori di popolazione e il numero di edifici residenziali interessati divisi per i diversi Comuni, per gli scenari settimanali e per quello annuale.

FASCE DI ESPOSIZIONE AL RUMORE	COMUNI	ABITANTI - ANNO 2008
Area compresa tra 60 e 65 dBA	MARINO	7.471
	CIAMPINO	4.425
	ROMA	231
	TOTALE	12.127
Area compresa tra 65 e 75 dBA	MARINO	426
	CIAMPINO	2.029
	ROMA	56
	TOTALE	2.511
TOTALE abitanti compresi tra 60 e 75 dBA	MARINO	7.897
	CIAMPINO	6.454
	ROMA	287
	TOTALE	14.638

Tab. 23 - Calcolo degli abitanti nelle fasce di esposizione al rumore tra 60 e 75 dBA

FASCE DI ESPOSIZIONE AL RUMORE	COMUNI	EDIFICI SETTIMANA 1	EDIFICI SETTIMANA 2	EDIFICI SETTIMANA 3	EDIFICI ANNO 2008 (3 settimane critiche)
Area compresa tra 60 e 65 dBA	MARINO	969	772	792	810
	CIAMPINO	439	429	418	432
	ROMA	109	111	100	107
	TOTALE	1.517	1.312	1.310	1349
Area compresa tra 65 e 75 dBA	MARINO	37	68	32	41
	CIAMPINO	222	178	166	185
	ROMA	1	1	0	1
	TOTALE	260	247	198	227
TOTALE edifici compresi tra 60 e 75 dBA	MARINO	1006	840	824	851
	CIAMPINO	661	607	584	617
	ROMA	110	112	100	108
	TOTALE	1.777	1.559	1.508	1.576

Tab. 24 - Calcolo degli edifici nelle fasce di esposizione al rumore tra 60 e 75 dBA per le tre settimane critiche e per lo scenario del 2008

Il sistema di calcolo utilizzato permette un'analisi statistica omogenea del numero di residenti nelle aree menzionate.

13. ZONIZZAZIONE ACUSTICA DELL'AEROPORTO "G.B. PASTINE"

Durante i lavori della Commissione, nell'ultima riunione tenutasi ad aprile 2008, non è stata raggiunta l'unanimità di voto sulla proposta presentata dal presidente della Commissione, fondata su elaborazioni eseguite dalla società di gestione aeroportuale. Conseguentemente, in base all'art. 6 comma 4 del D.M. 31-10-1997, in assenza dell'unanimità di voto, la Regione Lazio, su delega del Ministero dei trasporti, a febbraio 2010 ha convocato un'apposita Conferenza di servizi ai sensi dell'art. 14 della legge 241/1990 e s.m.i.

Nell'ambito di tali lavori, un gruppo tecnico costituito dall'ARPA Lazio, il gestore aeroportuale Aeroporti di Roma S.p.A, l'ENAC e le amministrazioni comunali, è stato incaricato di sottoporre ai partecipanti della Conferenza di servizi, la proposta di intorno aeroportuale, con i confini delle zone A, B e C. Il gruppo tecnico ha elaborato un'impronta acustica dell'aeroporto mediante l'utilizzo del modello di calcolo INM. Nel calcolo sono stati esclusi, come richiesto dal D.M. 31-10-1997, i voli militari e le attività aeree di emergenza, di pubblica sicurezza, di soccorso e di protezione civile (tavola 08). Partendo da tale elaborato, sono state quindi formulate due proposte di zonizzazione acustica. La prima proposta è derivata dall'applicazione dell'approccio "semplificato", quindi l'esatta trascrizione della mappatura acustica in zonizzazione acustica, ottenuta dall'applicazione di un modello di calcolo. Tale proposta colloca una significativa presenza di edifici residenziali in zona B. La seconda proposta è stata ottenuta applicando il criterio "pianificatorio".

La quasi totalità dei partecipanti alla Conferenza di servizi ha deciso di approvare, nella seduta del 1° luglio 2010, la seconda proposta che effettua la zonizzazione acustica aeroportuale utilizzando il criterio "pianificatorio", ossia prendendo in debita considerazione gli usi del territorio già vigenti e gli sviluppi dell'operatività aeroportuale previsti al momento della redazione del piano; per l'aeroporto di Ciampino non è vigente alcun piano regolatore o di sviluppo aeroportuale. L'approccio pianificatorio ha consentito l'inserimento di quasi tutti i fabbricati residenziali in zona A.

Si è ottenuta quindi una zonizzazione acustica aeroportuale con l'individuazione delle zone A, B e C (fig. 24 e tavola 09). Questa zonizzazione, pur partendo dal calcolo dell'impronta acustica attuale dell'aeroporto, ne differisce sostanzialmente in quanto contempera gli usi del territorio già in essere con l'attuale operatività aeroportuale. In una fase successiva, attraverso il confronto tra l'impronta acustica reale dell'aeroporto e le zone di rispetto definite dalla zonizzazione acustica aeroportuale, il gestore dovrà individuare le aree con superamento dei limiti acustici e, conseguentemente, predisporre e attuare il piano di risanamento acustico ai sensi dal D.M. 29-11-2000.

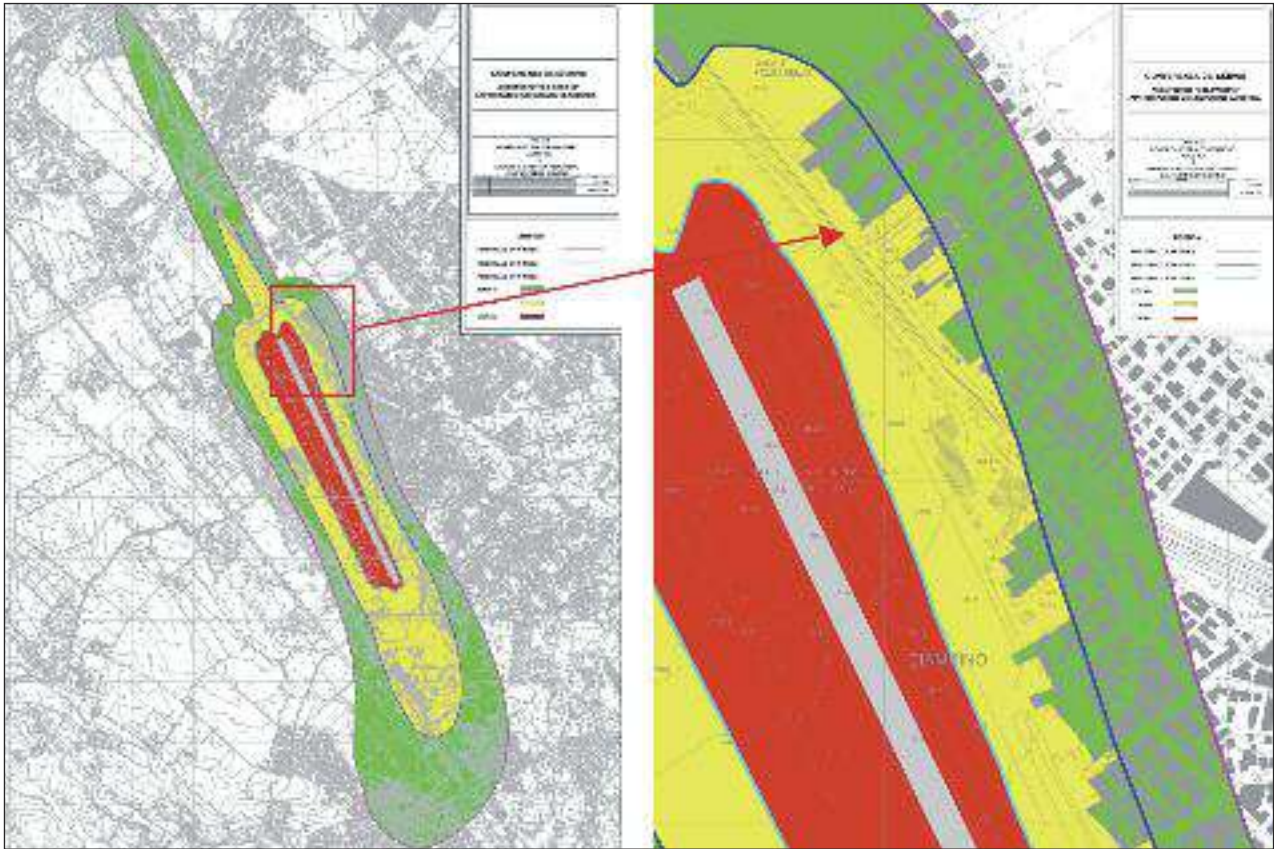


Fig. 24 - Zonizzazione acustica aeroportuale dell'aeroporto "G.B. Pastine" di Roma-Ciampino e confini delle aree di rispetto (zona A, zona B e zona C)

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Asdrubali, F., Simoncini, C., Angelucci, M., *La valutazione della popolazione esposta al rumore: metodologie e applicazioni nella Regione Umbria*, 6° Congresso Nazionale CIRIAF: atti, Perugia 7-8 Aprile 2006, Perugia, CIRIAF, 2006, pp. 95-101.

Bassanino, M., Sgorbati, G., Mainardi, P., *Il rumore aeroportuale*, Roma, ANPA, 2001.

Bassanino, M., *Il rumore aeroportuale*, in U & C. Unificazione e certificazione, (2007), n.9, pp. 20-22.

Bassanino, M. [et al.], *Analisi dei dati dei sistemi di monitoraggio del rumore aeroportuale: considerazioni e proposte alla luce dell'esperienza di Arpa Lazio e Arpa Lombardia*, 36° Convegno Nazionale AIA: atti della 2 Giornata sulle Misure e Monitoraggi, Torino, 10-12 Giugno 2009, Torino, iNRiM e Associazione Italiana di Acustica, 2009.

Brambilla, G., *I decreti sul rumore aeroportuale: analisi delle diverse procedure operative*, Conferenza Internazionale "La sorveglianza del rumore aeroportuale", Roma 22 novembre 2000, Roma, CNR-Istituto di Acustica "O.M. Corbino", 2000.

Brambilla, G., *Gli aspetti metrologici nella descrizione della rumorosità ambientale: cosa cambia con il D.Lgs. 194/2005?*, Quarto Convegno Nazionale. Controllo ambientale degli agenti fisici: nuove prospettive e problematiche emergenti. Atti della 3 Giornata sull'inquinamento acustico, Vercelli 24-27 marzo 2009, Regione Piemonte, ARPA Piemonte e AIA, 2009.

Di Bella, A., Tombolato, A., *Contenimento del rumore aeroportuale: il Consiglio di stato chiarisce i ruoli in Ambiente & Sicurezza*, giugno 2005, n. 13, pag. 108.

Fabozzi, T. [et al.], *Rumore aeroportuale e sue criticità normative*, 36° Convegno Nazionale AIA: atti della 2 Giornata sulle Misure e Monitoraggi, Torino, 10-12 Giugno 2009, Torino, iNRiM e Associazione Italiana di Acustica, 2009.

Fabozzi, T. [et al.], *Analisi della densità abitativa degli intornoi aeroportuali nel Lazio*, 36° Convegno Nazionale AIA: atti della 1 Giornata sulle Valutazioni Previsionali e Mappature, Torino, 10-12 Giugno 2009, Torino, iNRiM e Associazione Italiana di Acustica, 2009.

Fabozzi, T. [et al.], *Monitoraggio Acustico presso l'Aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino*, 35° Convegno Nazionale AIA: atti della 2 Giornata sessione 2° sul Rumore Aeroportuale (sorgente, misure, mitigazione), Milano, 11-13 Giugno 2008, Milano, Università degli Studi di Milano - Bicocca e Associazione Italiana di Acustica, 2008.

Fabozzi, T. [et al.], *Sistema di monitoraggio del rumore aeroportuale del Lazio: il Progetto CRISTAL*, XII° Conferenza Italiana ESRI: atti della 2 Giornata sull'Ecoefficienza e Sviluppo Sostenibile, Roma, 27-29 Maggio 2009, Roma, ESRI, 2009.

Fabozzi, T. [et al.], *Rilevamento della densità abitativa degli intornoi aeroportuali*, XII° Conferenza Italiana ESRI: atti della 2 Giornata sull'Ecoefficienza e Sviluppo Sostenibile, Roma, 27-29 Maggio 2009, Roma, ESRI, 2009.

Fabozzi, T. [et al.], *Rapporto Tecnico: Monitoraggio Acustico aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino Anno 2008*, Roma, ARPA Lazio 2009.

Fabozzi, T. [et al.], *Rapporto Tecnico: Verifica conformità del sistema di monitoraggio del rumore aeroportuale - Aeroporto "G.B. Pastine"*, Roma, ARPA Lazio 2009.

Scamoni, F. (ICITE-CNR), Porro, L. (ICITE-CNR), Valentini, F. (ICITE-CNR), *Il rumore da aeromobile*, in Linee guida per l'isolamento acustico degli edifici nell'intorno degli aeroporti, Milano, Regione Lombardia, 2001, pp. 30-40.

Rocco, L., Cellai, G., Sauro, S., *Le sorgenti del rumore aeronautico*, in Criteri per la esecuzione dei piani di contenimento e abbattimento del rumore prodotto dalle infrastrutture aeroportuali, Roma, Ministero dell'ambiente e CIRIAF, 2000, pp. 37-65.

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1 - Incremento percentuale del numero di movimenti aerei rispetto al 2000	Pag.	7
Fig. 2 - Movimenti aerei relativi all'anno 2010 negli aeroporti italiani	"	8
Fig. 3 - Incremento percentuale dei voli rispetto al 2000 negli aeroporti italiani	"	9
Fig. 4 - Spettri a 1/3 di banda d'ottava per un aereo a -10s e +10s di un sorvolo in decollo	"	22
Fig. 5 - Caratteristiche del rumore generato da passaggi di aerei su edifici; sopra: fase di decollo; sotto: fase di atterraggio	"	23
Fig. 6 - Schema di un turbogetto puro	"	27
Figg. 7.a, 7.b, 7.c, 7.d - Confronto dei livelli percepiti di picco	"	27
Fig. 8 - Schema di turbofan a basso rapporto di riduzione	"	29
Fig. 9 - Schema di turbofan a un solo stadio ad alto rapporto di diluizione	"	30
Fig. 10 - Rumore aerodinamico di forma stimato e limite di certificazione "capitolo 3"	"	31
Fig. 11 - Ipersostentatori e freni aerodinamici	"	31
Fig. 12 - Aeromobile in configurazione di atterraggio	"	32
Fig. 13 - Zonizzazione acustica aeroporto di Fiumicino ottenuta mediante il criterio "semplificato" per il quale l'impronta acustica coincide con la zonizzazione acustica	"	36
Fig. 14 - Zonizzazione acustica aeroporto di Bologna ottenuta mediante il criterio "urbanistico"	"	37
Fig. 15 - Stralcio zonizzazione acustica aeroporto di Bologna	"	38
Fig. 16 - Distribuzione regionale del mancato introito dal 2000 al 2010 dell'imposta regionale sulle emissioni sonore degli aeromobili civili (IRESA)	"	40
Fig. 17 - Inquadramento territoriale dell'aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino rispetto ai confini dei Comuni di Ciampino, Marino e Roma con le principali direzioni di atterraggio e decollo	"	47
Fig. 18 - Grafici dell'andamento del numero di movimenti aerei e del numero di passeggeri relativi all'aeroporto di Ciampino negli anni dal 2000 al 2009	"	48
Fig. 19 - Percentuale per tipologia di aereo nelle tre settimane con maggior numero di movimenti	"	56
Fig. 20 - Percentuale per tipologia di compagnia nelle tre settimane con maggior numero di movimenti	"	57
Fig. 21 - Percentuale per tipologia di compagnia nell'anno 2008	"	57
Fig. 22 - Sonogramma di tre eventi aeronautici	"	58
Fig. 23 - Particolare della correlazione tra le aree dell'intorno aeroportuale e le sezioni di censimento	"	69

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1 - Riferimenti normativi per il rumore aeroportuale	Pag.	13
Tab. 2 - Coefficienti correttivi estensioni aree residenziali in funzione della densità abitativa	“	38
Tab. 3 - Sensibilità rispetto alle operazioni di decollo e atterraggio delle stazioni di misura	“	52
Tab. 4 - Numero di voli giornalieri nelle tre settimane di maggiore movimentazione anno 2008	“	54
Tab. 5 - Numero di voli giornalieri nelle tre settimane di maggiore movimentazione anno 2009	“	54
Tab. 6 - Numero di voli giornalieri nelle settimane sostitutive anno 2008	“	55
Tab. 7 - Numero di voli giornalieri nelle settimane sostitutive anno 2009	“	56
Tab. 8 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA01 anno 2008	“	59
Tab. 9 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA01 anno 2009	“	59
Tab. 10 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA02 anno 2008	“	60
Tab. 11 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA02 anno 2009	“	60
Tab. 12 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA03 anno 2008	“	60
Tab. 13 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina CIA03 anno 2009	“	60
Tab. 14 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina MAR01 anno 2008	“	61
Tab. 15 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina MAR01 anno 2009	“	61
Tab. 16 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina MAR04 anno 2008	“	61
Tab. 17 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina MAR04 anno 2009	“	61
Tab. 18 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina ROM01 anno 2008	“	62
Tab. 19 - Confronto tra numero di voli elaborati dalle tracce radar ed eventi correlati per la centralina ROM01 anno 2009	“	62
Tab. 20 - LVA settimanale e annuale per tutte le stazioni di monitoraggio anno 2008	“	63
Tab. 21 - LVA settimanale e annuale per tutte le stazioni di monitoraggio anno 2009	“	63
Tab. 22 - Dominio di calcolo	“	67
Tab. 23 - Calcolo degli abitanti nelle fasce di esposizione al rumore tra 60 e 75 dBA	“	70
Tab. 24 - Calcolo degli edifici nelle fasce di esposizione al rumore tra 60 e 75 dBA per le tre settimane critiche e per lo scenario del 2008	“	70

ELENCO ALLEGATI

- Tavola 1 - Postazioni del monitoraggio acustico CRISTAL per l'aeroporto "G.B. Pastine" aggiornate al 31/01/2009
- Tavola 2 - Tracce radar dei movimenti aeronautici della settimana dal 21 al 27 maggio 2008
- Tavola 3 - Scenario di impatto acustico calcolato sul traffico del periodo 21-27/05/2008
- Tavola 4 - Scenario di impatto acustico calcolato sul traffico del periodo 21-27/06/2008
- Tavola 5 - Scenario di impatto acustico calcolato sul traffico del periodo 09-15/10/2008
- Tavola 6 - Scenario di impatto acustico sulle tre settimane di maggior traffico 2008
- Tavola 7 - Scenario di impatto acustico sulle tre settimane di maggior traffico 2008 e confronto con gli LVA delle postazioni di monitoraggio
- Tavola 8 - Impronta acustica con l'esclusione dei voli militari, di emergenza, di pubblica sicurezza, di soccorso e della protezione civile dell'aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino
- Tavola 9 - Zonizzazione acustica dell'aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino

Tavola 1

- Limite aeroportuale
- Postazioni di monitoraggio CRISTAL
 - attive
 - non attive



Aut. Min. Infrastr. e Trasporti	Aut. Min. Ambiente	Aut. Min. Agricoltura	Aut. Min. Sanità	Aut. Min. Difesa
Aut. Min. Giustizia	Aut. Min. Economia	Aut. Min. Infrastr. e Trasporti	Aut. Min. Interni	Aut. Min. Lavoro
Aut. Min. Università	Aut. Min. Sviluppo Economico	Aut. Min. Territorio e Infrastr. e Trasporti	Aut. Min. Turismo	Aut. Min. Welfare

ARPRAZIO
 Azienda Regionale per la Protezione dell'Ambiente
 Via Salaria 100 - 00198 Roma - Tel. 06/499911
 Fax 06/49991211 - E-mail: arpa@arpazio.it

Aeroporto G. B. Pastre - Ciampino (RM)
 Progetto: P.S. S.T.A.L.
 DW-01:
 Posizione del monitoraggio
 Autorità: ARPAZIO
 Per il suo posto: G. B. Pastre
 Aggiornato al: 11/01/2009

Scala: 1:30.000
 Data: 11/01/2009

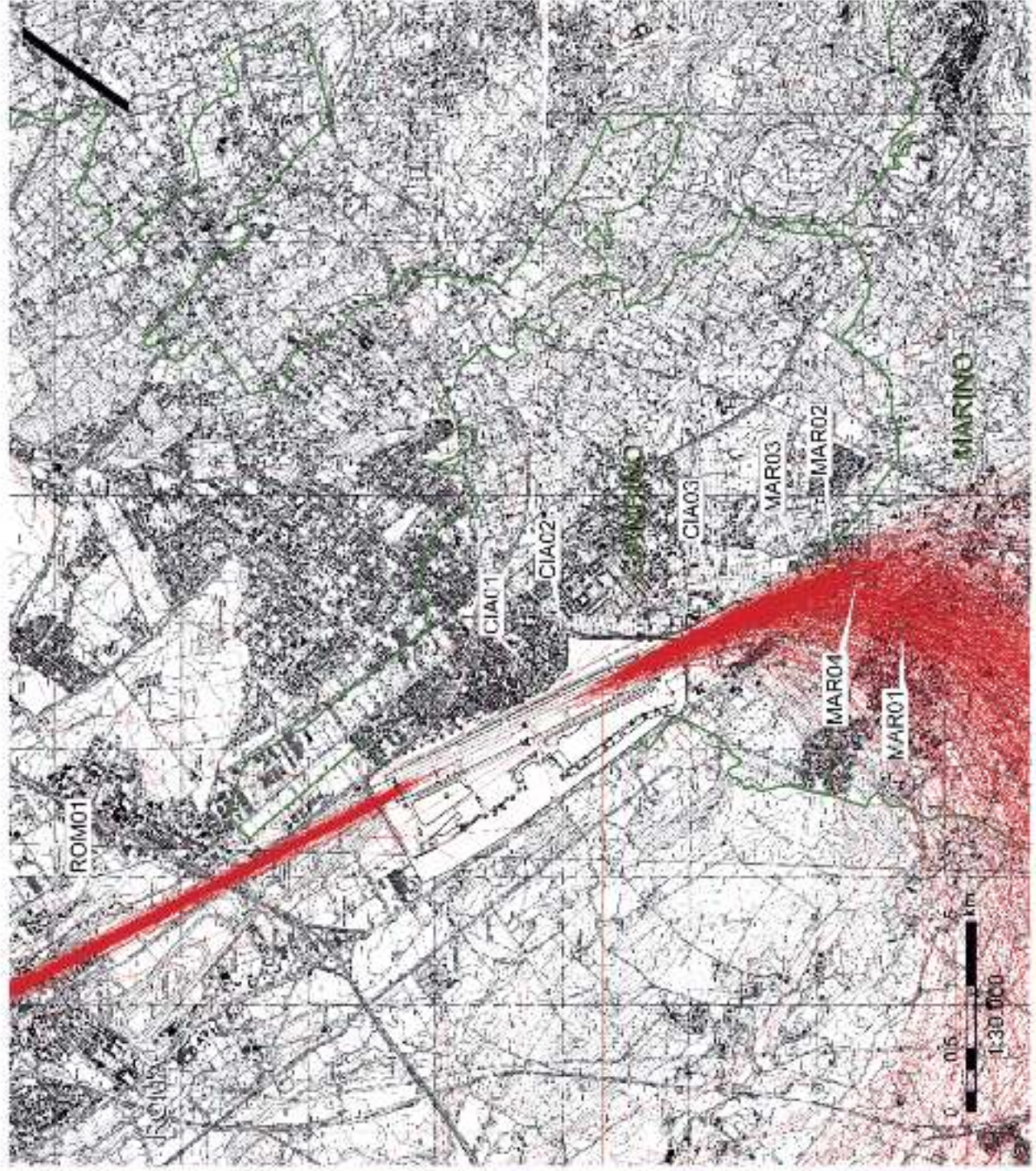
Tavola 2

Postazioni di monitoraggio
CRISTAL

- attualmente attivo
- attualmente non attivo

Tracce radar

— 21-27/05/2008



CONTO	PROGETTO	DATA	STATO
100000	CRISTAL	21/05/2008	Attivo

ARVALIZIO
Autogestione - Sede - Casaglio (BB)

Autogestione - Sede - Casaglio (BB)
Progetto CRISTAL

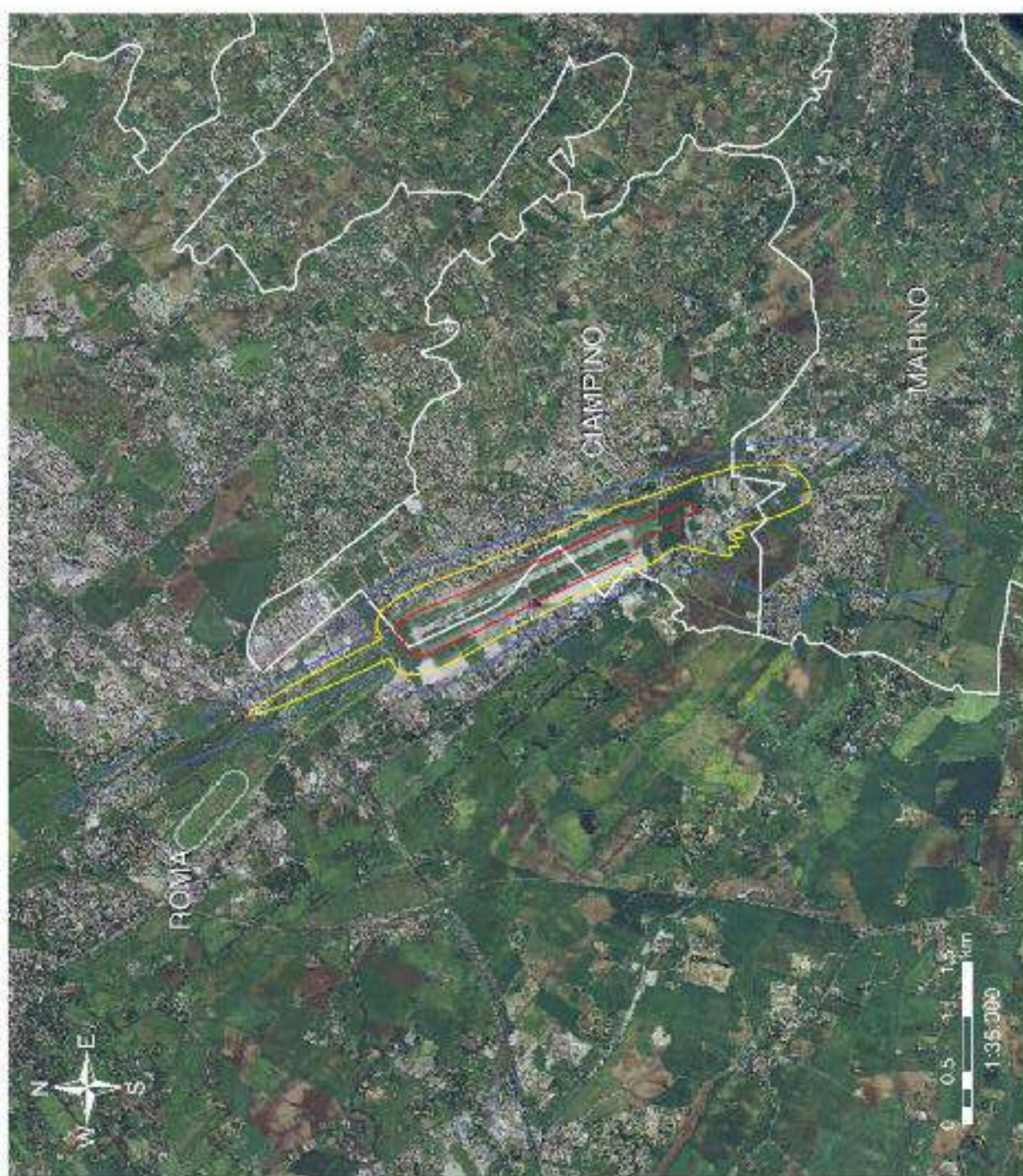
100000
Progetto radar dei movimenti sismici
alla struttura del 21 al 27 maggio 2008

Scale 0/1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14/15/16/17/18/19/20/21/22/23/24/25/26/27/28/29/30/31/32/33/34/35/36/37/38/39/40/41/42/43/44/45/46/47/48/49/50/51/52/53/54/55/56/57/58/59/60/61/62/63/64/65/66/67/68/69/70/71/72/73/74/75/76/77/78/79/80/81/82/83/84/85/86/87/88/89/90/91/92/93/94/95/96/97/98/99/100

Tavola 3

Scenario di impatto acustico
periodo 21-27/05/2008

- Isolvello di LVA = 60 dB(A)
- Isolvello di LVA = 65 dB(A)
- Isolvello di LVA = 75 dB(A)



NO.	Descr.	Stato	Tipologia
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10



Comune di Ciampino - Ciampino (RM)
Progetto: R.S.T.A.L.

TAV.05
Scenario di impatto acustico
calcolato sul traffico del periodo
21-27/05/2008

Scale: 1:35,000

Tavola 4

Scenario di impatto acustico
pericolo 21-27/06/2008

- solivello di LVA = 60 dB(A)
- solivello di LVA = 65 dB(A)
- solivello di LVA = 75 dB(A)



Legenda	Simbolo	Descrizione
Linea nera	—	Solivello di LVA = 60 dB(A)
Linea gialla	—	Solivello di LVA = 65 dB(A)
Linea rossa	—	Solivello di LVA = 75 dB(A)

ARPAZIO
ARPAZIO
ARPAZIO

Azienda C.R. Metro - Ciampino (RM)
Progetto: 21-27-08

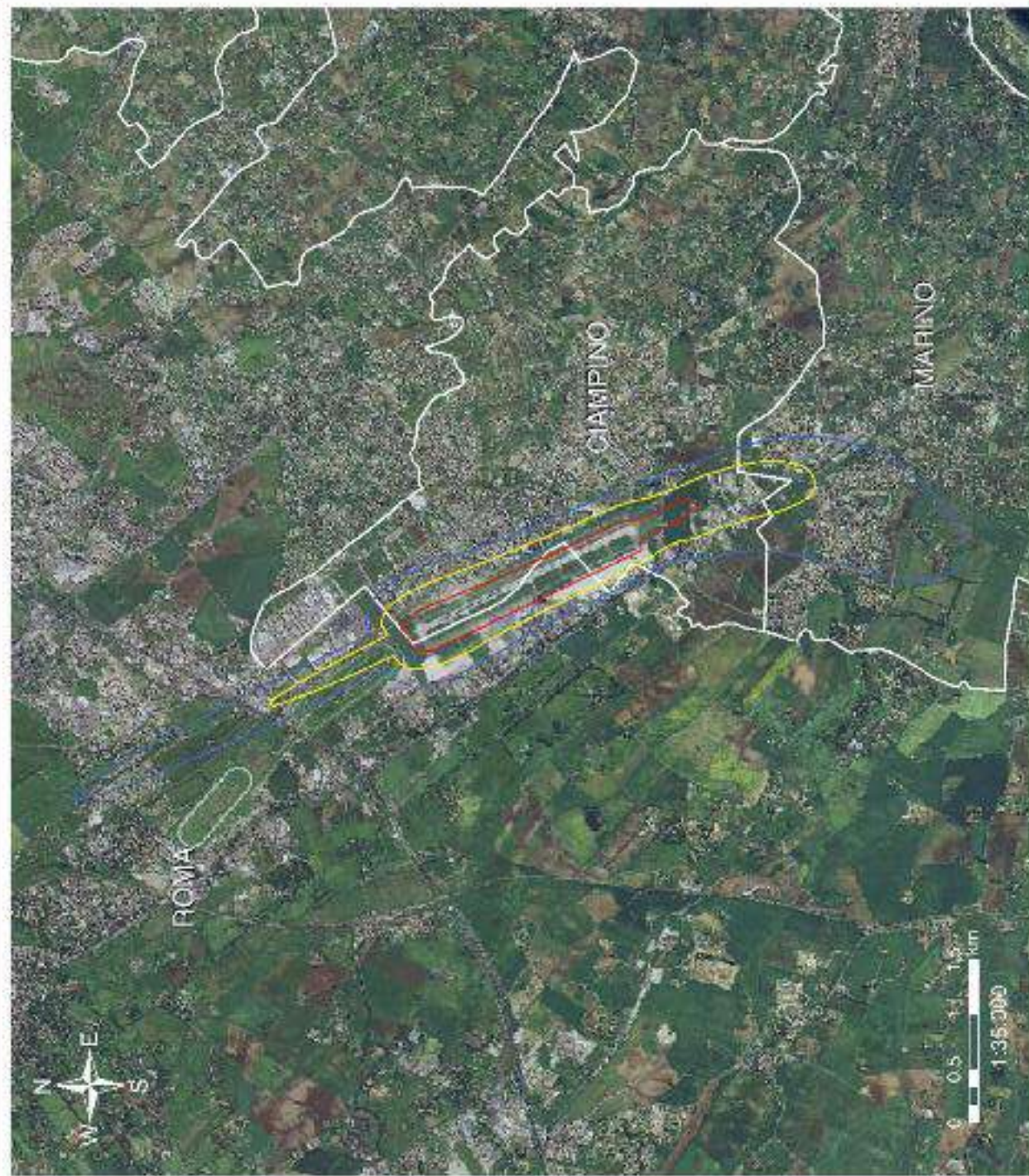
TAV. 04
Scenario di impatto acustico
calcolato sul traffico del pericolo
21-27/06/2008

Scale: 1:35.000
Data: 27/06/2008

Tavola 5

Scenario di impatto acustico
periodo DB-15/10/2008

- Isovalle di LVA = 50 dB(A)
- Isovalle di LVA = 65 dB(A)
- Isovalle di LVA = 75 dB(A)



NO.	Descr.	Stato	Tipologia
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

ARPAZIO
S.p.A.
Via ...
00144 Roma

Impianti CUA Pietro - Ciampino (RM)
Progetto S.T.S.A.L.

TAV.05
Scenario di impatto acustico
collegato al traffico del periodo
DB-15/10/2008

7/10/2008
Doc. 001/001

Tavola 6

Scenario di impatto acustico
traffico 2008

- Isolvello di LVA = 80 dB(A)
- Isolvello di LVA = 65 dB(A)
- Isolvello di LVA = 75 dB(A)



PROGETTO	DATA	REDAZIONE
ARPA Lazio	2008	ARPA Lazio
ARPA Lazio	2008	ARPA Lazio
ARPA Lazio	2008	ARPA Lazio

ARPA LAZIO
Agenzia C.R. Metro - Ciampino (RM)
Progetto: R.F.S.T.A.L.

TAV. 05:
Scenario di impatto acustico
allo 3 settembre di aggiornamento 2008

12/08/2008
Dott. G. P. P.

Tavola 7

Postazioni di monitoraggio



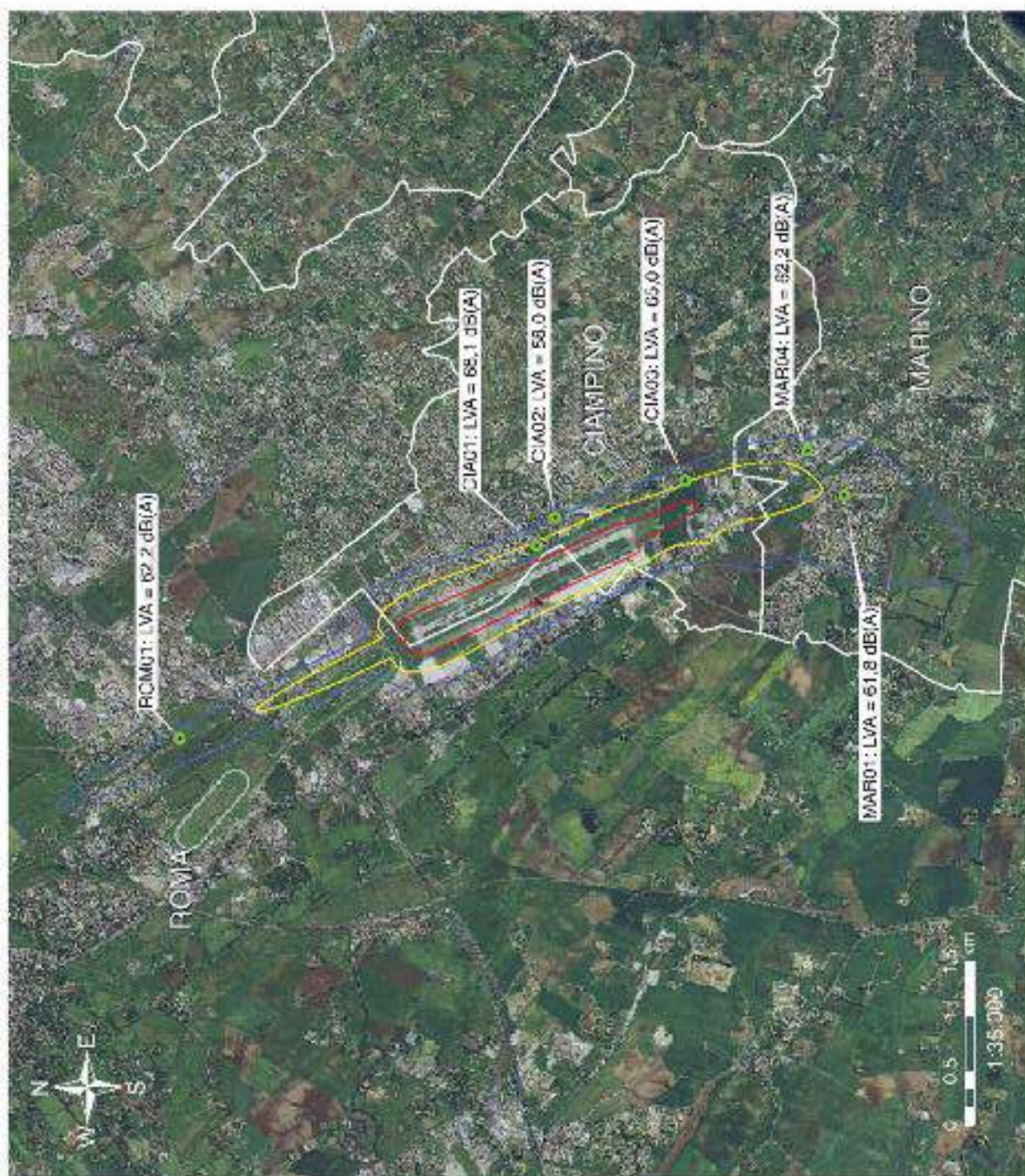
CRISTAL

Scenario di impatto acustico

— Isolinee di LVA = 60 dB(A)

— Isolinee di LVA = 65 dB(A)

— Isolinee di LVA = 75 dB(A)



NO.	Descr.	Stato	Tipologia
1
2
3
4
5



Gruppo C.R.A. Pietro - Ciampino (RM)

Progetto: CRISTAL

T.3707

Scenario di impatto acustico
 della 3° variante di progetto n. 200
 e confronto con gli LVA delle postazioni
 di monitoraggio

7/10/2010
 Ing. G. P. P.

METADATI

Titolo: Il rumore aeroportuale

Autore: ARPA Lazio

Soggetto: Rumore aeroportuale - Controllo - Rapporti tecnici

Descrizione: Nel presente lavoro sono descritte le caratteristiche del rumore generato dagli aeromobili, i principali riferimenti normativi e i ruoli istituzionali. È stato inoltre riportato un caso pratico di monitoraggio aeroportuale effettuato dall'ARPA Lazio presso l'aeroporto "G.B. Pastine" di Ciampino.

Editore: ARPA Lazio

Data: 23/07/2012

Tipo: Report ambientale

Formato: Microsoft Office Word

Identificatore: Report_2012_DT0_01

Lingua: IT

Copertura: Italia - Lazio - Provincia di Roma

Gestione dei diritti: © ARPA Lazio - Agenzia regionale per la protezione ambientale del Lazio



ARPALAZIO

AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO

Progetto Grafico e Impaginazione

STILGRAFICA s.r.l.

Via Ignazio Pettinengo, 31 - 00159 Roma - Tel. 06 43588200 - Fax 06 4385693

Aprile 2013

Report - Agenti Fisici



ARPALAZIO

AGENZIA REGIONALE PREVENZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO