

RILEVAMENTO DEL RUMORE AERONAUTICO NELL'ABITATO DI FIUMICINO ANALISI CRITICA E VALUTAZIONE DEI RISULTATI

G. COSA (a), M. COSA (b), R. FUSELLI (c), M. NICOLI (c) e P. SAVINI (c)

(a) *Cattedra di Terapia Medica Sistemica, Università degli Studi, Parma*

(b) *Servizio di Igiene Pubblica, USL n. 1, Roma*

(c) *Laboratorio di Igiene del Territorio, Istituto Superiore di Sanità, Roma*

Riassunto.— Per valutare il grado di inquinamento acustico da rumore aeronautico nell'abitato di Fiumicino è stata eseguita una indagine in relazione alle emissioni sonore derivanti dal sorvolo di aerei provenienti dal vicino aeroporto intercontinentale Leonardo da Vinci. Le misure sono state effettuate in corrispondenza di alcune località del nucleo abitato in base alla valutazione dei livelli di esposizione per singolo evento, commisurati come EPNL e come SEL. Dalla integrazione degli eventi giornalieri sono stati successivamente calcolati gli indici di inquinamento acustico sulla base delle direttive della Raccomandazione ISO R 3891 e dell'Annesso ICAO n. 16. Successivamente sono stati confrontati i livelli di esposizione totale giornaliera, commisurati sia secondo le procedure specifiche del rumore aeronautico (WECPNL, NEF) che secondo i criteri di valutazione del rumore ambientale non specifico (EQL24, DNL, CNEL). Dall'analisi dei risultati sono stati dedotti elementi di valutazione inerenti sia la metodologia e le tecniche di misura che i criteri di giudizio sul livello di inquinamento acustico ambientale.

Summary (A Survey on aircraft noise annoyance in the environs of Rome (Fiumicino airport). — A survey has been carried out to check community exposure to aircraft noise in vicinity of Rome (Fiumicino) airport. For this purpose a mobile unit, fitted with instruments for evaluation of single event and continuous noise level has been employed. In particular measurements have been carried out using a computer programmed to calculate Perceived Noise Level (PNL) and Single Event Level (SEL) related to each aircraft flyover. On the basis of such measurements, noise exposure in terms of Effective Perceived Noise Level (EPNL) and of Equivalent Level (EQL) was calculated. Subsequently, Composite Annoyance Levels (WECPNL, ECPNL, NEF, EQL24, DNL, CNEL) have been evaluated and compared with limits of existing stated rules and international standards.

Introduzione

Il rumore aeronautico, come è noto, esercita la sua azione di disturbo e di danno sia nell'ambito delle attività specifiche di lavoro (addetti alle manovre a

terra, meccanici di officina, lavoratori dell'industria aeronautica, personale di volo, ecc.), sia sul personale che comunque opera nelle aree aeroportuali, sia infine nei riguardi della popolazione residente negli intorno degli aeroporti e nelle zone interessate al sorvolo di aerei. Per la prima categoria di lavoratori il rumore aeronautico determina in prevalenza un effetto ledente praticamente sovrapponibile a quello prodotto da un rumore di tipo industriale di analoghe caratteristiche. Per quanto invece attiene la seconda e la terza categoria di soggetti esposti, sono presenti o prevalgono gli effetti connessi con una sensazione generica di fastidio (annoyance), quelli di mascheramento delle comunicazioni verbali o di altri segnali acustici semanticamente validi e gli effetti psico-sociali (disturbo del sonno e del riposo, interferenza sul rendimento e sull'efficienza, sull'attenzione e sull'apprendimento). Si rileva che nel terzo gruppo di popolazione esposta sono assenti gli effetti lesivi specifici (otolesione).

Per quanto attiene all'azione di disturbo sulla comunità, il rumore aeronautico si differenzia sensibilmente da altri tipi di rumore per il fatto che esso si manifesta sovente con elevati livelli di pressione acustica che sovrastano nettamente il livello di rumorosità di fondo; esso si presenta inoltre come un fenomeno a larga dispersione spettrale, con marcate irregolarità corrispondenti alla presenza di toni puri, spesso chiaramente udibili, ed è presente in modo ricorrente per brevi durate che nel complesso costituiscono una frazione limitata di tempo rispetto al periodo di commisurazione (per es. 24 ore) [1-3].

In conseguenza di queste sue specifiche caratteristiche, i criteri di valutazione e di misura del rumore aeronautico tendono a discostarsi di frequente da quelli utilizzati nel campo della rumorosità urbana ed industriale. Non può inoltre essere trascurato il fatto che i soggetti residenti nelle zone di sorvolo e particolarmente quelli che vivono negli intorno aeroportuali sono sottoposti all'impatto ricorrente del rumore aeronautico con effetti di carattere psichico ed eventualmente psicosomatico, di cui bisogna necessariamente tenere conto.

Le misure del disturbo generato dal rumore aeronautico, pertanto, sono ordinariamente eseguite in AL, DL,

PNL, EPNL (*), tenendo conto del numero degli eventi sonori, eventualmente penalizzati in relazione al periodo della giornata o alla stagione dell'anno presa in considerazione [4-9]. Va rilevato inoltre che il progressivo sviluppo del traffico aereo commerciale, e la concomitante evoluzione tecnologica del mezzo di trasporto aereo, non sempre sono risultati compatibili con le esigenze di conservazione e di tutela del benessere ambientale, accompagnate da una maggiore sensibilizzazione della popolazione ai problemi di natura ecologica; si è creata così una situazione di conflittualità tra le esigenze economico-commerciali del trasporto aereo e quelle di tutela delle condizioni di abitabilità e di fruibilità del territorio. Il problema in molti casi è risultato aggravato dal fatto che l'espansione incontrollata delle città ha avvicinato le aree abitate agli aeroporti, sino a giungere a casi di inglobamento. A volte il fenomeno è stato accelerato in conseguenza di una errata politica di gestione del territorio, che ha asservito ad usi aeroportuali aree non sufficientemente distaccate da zone interessate allo sviluppo edilizio [10].

Secondo i dati ISTAT, riferiti al traffico aeroportuale complessivo degli aeroporti italiani, si è passati da 0,012 passeggeri/abitante/anno nel 1950 a 0,35 nel 1971, mentre le previsioni per il 1990, raggiungono il valore di 3,83 passeggeri/abitante/anno. Tali dati mostrano una netta tendenza all'incremento della utilizzazione del trasporto aereo e quindi al peggioramento delle condizioni di inquinamento acustico relativo ed all'aumento della percentuale di popolazione interessata al fenomeno [11]. Indubbiamente in questi ultimi anni l'introduzione di modifiche strutturali dei motori a getto ha prodotto una riduzione della rumorosità degli aerei, a parità di carico utile trasportato; gli apparecchi che vengono attualmente utilizzati, tuttavia, sono mediamente più pesanti e trasportano un carico maggiore rispetto a quelli del decennio precedente [3,8].

All'inizio degli anni '70 l'avvento di motori più silenziosi (turbofan ad alto rapporto di diluizione) e le ricerche sperimentali effettuate negli anni precedenti nel campo dei velivoli a decollo corto (STOL) e di quelli a decollo verticale (VTOL), avevano fatto ipotizzare un progressivo ravvicinamento degli aeroporti ai nuclei urbani, allo scopo di diminuire l'entità degli effettivi tempi di trasferimento fra due differenti località, riducendo concretamente la durata degli spostamenti via terra, ma incrementando certamente i livelli di inquinamento acustico urbano, anche per la difficoltà di individuare corridoi di sorvolo sufficientemente liberi da insediamenti abitativi. Un decennio dopo, tale previsione non si è in effetti verificata, in relazione ad una serie di circostanze: è stata abbandonata, almeno per il momento, l'idea dell'impiego per usi commerciali di aerei a decollo verticale, sono stati messi in servizio un considerevole numero di aerei subsonici di grandi dimensioni,

gli STOL, pur essendo abbastanza diffusi, specie per i collegamenti a breve raggio, non hanno in effetti monopolizzato il traffico aeroportuale, i voli charter in particolare e le linee aeree di minore importanza talvolta utilizzano ancora velivoli ad elica, turbogetti puri ed aerei forniti di motori turbofan a basso rapporto di diluizione, si è diffuso notevolmente l'impiego degli elicotteri per i collegamenti aeroporto-nucleo urbano e sono comparsi, sia pure in numero limitato aerei transonici di linea.

Il complesso delle circostanze sopra riportate, pur favorendo la tendenza ad allontanare sempre di più gli aeroporti, specie quelli a traffico intenso ed intercontinentali, dagli insediamenti urbani, hanno in definitiva prodotto un peggioramento delle condizioni di inquinamento acustico del territorio ad elevata densità abitativa [12-16].

In conseguenza dei fatti esposti, è stato valutato che se gli standard di emissione si manterranno inalterati nei prossimi anni, con un tasso annuale medio di incremento del traffico aereo pari al 4%, in venti anni è prevedibile un aumento del livello di esposizione al rumore aeronautico dell'ordine di 4 dB, corrispondente a poco più del raddoppio della potenza acustica erogata.

Per quanto attiene alla popolazione esposta al rumore aeronautico, si è stimato che in Italia circa 500.000 persone sono seriamente disturbate dal traffico aereo, mentre una percentuale molto più elevata, ma difficilmente valutabile, è esposta a livelli di rumore aeronautico più bassi che non incidono così marcatamente sul benessere ambientale [17].

Secondo dati più recenti forniti dall'OCDE a seguito di una inchiesta effettuata presso i paesi membri della Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico, sembrerebbe che la percentuale di persone esposte a livelli di rumore aeronautico eccedenti i limiti di ammissibilità si aggirerebbe attorno allo 0,5% dell'intera popolazione europea, mentre negli Stati Uniti tale percentuale sarebbe nettamente superiore interessando il 2% della popolazione corrispondente a circa 5 milioni di abitanti [18].

La diffusione del traffico aereo ha prodotto una estensione a crescenti aliquote di popolazione del disturbo da esposizione al rumore aeronautico, interessando tutti i paesi nei quali è maggiormente utilizzato il mezzo aereo; in relazione ad un tale stato di fatto, hanno avuto una più larga diffusione le indagini relative all'inquinamento da rumore aeronautico. E' interessante notare che da oltre un ventennio sono stati eseguiti studi ed inchieste sociologiche per mettere in correlazione l'entità del rumore prodotta dal traffico aereo con i conseguenti effetti di disturbo determinati sulle comunità residenti negli intorno aeroportuali.

In sintesi le indagini relative a questo campo di ricerca possono essere riassunte nello schema che segue, rinviando per più dettagliate informazioni ai testi originali dei quali è dato riscontro nelle note bibliografiche.

(*) AL è il livello di pressione acustica ponderato nella scala A;
DL è il livello di pressione acustica ponderato nella scala D;
PNL è il livello di rumorosità percepita;
EPNL è il livello di rumorosità effettivamente percepita (con correzione per il fattore durata e per la presenza di toni puri).

Autore	Località	Anno	Criterio di valutazione	Riferimento bibliografi
Borsky, P.N.	Aeroporti civili e militari (USA)	1954/61	CNR	(19) - (20)
SOU	Aeroporti militari (Svezia)	1958	EDD	(21)
High Majesty Stationery Office	Aeroporto Londra Heathrow (G.B.)	1961/67	NNI	(22) - (23)
Kosten, C.W.	Aeroporto Schipol (Olanda)	1963	B	(24)
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment	Aeroporti Parigi, Lione, Marsiglia (Francia)	1965/66	R	(25)
Hazard, W.R.	Aeroporti Atlanta, Los Angeles, Denver, Dallas (USA)	1967	CNR NNI NEF ICN	(26)
Deutsche Forschungsgemeinschaft	Aeroporti Amburgo, Monaco-Riem (Germania Occ.)	1966/69	FB1	(27)
Ollerhead, J.B.	Aeroporto Londra-Gatwick (G.B.)	1971	Inchiesta sulla popolazione	(28)
Ollerhead, J.B. Edwards, R.M.	Aeroporto Londra-Heathrow (G.B.)	1972	Scala di Guttman NNI	(29)
Karolinska Institute	Aeroporti civili (Svezia)	1971/72	dBA	(1)
Dept. Civ. Aviation Dept. Cant. Zurigo	Aeroporti Zurigo, Ginevra (Svizzera)	1972/73	dBA	(30) - (31)
Piazzesi, G.	Aeroporto Milano-Linate (Italia)	1973	dBD NEF	(32)
Fidell, S. Jones, G. Borsky, P.N.	Aeroporti Los Angeles, New York (USA)	1975	DNL	(33) - (34)
Maryland Dept. of Transportation	Aeroporti Baltimora, Washington (USA)	1976	DNL	(35) - (36)
US Dept. Transp. FAA Harris, A.S.	Aeroporto Charlotte (USA)	1977	DNL	(37) - (38)
Vulkan, G. Hide, J.	Quartieri orientali Londra (G.B.)	1979	dBA	(39)

Criteri di valutazione e di misura del rumore aeronautico

La misura del rumore aeronautico può essere effettuata in rapporto a tre principali finalità: 1) lo studio e la progettazione delle caratteristiche aerodinamiche dei velivoli, nonché dei loro sistemi di propulsione insieme con la certificazione acustica per i singoli tipi di aeromobili; 2) la verifica delle condizioni di disturbo in corrispondenza degli insediamenti abitativi; 3) la zonizzazione dell'intorno aeroportuale relativamente alla utilizzazione del territorio.

Si rileva che la prima finalità, riguardando esclusivamente problemi di carattere tecnico-costruttivo e di certificazione acustica, esula dai limiti della presente trattazione. Rientrano invece nel campo interessante la tutela dell'ambiente e della popolazione i problemi relativi al disturbo e quelli connessi con la delimitazione delle zone e con la disciplina degli insediamenti edilizi negli intorno aeroportuali.

Giova premettere che attualmente le grandezze psico-acustiche certificate o raccomandate per la misura dei livelli istantanei del rumore aeronautico sono "il livello sonoro con pesatura A" (AL) e il "livello di rumore percepito corretto per la presenza di toni puri" (PNLT - Perceived Noise Level Tone corrected). Mentre l'AL costituisce l'unità di misura più diffusamente impiegata per la valutazione non specifica del rumore, il PNLT è stato espressamente sviluppato per la valutazione del rumore prodotto da aerei con motore a turbina. Tenendo conto della conformazione spettrale del rumore emesso dagli aerei a turbopropulsione, si può assumere con soddisfacente approssimazione: [40]:

$$\text{PNLT} = \text{AL} + 13$$

La misura dei valori istantanei di AL e di PNLT non consente di valutare adeguatamente l'evoluzione temporale dell'evento sonoro, né commisura adeguatamente l'entità globale dell'energia sonora riferita al tempo di esposizione. Per tener conto di questi fattori sono state derivate dalle predette grandezze base altre due grandezze atte a rappresentare con un solo valore numerico l'effetto generato da ciascun evento sonoro. Tali grandezze sono il "Livello Sonoro di Esposizione" (SEL - Single Event Level) e il "Livello Effettivo di Rumore Percepito" (EPNL - Effective Perceived Noise Level).

Il SEL ha come espressione analitica:

$$\text{SEL} = 10 \log_{10} \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 \text{AL}} dt \quad \text{dBA} \quad (1)$$

nella quale t_0 è una costante di tempo normalizzata in un secondo e l'intervallo t_2, t_1 rappresenta il tempo durante il quale AL è sceso di 10 dB rispetto al suo valore massimo [7].

L'EPNL ha invece la seguente espressione analitica:

$$\text{EPNL} = 10 \log_{10} \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 \text{PNLT}} dt \quad \text{EPN dB} \quad (2)$$

nella quale T_0 è una costante di tempo normalizzata in 10 secondi e l'intervallo di tempo t_2, t_1 ha lo stesso significato che nella (1) [41]. Pertanto SEL e EPNL sono strettamente correlati ai contenuti energetici di ciascun evento; l'EPNL in particolare tiene conto della conformazione spettrale dell'evento so-

noro e per tale motivo viene specificatamente impiegato per la certificazione acustica degli aeromobili.

Si fa presente che in base ai dati sperimentali si può correlare con sufficiente approssimazione SEL e EPNL attraverso la relazione:

$$\text{EPNL} = \text{SEL} + 3$$

Da quanto è stato sommariamente esposto, appare evidente che mentre le unità derivate dal PNL e cioè PNLT ed EPNL sono quelle che meglio descrivono il fenomeno partendo dalle "curve di ugual rumorosità" espresse in noy, prevalentemente riferite all'effetto di disturbo generato dal rumore aeronautico, il SEL, derivato dall'AL, presenta una minor complessità di calcolo e un campo meno strettamente specifico di applicazione, fornendo in complesso un'informazione meno completa. Si precisa che il noy è la "unità di rumorosità percepita", utilizzata nel campo della valutazione del rumore aeronautico per calcolare il livello di rumorosità percepita PNL; essa fa riferimento all'effetto di fastidiosità del rumore. Tali fatti comportano per i due casi differenti livelli di complessità nella strumentazione da adoperare e conseguentemente diversi livelli di impegno economico e di preparazione tecnico-operativa [42,43]. Per conciliare le opposte esigenze derivanti dai due criteri di valutazione è stata introdotta una nuova scala di misura denominata "livello sonoro con pesatura A corretto" (ALT = A Level Tone corrected), che tiene conto del maggior effetto di disturbo per la presenza dei toni puri.

L'ALT si ottiene sommando al valore di AL un fattore di correzione C calcolato secondo la procedura riportata nell'annesso 16 dell'ICAO [43,44].

Come ulteriore sviluppo delle tecniche di misura è stata introdotta una nuova grandezza che, invece di tener conto del livello sonoro istantaneo A corretto per i toni puri, valuta anche l'evoluzione temporale dell'evento sonoro e l'entità globale dell'energia sonora riferita al tempo di esposizione. Tale grandezza è il "livello sonoro di esposizione corretto per i toni puri" (SELT = Single Event Level Tone corrected) la cui espressione analitica è:

$$\text{SELT} = 10 \log_{10} \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 \text{ALT}} dt \quad \text{dBA} \quad (3)$$

nella quale t_0, t_1 e t_2 hanno lo stesso significato che nella (1) [45].

Sia il SEL che il SELT possono essere egualmente calcolati sostituendo alla curva di ponderazione A la curva di ponderazione D, in tal caso le loro espressioni analitiche diventano rispettivamente per il Single Event Level in curva di ponderazione D:

$$\text{SELD} = 10 \log_{10} \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 \text{DL}} dt \quad \text{dBD} \quad (4)$$

e per il Single Event Level Tone corrected in curva di ponderazione D:

$$\text{SELTD} = 10 \log_{10} \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 \text{DLT}} dt \quad \text{dBD} \quad (5)$$

dove:

DL e DLT rappresentano rispettivamente i livelli pon-

derati D ed i livelli ponderati D corretti per la presenza di toni puri, con procedura analoga a quella già indicata per passare dall'AL all'ALT.

E' opportuno qui ricordare che i valori misurati in DL possono essere trasformati in valori di EPNL ricorrendo in prima approssimazione alle seguenti relazioni:

$$DL + 7 \text{ dB} = PNL$$

e successivamente:

$$PNL + \Delta_{PN} = EPNL$$

dove:

$$\Delta_{PN} = 10 \log_{10} \frac{t_2 - t_1}{27 \text{ ref}}$$

essendo t_2, t_1 l'intervallo di tempo durante il quale i valori di PNL sono di non più di 10 dB inferiori al loro valore massimo (PNLmax) e $\tau_{\text{ref}} = 10 \text{ s}$ [46].

Le grandezze in precedenza indicate trovano di norma riferimento nella valutazione del singolo evento ed in particolare, mentre l'EPNL rappresenta un livello di pressione sonora espresso in PndB, corretto per la presenza di toni puri, integrato sulla durata dell'intero evento e normalizzato alla durata di riferimento di 10 secondi, il SEL rappresenta un livello di pressione sonora espresso in dBA, integrato sulla durata dell'intero evento e normalizzato alla durata di riferimento di 1 secondo. Pertanto sia l'EPNL che il SEL rappresentano il livello di rumore costante e continuo con durata di tempo normalizzata (rispettivamente di 10 e di 1 secondo) che possiede lo stesso contenuto energetico del fenomeno considerato.

In analogia ai procedimenti analitici di predeterminazione del livello continuo equivalente sonoro relativo al traffico veicolare, è possibile sviluppare procedure di previsione che consentano la valutazione del livello di rumore aeronautico attraverso la commisurazione del suo contenuto energetico totale, espresso come sommatoria dei contributi derivanti dei singoli livelli sonori che si verificano nell'intervallo di tempo preso in considerazione.

Come già riportato in precedenza, partendo da una serie di valori di SEL_i si ricava il valore di EQL attraverso l'espressione:

$$EQL = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 SEL_i} \text{ dBA} \quad (6)$$

Dai valori di EQL possono essere calcolati, attraverso successive elaborazioni, i valori dei livelli compositi di disturbo, definiti genericamente CAL (Composite Annoyance Levels) consistenti in livelli di rumore equivalente continuo, estesi a tutto l'arco delle 24 ore ed eventualmente penalizzati per le ore della sera e della notte (EQL24, DNL, CNEL).

Sulla base degli stessi principi e partendo da misurazioni effettuate in EPNL, è possibile calcolare il livello Equivalente Continuo di Rumore Percepito (ECPNL) che nel caso di n eventi, ciascuno dei quali possiede

un relativo $EPNL_i$, si esprime secondo la seguente relazione:

$$ECPNL = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EPNL_i} - 10 \log_{10} \frac{T}{t_0} \quad EPNdB \quad (7)$$

dove T è il tempo di osservazione considerato, espresso in secondi, e t_0 è convenzionalmente assunto pari a 1 secondo.

Dalla (7) si ricava l'ECPNLh (Livello Equivalente Continuo di Rumore Percepito orario) attraverso:

$$ECPNLh = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EPNL_i} - 25,563 \quad EPNdB. \quad (8)$$

Integrando l'energia sonora dei singoli eventi che si verificano nelle 24 ore e penalizzando gli eventi che si verificano nelle ore serali e notturne, si può calcolare il WECPNL (Livello Equivalente Continuo Pesato di Rumore Percepito) secondo la:

$$WECPNL = 10 \log_{10} [0,5(10^{0,1 ECPNLD}) + 0,125(10^{0,1 [ECPNLE + 5]}) + 0,375(10^{0,1 [ECPNLN + 10]})] + S \quad EPNdB \quad (9)$$

essendo:

ECPNLD il livello equivalente continuo di rumore percepito nelle ore comprese fra le 7 e le 19;

ECPNLE il livello equivalente continuo di rumore percepito nelle ore comprese fra le 19 e le 22;

ECPNLN il livello equivalente continuo di rumore percepito nelle ore comprese fra le 22 e le 7;

S un fattore correttivo stagionale pari a:

-5 dB per i mesi nei quali vi sono normalmente meno di 100 ore con temperatura di 20°C o superiore;

0 dB per i mesi nei quali vi sono normalmente più di 100 ore a temperatura di 20°C o superiore e meno di 100 ore a temperatura di 25,6°C o superiore;

+ 5 dB per i mesi nei quali vi sono normalmente più di 100 ore a temperatura di 25,6°C o superiore [32,42,43].

Un altro indice di disturbo del rumore aeronautico, adottato dalla FAA (Federal Aviation Agency), che si basa anche esso sulla sommatoria degli $EPNL_i$, penalizzando le operazioni di volo che si svolgono dalle 22 alle 7, è il NEF (Noise Exposure Forecast); esso può essere calcolato in base alla seguente espressione:

$$NEF = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EPNLD_i} + 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 (EPNLN_i + 10)} - 88 \quad EPNdB \quad (10)$$

dove:

$EPNLD_i$ è il livello effettivo di rumorosità percepita

di ciascun evento compreso fra le 7 e le 22;

$EPNL_N$ è il livello effettivo di rumorosità percepita di ciascun evento compreso fra le 22 e le 7.

Sostituendo ai singoli valori di $EPNL_i$ il valore medio $EPNL_m$, la (10) può essere semplificata nella seguente espressione:

$$NEF = 10 \log_{10} 10^{0.5} EPNL_m + 10 \log_{10} (Nd + 16,67 Nn) - 88 \quad EPNdB \quad (11)$$

nella quale Nd ed Nn rappresentano il numero di operazioni di volo rispettivamente effettuate dalle 7 alle 22 e dalle 22 alle 7 [8,41,47,48].

Indagine sperimentale: metodi di misura e tecniche strumentali

Nel corso degli anni 1981-82 sono state eseguite rilevazioni del livello di rumorosità nell'abitato di Fiumicino (Roma) in relazione al traffico aereo del vicino aeroporto intercontinentale Leonardo da Vinci. Le rilevazioni suddette sono state prevalentemente effettuate in periodi stagionali intermedi, in assenza di pioggia e con vento di velocità inferiore a 4 m/s.

Le misurazioni sono state eseguite in undici località del nucleo urbano, poste per la maggior parte nella zona nord dell'abitato, più vicina alle piste di atterraggio e di involo dell'aeroporto. L'indagine è stata estesa all'intero arco delle 24 ore, onde valutare gli indici di disturbo in riferimento alle fasce orarie diurna, serale e notturna. L'utilizzazione di questa metodica ha consentito di confrontare in modo omogeneo i dati ottenuti con i risultati di altre indagini condotte con analoghi criteri di valutazione a Roma e a Pescara [53-55].

In accordo alle normative più diffusamente adottate in questo campo, le misure sono state eseguite partendo dal calcolo dell' $EPNL$ (Effective Perceived Noise Level) relativo ad ogni singolo sorvolo. Successivamente, integrando gli eventi su intervalli di tempo di un'ora, sono stati calcolati gli $ECPNL_h$ (Equivalent hourly Continuous Perceived Noise Level) per determinare infine il $WECPNL$ (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level) che costituisce il parametro atto a rappresentare meglio l'effetto di disturbo nelle aree attorno agli aeroporti o in corrispondenza delle aree interessate a frequenti sorvoli, tenendo conto della somma degli eventi connessi alle operazioni di volo.

E' stato altresì calcolato il valore dell' $EPNL$ medio ($EPNL_m$) in relazione ai valori sperimentali rilevati nel corso delle indagini. Tale valore è stato utilizzato per il calcolo del NEF (Noise Exposure Forecast) tenendo conto del numero di eventi verificatisi durante le ore diurne e nel corso di quelle notturne.

Contemporaneamente alle rilevazioni eseguite sulla base dell' $EPNL$, tutti gli eventi sono stati anche valutati in termini di SEL (Single Event Level) e di livello equi-

valente continuo in curva di ponderazione A ($EQLA$) allo scopo di poter effettuare un confronto tra gli indici di disturbo pesati secondo la scala di ponderazione A ($DNLA$, $CNELA$, $EQLA_{24}$) e quelli ottenuti in base alle curve noys, da cui derivano gli indici $ECPNL$, $WECPNL$ e NEF .

L'indagine, condotta utilizzando le metodologie indicate, ha avuto come fine l'identificazione del grado di inquinamento acustico ambientale attraverso il confronto dei valori rilevati con i limiti ammissibili nelle aree abitate, espressi sia facendo riferimento ai parametri più frequentemente utilizzati per la valutazione della rumorosità stradale (CAL - Composite Annoyance Level), sia in relazione agli indici specifici di inquinamento da rumore aeronautico ($AANI$ - Aircraft Annoyance Noise Index).

Un ulteriore scopo della ricerca è stato quello di identificare una eventuale correlazione fra indici di rumorosità riferiti al singolo evento, a partire da misure in SEL o in $EPNL$, onde verificare la possibilità di ottenere risultati egualmente affidabili, senza dover necessariamente ricorrere ad apparecchiature e a procedure di calcolo notevolmente onerose e complesse.

I criteri di valutazione, adottati per commisurare la rumorosità legata al sorvolo di aerei sulle aree prese in considerazione, sono stati conformi a quelli dettati dall'Annesso 16/71 - 76 dell'International Civil Aviation Organization (ICAO) e dall'International Standard ISO S 3891 del 15 gennaio 1978 [43, 7].

Per effettuare le misure suddette è stata utilizzata la unità mobile per il rilevamento dell'inquinamento acustico in dotazione al Laboratorio di Igiene del Territorio dell'Istituto Superiore di Sanità, attrezzata con un calcolatore Varian 620/L, predisposto con il programma "Aircraft Noise Heard on the Ground". L'apparecchiatura era collegata ad un analizzatore in tempo reale Brüel & Kjaer 2131 per il calcolo dell' $EPNL$ attraverso l'analisi di ciascun evento sonoro per bande di 1/3 di ottava. I risultati sono stati stampati ricorrendo ad una scrivente B. & K. 6401.

Il programma elaborato utilizza il linguaggio Fortran IV, e calcola preliminarmente il rumore di fondo (rumore ambientale in assenza di eventi di sorvolo) sulla base di rilevazioni effettuate ogni $\frac{1}{2}$ secondo, mediando gli spettri per 1/3 di ottava, ottenuti entro un periodo di tempo prefissato. La procedura di calcolo adottata per la misura del rumore di fondo è la stessa di quella impiegata per la valutazione del rumore aeronautico. Effettuata questa prima operazione, viene successivamente analizzato ogni singolo evento di sorvolo ed il relativo spettro sonoro è confrontato con quello del rumore di fondo [56].

Secondo la metodica impiegata, il rumore di sorvolo viene valutato dalla strumentazione di misura solo quando il livello di pressione sonora di ciascuna delle bande significative del suo spettro, in terzi di ottava (dalla banda definita dalla frequenza nominale di 50 Hz a quella definita dalla frequenza nominale di 10000 Hz), supera di più di 5 dB il livello di pressione sonora delle corrispondenti bande di 1/3 di ottava dello spettro

Fiumicino, Via Coccia di Morto.
Giorno 22 Giugno 1982, ore 10.30

Cielo Sereno

Pressione barometrica 760 mm Hg

Velocità del vento 2,5 m/s

Direzione del vento nord-est

Umidità relativa 55%

Temperatura 25,8°C

Aircraft Noise Heard on the Ground

Average time of Background Level (s): 60.

66.1
64.2
69.7
63.5
65.0
63.6
59.1
61.0
60.5
61.3
61.5
60.5
60.4
62.2
62.5
61.6
60.7
61.6
61.8
62.4
63.2
63.9
64.7
65.5

Fig. 1 — Analisi dei valori medi del rumore di fondo (livelli per 1/3 di ottava da 50 a 10.000 Hz)

mediato del rumore di fondo, precedentemente memorizzato. Nel programma di calcolo già citato, rumori di sorvolo con livello di superamento del rumore di fondo minore o uguale a 5 dB non vengono pertanto considerati significativi ai fini del disturbo correlato con il rumore di sorvolo stesso.

Nelle figure 1 e 2 sono riportati, a titolo esemplificativo, i tabulati relativi rispettivamente ai livelli medi del rumore di fondo, analizzato per bande di 1/3 di ottava ed ai valori del PNLT (Perceived Noise Level Tone corrected) rilevati ad intervalli di 0,5 s, relativi ad un singolo evento di sorvolo. Nel secondo tabulato viene altresì indicato il valore dell'EPNL, quello del PNLT max ed il tempo entro il quale è stato raggiunto il suddetto valore massimo di PNLT.

Le misure sono state eseguite utilizzando un sistema microfonico per esterni B. & K. 4921, montato su asta telescopica alta 10 m, sulla cui estremità era installato un sistema di misura della direzione e della velocità del vento. All'estremità dell'albero telescopico è stato altresì collocato un secondo microfono B. & K. 4165, connesso attraverso un cavo di prolunga ad un fonometro integratore di precisione B. & K. 2218 per la misura del SEL, in concomitanza degli eventi di sorvolo valutati in EPNL. È stata effettuata infine la rilevazione continua del livello equivalente sonoro orario (EQLh) utilizzando il Community Noise Analyzer GenRad GR 1945, dotato di un sistema microfonico 1560-P42, con microfono 1962-9601, posto su cavalletto all'altezza di 1,5 m dal suolo.

Per fornire un quadro di insieme delle espressioni analitiche relative al calcolo degli indici di valutazione del rumore precedentemente considerati, sono state compilate le tabelle 1 e 2, riferite rispettivamente a parametri concepiti per le misure di singolo evento e per misure di tipo continuo.

Nel corso della presente ricerca il rumore ambiente è stato sempre valutato con rilevazioni di tipo continuo basate sull'AL, mentre il rumore da sorvolo, è stato commisurato partendo da parametri di misura basati sull'EPNL e sul SEL, modalità di misura queste adatte alla valutazione del contributo energetico di singoli eventi [12]. Le misure in SEL, in particolare, sono state effettuate per verificare l'eventuale corrispondenza fra quest'ultimo parametro e l'EPNL, eventualmente utilizzando un fattore di correzione atto a rendere possibile, almeno in prima approssimazione, il calcolo dei valori dell'EPNL a partire dai valori del SEL medesimo. La valutazione del rumore ambientale nel suo complesso è stata effettuata esclusivamente impiegando tecniche di misura di tipo continuo e non tecniche basate sul SEL, in quanto queste ultime sono ordinariamente programmate per lo studio del rumore da traffico veicolare e non per la commisurazione globale della totale concorrenza di tutte le sorgenti di rumore presenti [57].

Per quello che si riferisce al rumore aeronautico, d'altra parte, se appare ipotizzabile l'utilizzazione del SEL, opportunamente corretto, per ottenere misure in EPNL da sviluppare successivamente in termini di ECPNL, di WECPNL o di NEF, non sembra coerente usare direttamente il SEL per ottenere valutazioni del rumore aeronautico in termini di EQL24, DNL o CNEL, in quanto i limiti di accettabilità riferiti a questi ultimi parametri di misura sono stati studiati per rumore ambientale o da traffico veicolare e non per rumore specifico da traffico aereo, essendo il disturbo derivante da quest'ultimo tipo di rumore legato non solamente al contenuto energetico globale del rumore stesso ed alle fasce orarie entro le quali avvengono le emissioni (CAL), ma anche alla presenza di componenti tonali, al fattore durata del singolo evento sonoro ed alla particolare natura della causa di disturbo (AANI).

Time Max: 17.0 S

PNLT Max: 106.2 PNdB

EPNL: 104.8 dB

Time	PNLT:	60.	70.	80.	90.	100.	110.
2.0	75.1	[*****+****					
2.5	74.3	[*****+****					
3.0	70.8	[*****+*					
3.5	74.0	[*****+****					
4.0	74.9	[*****+****					
4.5	77.1	[*****+*****					
5.0	78.3	[*****+*****					
5.5	79.1	[*****+*****					
6.0	79.3	[*****+*****					
6.5	81.7	[*****+*****+**					
7.0	85.6	[*****+*****+*****					
7.5	87.7	[*****+*****+*****					
8.0	89.6	[*****+*****+*****+					
8.5	90.3	[*****+*****+*****+					
9.0	92.6	[*****+*****+*****+**					
9.5	94.2	[*****+*****+*****+***					
10.0	95.0	[*****+*****+*****+*****					
10.5	95.9	[*****+*****+*****+*****					
11.0	97.0	[*****+*****+*****+*****					
11.5	97.4	[*****+*****+*****+*****					
12.0	97.7	[*****+*****+*****+*****					
12.5	98.4	[*****+*****+*****+*****					
13.0	100.9	[*****+*****+*****+*****+					
13.5	100.6	[*****+*****+*****+*****+					
14.0	101.7	[*****+*****+*****+*****+					
14.5	103.5	[*****+*****+*****+*****+					
15.0	103.3	[*****+*****+*****+*****+					
15.5	103.8	[*****+*****+*****+*****+					
16.0	103.9	[*****+*****+*****+*****+					
16.5	104.9	[*****+*****+*****+*****+					
17.0	106.2	[*****+*****+*****+*****+					
17.5	106.1	[*****+*****+*****+*****+					
18.0	105.7	[*****+*****+*****+*****+					
18.5	105.1	[*****+*****+*****+*****+					
19.0	104.5	[*****+*****+*****+*****+					
19.5	103.9	[*****+*****+*****+*****+					
20.0	103.7	[*****+*****+*****+*****+					
20.5	103.2	[*****+*****+*****+*****+					
21.0	102.9	[*****+*****+*****+*****+					
21.5	102.1	[*****+*****+*****+*****+					
22.0	101.5	[*****+*****+*****+*****+					
22.5	100.5	[*****+*****+*****+*****+					
23.0	100.0	[*****+*****+*****+*****+					
23.5	100.0	[*****+*****+*****+*****+					
24.0	99.7	[*****+*****+*****+*****+					
24.5	99.5	[*****+*****+*****+*****					
25.0	98.8	[*****+*****+*****+*****					
25.5	98.3	[*****+*****+*****+*****					
26.0	97.5	[*****+*****+*****+*****					
26.5	96.6	[*****+*****+*****+*****					
27.0	96.0	[*****+*****+*****+*****					
27.5	95.5	[*****+*****+*****+*****					
28.0	94.6	[*****+*****+*****+*****					
28.5	93.6	[*****+*****+*****+*****					
29.0	93.1	[*****+*****+*****+*****					
29.5	92.6	[*****+*****+*****+*****					
30.0	92.3	[*****+*****+*****+*****					
30.5	91.8	[*****+*****+*****+*****					
31.0	90.6	[*****+*****+*****+*****					
31.5	90.6	[*****+*****+*****+*****					
32.0	90.0	[*****+*****+*****+*****					
32.5	89.0	[*****+*****+*****+*****					

Fig. 2 — Analisi di un evento di sorvolo con campionatura ad intervalli di 0,5 secondi

Tabella 1. — Parametri di valutazione basati su misure per singolo evento.

Denominazione	Espressione Analitica
SEL (Single Event Level) $t_0 = 1s$	$10 \log_{10} \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 AL} dt$
EPNL (Effective Perceived Noise Level) $T_0 = 10s$ $EPNL \sim SEL + 3$	$10 \log_{10} \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 PNL T} dt$
ECPNL (Equivalent Continuous Perceived Noise Level) $t_0 = 1s$	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EPNL_i} - 10 \log \frac{T}{t_0}$
ECPNLh (Equivalent Continuous Perceived Noise Level hourly)	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EPNL_i} - 25,563$
ECPNLD (ECPNL ore 7-19)	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 ECPNLh_i} - 10,791$
ECPNLE (ECPNL ore 19-22)	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 ECPNLh_i} - 4,771$
ECPNLN (ECPNL ore 22-7)	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 ECPNLh_i} - 9,545$
ECPNLDE (ECPNL ore 7-22)	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 ECPNLh_i} - 11,761$
WECPNL (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level) S = fattore stagionale compreso fra +5 e -5	$10 \log_{10} [0,5 (10^{0,1 ECPNLD}) + 0,125 (10^{0,1 [ECPNLE + 5]}) + 0,375 (10^{0,1 [ECPNLN + 10]})] + S$
NEF (Noise Exposure Forecast) Nd ed Nn = Numero eventi ore 7-22 ed ore 22-7	a) $10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EPNLDE_i} + 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 (EPNLN_i + 10)} - 88$ b) $10 \log_{10} 10^{0,1 EPNLm} + 10 \log_{10} (Nd + 16,67 Nn) - 88$

Analisi dei risultati

Sulla base delle misure effettuate negli undici punti di rilevamento, siti nell'abitato di Fiumicino, in corrispondenza dei quali sono stati mediamente riscontrati 185 sorvoli al giorno (139 durante le ore diurne e 46 in quelle notturne) sono state elaborate le Figg. 3 e 4 nelle quali i valori dei contenuti energetici dei

singoli eventi, espressi in EPNL ed in SEL sono stati raggruppati in classi omogenee con intervallo di 2 db.

Gli istogrammi delle Figg. 3 e 4 consentono di identificare le classi di livello sonoro più frequenti e la dispersione delle classi di livello sonoro stesse. Attraverso il confronto delle suddette figure è possibile inoltre comparare l'andamento delle citate classi di livello sonoro, valutate secondo il criterio dell'EPNL e secondo quello del SEL.

Tabella 2. - Parametri di valutazione basati su misure di tipo continuo

Denominazione	Espressione Analitica
EQLA (Equivalent Level A Weighted)	$10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 AL} dt$
EQLh (Equivalent Level hourly)	$10 \log_{10} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 AL} dt - 35,563$
EQLD (EQL ore 7-19)	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EQLh_i} - 10,791$
EQLE (EQL ore 19-22)	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EQLh_i} - 4,771$
EQLN (EQL ore 22-7)	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EQLh_i} - 9,545$
EQLDE (EQL ore 7-22)	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EQLh_i} - 11,761$
EQL 24 (EQL ore 0-24)	$10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 EQLh_i} - 13,802$
DNL (Day Night Level)	$10 \log_{10} \left\{ 0,625 [10^{0,1 EQLDE}] + 0,375 [10^{0,1 (EQLN+10)}] \right\}$
CNEL (Community Noise Equivalent Level)	$10 \log_{10} \left\{ 0,5 [10^{0,1 EQLD}] + 0,125 [10^{0,1 (EQLE+3)}] + \right. \\ \left. + 0,375 [10^{0,1 (EQLN+10)}] \right\}$

Esaminando i due istogrammi, si osserva in primo luogo che quello relativo all'EPNL presenta una maggior dispersione delle classi di livello sonoro rispetto all'analogo istogramma del SEL. Le classi più frequenti risultano raggruppate tra 80 e 92 EPNdB per gli EPNL e tra 78 e 88 dBA per i SEL. La differenza fra il valor medio ponderato dell'EPNL e quello del SEL, ricavati dai dati desumibili dai due istogrammi riportati nelle Figg. 3 e 4, è di 3,05 dB, su un totale di 5180 rilevamenti. Tale dato sperimentale conferma la rispondenza della relazione: $EPNL \approx SEL + 3$, già enunciata da altri Autori [12, 42, 58].

Sulla base di quanto detto, appare quindi ammissibile effettuare misure di rumore aeronautico in EQLA, purché tali misure siano riferite ai singoli eventi di sorvolo e si provveda quindi all'integrazione della energia associata all'evento stesso in un tempo di riferimento convenzionale di 1 secondo per la conversione del livello equivalente in SEL; successivamente il valore di SEL verrà trasformato in EPNL, utilizzando la formula approssimativa sopra indicata. Soltanto partendo

da valori in EPNL, direttamente rilevati o calcolati come indicato in precedenza, è possibile ottenere attendibili valutazioni relative al disturbo da rumore aeronautico [7, 43].

Giovandosi tuttavia di strumenti integratori di recente realizzazione ed attualmente già disponibili sul mercato, come ad esempio il B. & K. 2230, è possibile procedere direttamente a misure in SEL di singoli eventi, senza passare cioè per la fase della rilevazione in EQLA, ed ottenere in tal modo valori in EPNL semplicemente ricorrendo al fattore di correzione + 3 già più volte ricordato.

Per quanto concerne l'elaborazione delle misure rilevate, è opportuno premettere che i valori degli EPNL, nei singoli punti di rilevamento, sono risultati, in conseguenza delle contenute dimensioni dell'area esaminata e delle specifiche caratteristiche delle emissioni sonore prese in considerazione, abbastanza confrontabili nelle undici stazioni di misura, specialmente se riferiti a condizioni di sorvolo omogenee. Parten-

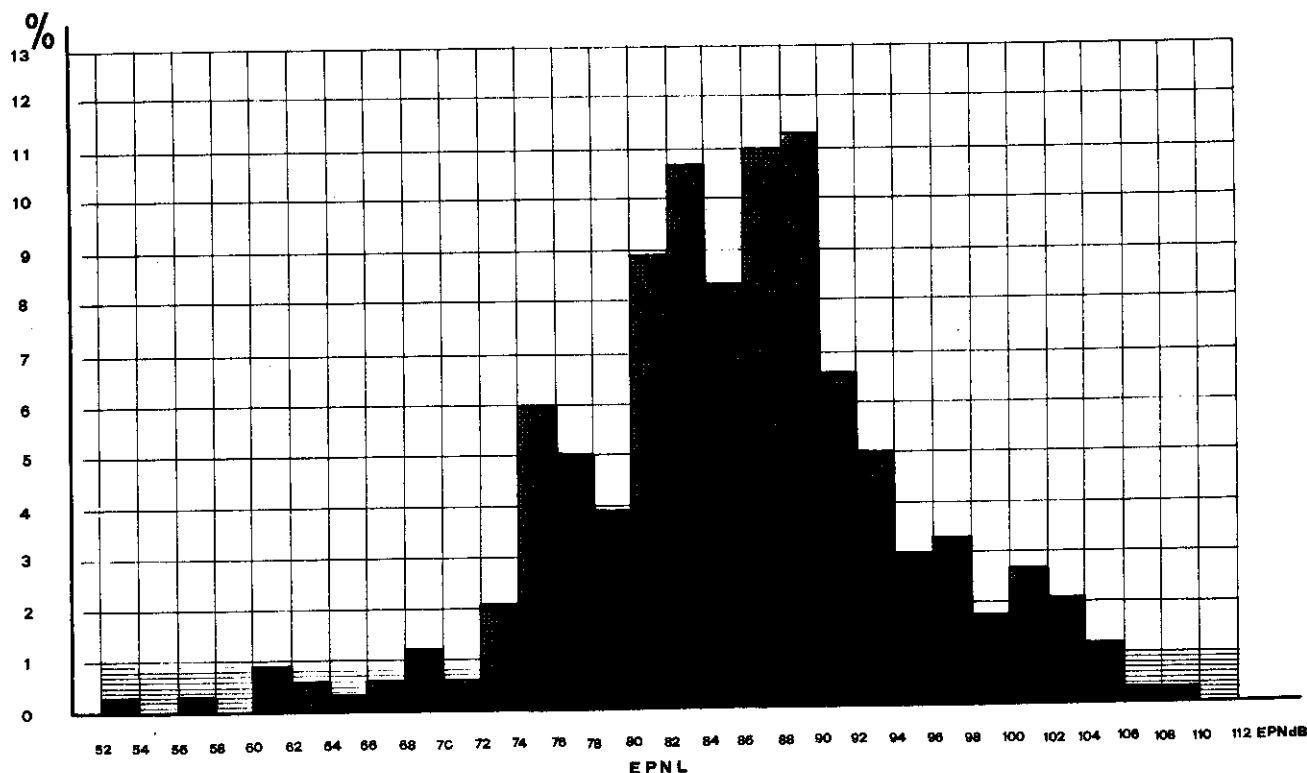


Fig. 3. - Distribuzione percentuale delle classi di livello sonoro relative a singoli eventi, espresse come EPNL

do da queste premesse ed anche allo scopo di ottenere un dato globale rappresentativo delle condizioni di inquinamento acustico da rumore aeronautico nell'abitato di Fiumicino, si è ritenuto opportuno riferire il complesso dei dati sperimentali, raccolti negli undici punti di rilevamento, ad un'area unificata, corrispondente all'intero comprensorio urbano preso in considerazione.

Partendo dagli $EPNL_i$ ed utilizzando la relazione (8), è stato calcolato il livello equivalente continuo di rumore percepito orario (ECPNLh) per tutto l'arco delle 24 ore: i dati ottenuti sono stati riportati nel diagramma di Fig. 5. Nella figura suddetta l'andamento dell'ECPNLh appare piuttosto irregolare ed è nettamente influenzato dal numero di operazioni di volo che interessano l'area esaminata nei corrispondenti intervalli di tempo. I livelli massimi di rumore aeronautico, espressi come ECPNLh, appaiono concentrati durante le ore diurne fra le 15 e le 18 (83,06 - 86,77 EPNdB); durante la notte i livelli più alti si verificano fra le 3 e le 6 (69,12 - 73, 18 EPNdB); valori piuttosto elevati compaiono altresì durante le ore della sera (76,00 - 76,99 EPNdB). I valori più bassi del rumore da sorvolo sono stati evidenziati tra le ore 23 e la mezzanotte (54,95 EPNdB).

Nella stessa Fig. 5 è riportato l'andamento dell'EQLh calcolato sulla base di misura per singolo evento pesato in A; il suddetto parametro è stato ottenuto utilizzando l'espressione (6). L'andamento dei due diagrammi non appare comparabile e ciò conferma che non è possibile stabilire una correlazione fra ECPNL ed EQL, mentre è lecito correlare fra loro EPNL e SEL, in quanto ambedue i parametri si riferiscono alla commisurazione di singoli eventi e si basano entrambi

su principi omogenei di valutazione (integrazione dei contenuti energetici su prefissati tempi di riferimento).

E' necessario inoltre precisare che nell'analisi del rumore aeronautico i valori in SEL non devono essere direttamente utilizzati, ma possono essere eventualmente convertiti in EPNL per calcolare in via indiretta l'ECPNL. Non è infine corretto correlare fra loro parametri di valutazione basati su misure effettuate partendo da singoli eventi a carattere sporadico (come potrebbero essere quelli determinati dal sorvolo di aerei) con parametri ottenuti invece da misure in continuo, che considerano globalmente tutte le possibili cause di rumore manifestantesi in un determinato intervallo di tempo.

Qualora quindi vengano contemporaneamente eseguite misure di rumore aeronautico (per singolo evento) e di rumore ambientale (misure in continuo), tali misure devono essere effettuate separatamente e separatamente valutate, sia per la reciproca incongruità delle rispettive tecniche metrologiche, sia per la diversificazione delle specifiche modalità attraverso le quali si verificano gli effetti di disturbo nei due tipi di inquinamento da rumore citati.

Integrando i valori orari di ECPNLh ed utilizzando le espressioni riportate in Tab. 1, sono stati calcolati i valori di ECPNLD (ore 7 - 19), di ECPNLE (ore 19 - 22), di ECPNLN (ore 22 - 7), di ECPNLDE (ore 7 - 22), di ECPNL24, di WECPNL e di NEF. I valori suddetti sono stati riportati nella Tab. 3.

Parallelamente alla misura del rumore aeronautico, effettuata sulla base dei contenuti energetici dei singoli eventi, è stato eseguito il calcolo degli indici di rumorosità ambientale, tenendo conto di tutte le

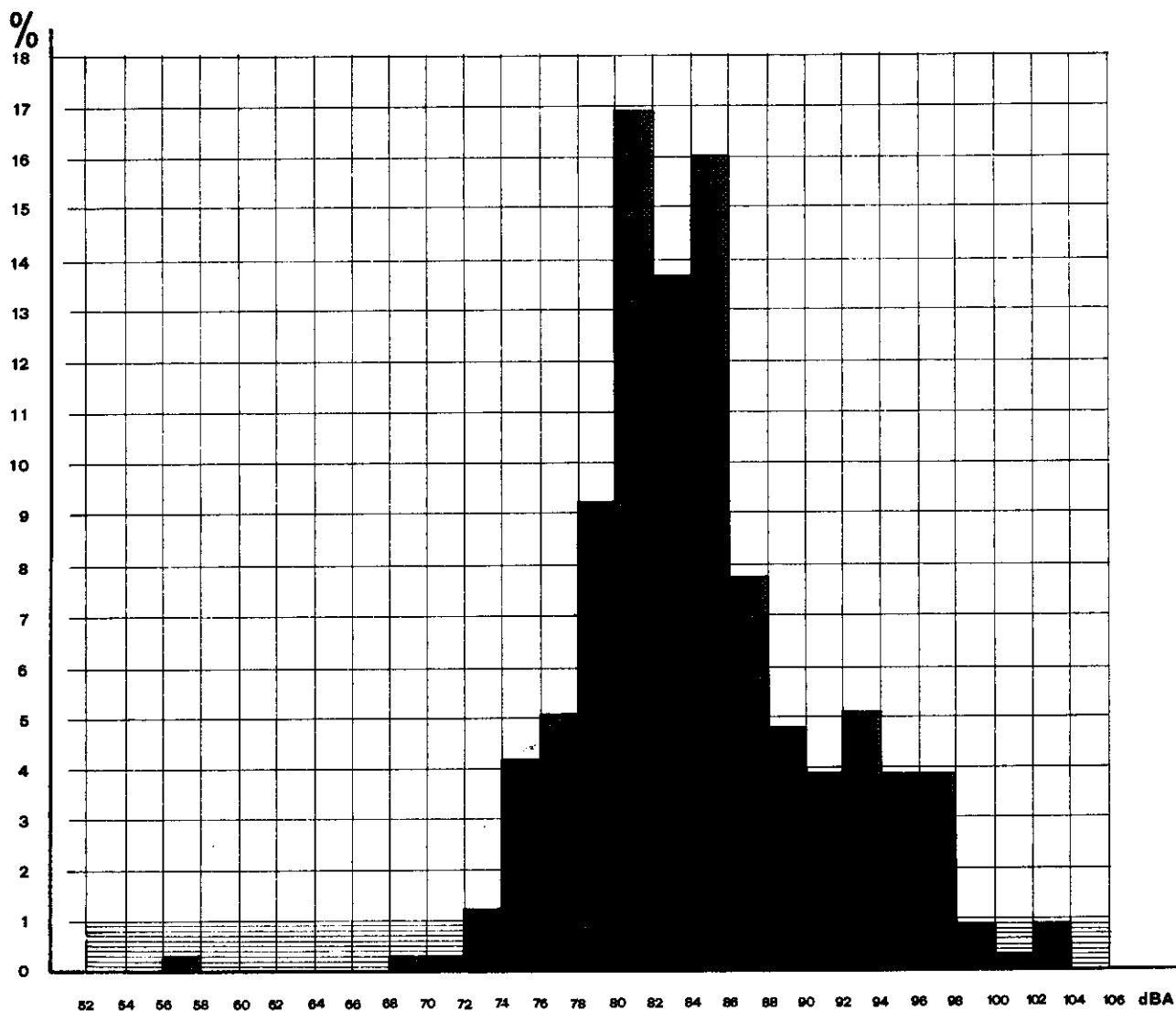


Fig. 4. — Distribuzione percentuale delle classi di livello sonoro, relative a singoli eventi espresse come SEL

emissioni sonore presenti, sulla base di misure di tipo continuo. Nella Tab. 4 si riportano i valori dei suddetti parametri di rumorosità rilevati a Fiumicino.

Esaminando i dati raccolti nelle tabelle 3 e 4, si desume che, per quanto riguarda il rumore aeronautico, il divario fra l'ECPNL nelle ore diurne (7 - 22) e l'ECPNL in quelle notturne (22 - 7) si aggira attorno ai 10 EPNdB, mentre per il rumore ambientale la differenza dei livelli equivalenti di giorno e di notte è di poco più di 7 dBA. Anche se nella valutazione del rumore aeronautico e di quello ambientale vengono utilizzate unità di misura non omogenee, sembrerebbe che, per quanto concerne il rumore aeronautico, il decremento giorno/notte assuma una maggiore incidenza rispetto a quanto si verifica per il rumore ambientale.

A conferma di quanto sopra rilevato, si può notare che, anche per quanto riguarda il confronto degli indici di disturbo a 24 ore penalizzati, la componente

di rumore notturno sembra sia più influente per i parametri riferiti al rumore ambientale, piuttosto che per quelli relativi al rumore aeronautico. Infatti confrontando il CNEL con l'EQLD si constata che il primo valore è superiore di 1,12 dBA rispetto al secondo; una situazione inversa si verifica per il rumore aeronautico, in quanto il WECPNL risulta di 2,13 EPNdB più basso dell'ECPNL. Per il rumore aeronautico, inoltre, la differenza fra ECPNL24 e WECPNL è di 2,34 EPNdB, mentre per il rumore ambientale la differenza fra EQL24 e CNEL è di 3,23 dBA.

Una ulteriore considerazione analitica può essere diretta al raffronto tra i dati riportati nelle tabelle 3 e 4 ed alcuni limiti di accettabilità indicati dalla normativa esistente.

Nel corso della presente indagine sono stati presi in considerazione, per quanto si riferisce alla zonizzazione aeroportuale, gli indici di disturbo per il rumore

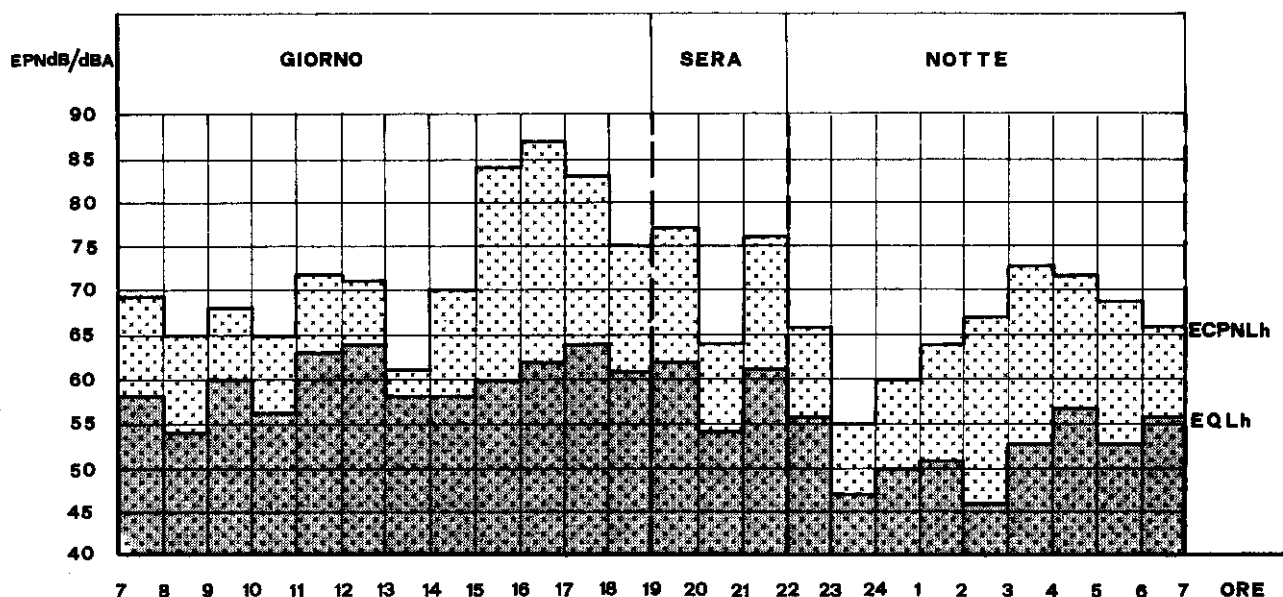


Fig. 5. - Andamento degli ECPNLh ricavati sulla base degli EPNL_i ed andamento degli EQLh ricavati sulla base dei SEL_i

Tabella 3 - Dati riassuntivi dei valori assunti dai parametri di valutazione del rumore aeronautico rilevato a Fiumicino

ECPNLD	=	79,43	EPNdB
ECPNLE	=	74,89	EPNdB
ECPNLN	=	68,49	EPNdB
ECPNLDE	=	78,84	EPNdB
ECPNL24	=	74,96	EPNdB
WECPNL	=	77,30	EPNdB
NEF	=	26,06	EPNdB

Tabella 4 - Dati riassuntivi dei valori assunti dai parametri di valutazione del rumore ambientale rilevato a Fiumicino

EQLD	=	61,13	dBA
EQLE	=	60,28	dBA
EQLN	=	53,19	dBA
EQLDE	=	60,61	dBA
EQL24	=	59,02	dBA
DNL	=	61,71	dBA
CNEL	=	62,25	dBA

aeronautico AANI (Aircraft Annoyance Noise Index) NEF (Noise Exposure Forecast) e WECPNL (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level), in quanto sono fra i parametri più affidabili e più diffusamente adottati in questo campo (USA - FAA, HUD, ICAO) [4, 41, 59].

L'indice NEF, adottato negli Stati Uniti, viene utilizzato per la suddivisione dell'intorno aeroportuale

in tre zone caratterizzate da un crescente livello di disturbo. Nella zona A, dove i valori di NEF sono inferiori o eguali a 30, sono presenti esigui livelli di esposizione totale, per i quali non si rendono necessarie misure restrittive che limitino lo sviluppo e l'uso del territorio. E' permesso qualsiasi tipo di insediamento agricolo, industriale o urbano. La zona B è caratterizzata da moderati livelli di esposizione totale, corrispondenti ad un indice di disturbo compreso fra 30 e 40 NEF. Sono quindi necessarie certe restrizioni allo sviluppo di particolari attività o di specificati usi del territorio. Sono consentiti insediamenti industriali ed agricoli (compreso l'allevamento del bestiame); è consigliabile adottare un isolamento acustico adeguato per industrie speciali (ad es. industrie elettroniche). E' consentito l'uso del territorio per verde pubblico, anche attrezzato, e per attività sportive. Sono da escludere nuove costruzioni destinate a scuole, ospedali o ad attività sociali (per le costruzioni di tal tipo già esistenti dovrà essere prevista una adeguata protezione acustica). Può essere invece consentita la costruzione di nuovi edifici per abitazione, purché il disturbo da rumore aeronautico all'interno di essi venga ridotto, con adeguati trattamenti di fono isolamento, a 30 - 33 NEF. La zona C è caratterizzata da un indice di disturbo superiore a 40 NEF. In questa zona vigono drastiche misure restrittive per quanto riguarda la costruzione di edifici ad uso civile ed il territorio è da destinare esclusivamente ad usi agricoli, agli insediamenti strettamente connessi con le attività aeroportuali ed eventualmente ad usi industriali, con particolare riguardo per le industrie pesanti o per le industrie molto rumorose o comunque fornite di una speciale protezione acustica [12, 47, 49].

Come per il NEF, vengono identificate anche per il WECPNL tre differenti zone: A, B e C. La zona A è caratterizzata da livelli abbastanza modesti di esposizione al rumore aeronautico per i quali non si rendono necessarie misure restrittive che limitino in qualche

modo l'uso del territorio; in tale zona i valori di WECPNL sono inferiori a 78 EPNdB. La zona B presenta congrui livelli di esposizione al rumore (WECPNL da 78 ad 88 EPNdB) e sono necessarie certe restrizioni all'uso del territorio ed allo sviluppo di determinate attività: tale zona è incompatibile con aree residenziali a bassa densità abitativa, ed edifici di pubblica utilità (scuole, ospedali, chiese, biblioteche, ecc.) non dovranno esservi costruiti, salvo a studiare per essi particolari misure di fono isolamento. Sino ad 80,5 EPNdB potrà essere consentita la destinazione d'uso dell'area per edifici residenziali ad alta densità abitativa; fra 80,5 ed 83 EPNdB tali edifici dovranno essere forniti di protezione acustica adeguata. Nella zona C (con WECPNL superiore a 88 EPNdB) sarà vietato ogni tipo di costruzione, fatta eccezione per gli edifici legati alle attività aeroportuali ed il territorio potrà essere destinato ad uso agricolo. Sino ad 83 EPNdB potrà essere consentita l'attivazione di centri commerciali. Lo stesso limite dovrà essere ritenuto valido per le industrie; in quest'ultimo caso però, adottando particolari tecniche di insonorizzazione, potranno essere tollerati sino a 93 EPNdB; nella zona con WECPNL ancora più elevato, potrà essere permessa soltanto l'installazione di industrie che siano direttamente legate all'attività dell'aerostazione [10, 43, 50, 51, 52, 60].

I valori rilevati sperimentalmente nell'abitato di Fiumicino (NEF = 26,06 EPNdB e WECPNL = 77,30 EPNdB) classificano l'area esaminata come zona A, utilizzabile, per effetto della modesta esposizione al rumore aeronautico, per insediamenti edilizi senza particolari restrizioni. Si può anche osservare che i dati rilevati in una precedente indagine eseguita da Piazzesi nel 1973 nell'ambito dell'intorno aeroportuale di Milano Linate, hanno mostrato che in cinque insediamenti abitativi, su un totale di undici località esaminate, sono stati superati i limiti di esposizione per la zona A, con valori compresi per il NEF fra 33,04 e 38,42 EPNdB e per il WECPNL fra 81,43 e 86,37 EPNdB; in ambedue i casi le aree maggiormente inquinate ricadono nella zona B [32].

Per quello che si riferisce al rumore ambientale, si deve considerare il fatto che i punti di rilevamento considerati sono compresi in un'area del nucleo cittadino che corrisponde al centro urbano con insediamenti interessanti residenze abitative, attività commerciali e

terziarie, area classificabile, secondo la proposta di norma del Ministero della Sanità, come zona III [61]. Per tale zona i valori di EQLA ammissibili all'esterno degli edifici sono di 60, di 55 e di 50 dBA rispettivamente per le fasce orarie diurna, intermedia e notturna. La rumorosità rilevata, assumendo rispettivamente i valori di 61,13, di 60,28 e di 53,19 EQLA, risulta di poco superiore ai limiti di ammissibilità predetti. Estrapolando i limiti di accettabilità della proposta di normativa del Ministero della Sanità, si ottiene un valore di EQL24 pari a 55 dBA. Questo valore risulta superato di 4 dBA per le misure di rumorosità rilevate a Fiumicino [61].

Per quanto riguarda gli indici di disturbo a 24 ore penalizzati, adottati da alcune normative straniere, si può constatare che i livelli di accettabilità relativi a tali indici sono superati rispettivamente di 6,71 dBA per il DNL e di 2,25 dBA per il CNEL [58, 62].

Confrontando infine i parametri di rumorosità ambientale rilevati a Fiumicino, con gli stessi parametri misurati nel centro urbano di Roma in aree ricadenti in una zona analoga, classificabile anch'essa come centro urbano con insediamenti interessanti residenze abitative, attività commerciali e terziarie (zona III), si mette in evidenza il fatto che a Fiumicino la rumorosità ambientale è di 10 - 15 dBA più bassa rispetto a quella rilevata nel centro di Roma [53].

In conclusione si può affermare che dal contesto dei dati esaminati il grado di rumorosità di origine aeronautica è risultato essere nell'abitato di Fiumicino compatibile con il tipo di insediamenti che ricadono nell'area esaminata. Per quanto concerne invece la rumorosità ambientale, prevalentemente derivante dal traffico veicolare, i valori rilevati, anche se più bassi di quelli misurati nel centro urbano di Roma ed in altre città italiane, sono risultati sempre superiori ai limiti di ammissibilità riferibili alla zona urbanistica presa in considerazione [12].

Nota aggiuntiva:

Alcuni dati generali della indagine sono stati comunicati preliminarmente nel Convegno della Associazione Italiana di Acustica tenutosi a Torino il 19-21 settembre 1983, fornendo alcuni indici parametrici di valutazione del rumore aeronautico nell'abitato di Fiumicino [63].

Ricevuto il 17 novembre 1983.

Accettato il 19 dicembre 1983.

BIBLIOGRAFIA

1. RYLANDER, R., SORENSEN, S. & KAJLAND, A. 1972. Annoyance reactions from aircraft noise exposure. *J. Sound Vibr.* 24 (4): 419-444.
2. CANNELLI, G.B. 1974. La rumorosità dovuta al traffico terrestre ed aereo: sua valutazione e possibilità di intervento. In: *Giornate di studio su inquinamento e rumore*. Padova, 22 giugno 1974.
3. JOSSE, R. 1975. Acoustique et urbanisme. In: *Congresso internazionale l'uomo e il rumore*. Torino, 7-10 giugno 1975. Minerva Medica, Torino. pp. 328-334.
4. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). 1969. *Report of the special meeting on aircraft noise in the vicinity of aerodromes*. Montreal 25 Nov. - 17 Dec. 1969. Doc. 8857 NOISE.

5. INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). 1970. *Procedure for describing aircraft noise around an airport*. Recommendation R 507.
6. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 1976. *Airport noise regulatory process*. Report NPRM 76-24, 41 FR 51522.
7. INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). 1978. *Méthode de représentation du bruit perçu au sol produit par un aéronef*. Standard S 3891.
8. SPERRY, W.C. 1978. Aircraft and airport noise. In: *Noise control handbook of principles and practices*. D.M., Lipscomb & A.C., Taylor jr. (Eds). Van Nostrand Reinholds, New York - London (Environmental Engineering Series). pp. 206-247.
9. HAYASHI, C., KONDA, S. & KODAMA, H. 1978. Psychological assessment of aircraft noise index. *J. Acoust Soc. Am.* 63 (3): 815-822.
10. ROCCO, L. 1974. Individuazione delle aree di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti. In: *Congresso ATI*. Firenze, 24-27 settembre. Clusf. coop. ed. universitaria, Firenze. pp 1-17.
11. ROCCO, L. 1974. Previsioni di inquinamento acustico sul territorio in prossimità degli aeroporti. In: *Giornate di studio su inquinamento e rumore*. Padova, 22 giugno 1974. pp 75-79.
12. COSA, M. 1980. *Il rumore urbano e industriale*. Ist. Ital. Med. Soc., Roma. pp 483-628.
13. BISHOP, D.E. 1974. *Community noise exposure resulting from operations: application guide for predictive procedure*. Aerospace Medical Research Laboratory. Report AMRL-73-105.
14. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). 1976. Report of Committee on aircraft noise. In: *Fifth Meeting*. Montreal, 15-30 Nov., 1976.
15. SIMSON, J. & DEVA-ADITYA, N.J. 1977. *Helicopter noise planning in London*. Inter Noise 77. Zurich, 1-3 March 1977. W.W. Lang (Ed.). pp. B 652-654.
16. Mc KENNEL, A. 1978. *Reactions to Concorde flights by Heathrow residents*. Inter Noise 78. San Francisco, 8-10 May 1978. W.W. Lang (Ed.). pp 573-578.
17. ROCCO, L. 1979. La protezione acustica dell'ambiente. *Inquinamento* 3: 97-102.
18. ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPMENT ECONOMIQUES (OCDE). 1983. *L'impact du bruit: constat et prévisions*. Paris, OCDE. ENV-N-83.2. pp. 8-17.
19. BORSKY, P.N. 1954. *Community aspects of aircraft annoyance*. National Operational Research Center, University of Chicago. Report 54.
20. BORSKY, P.N. 1961. *Community reactions to air force noise*. National Operational Research Center, University of Chicago. Report WADD-TR-60-689 (II). pp. 1-171.
21. SOU. 1961. *Flygbuller som sambällsproblem*. Stockholm, Sweden. Report No. 25.
22. *Committee on the problem of noise: final report*. 1963. HMSO, London. CMDN. 2056. pp. 204-218.
23. *Second survey of aircraft noise annoyance around London (Heathrow) airport*. 1971. London, HMSO. pp. 1-193.
24. KOSTEN, C.W., DE ZWANN, G.W., STEENBERGEN, M.H., FALKENHAGEN, C.A.F., DE JONGE, J.A.C. & van OS, G.J. 1967. *Geluidhinder door vliegtuigen*. TNH Report. pp. 1-119.
25. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT. 1968. *La gêne causée par le bruit autour des aéroports*. CSTB, Paris.
26. HAZARD, W.R. 1971. Predictions of noise disturbance near large airports. *J. Sound Vibr.* 15 (4): 425-445.
27. DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT. 1974. *Fluglarmwirkungen*. Harald Boldt Verlag, Bonn.

28. OLLERHEAD, J.B. 1978. Variation of community response to aircraft noise with time of day. *Noise Control Engineer*. 13 (5): 68-78.
29. OLLERHEAD, J.B. & EDWARDS, R.M. 1977. *A further survey of some effects of aircraft noise in residential communities near London (Heathrow) airport*. Loughborough University. Report, TT 7705.
30. CIVIL AVIATION DEPT. CANTON OF ZURICH. 1972. Aircraft noise abatement Zurich airport. *Noise Bull.* n. 72.
31. DEPARTMENT DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE ET DU TRAVAIL - AEROPORT DE GENEVE. 1973. Lutte contre le bruit des aeronefs. *Bull. d'Information* 31: 1-3.
32. PIAZZESI, G. 1973. *Relazione preliminare sul rumore degli aerei intorno all'aeroporto di Milano Linate e valutazione del disagio arrecato alle comunità circostanti*. Giunta Regionale Lombarda, Assessorato Ecologia, Milano. pp. 1-41.
33. FIDELL, S. & JONES, G. 1975. Effects of cessation of late night flyghts on an airport community. *J. Sound Vibr.* 42 (4): 411-427.
34. BORSKY, P.N. 1975. Reports of sleep interference and annoyance by aircraft noise. In: *Noisexpo* 75. May 1975.
35. *Code of Maryland Regulations (COMAR)*. 1974. 11.03.14.04B, Limits.
36. MARYLAND DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. 1976. *Baltimore-Washington international airport, master plan, airport development report and environmental report*. Baltimore, MD.
37. US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. 1977. *Final addendum to environmental impact statement, construction of runway*. Douglas Municipal Airport Charlotte, North Carolina, Washington, DC. Report 18R-36L.
38. HARRIS, A.S. 1980. Designing for noise control at air carrier airport: runway layout and use. *Noise Control Engineer*. 15 (3): 104-109.
39. VULKAN, G. & HYDE, J. 1981. A local authority aircraft noise monitoring system. *Noise Control Engineer*. 16 (3): 114-122.
40. BISHOP, D.E. 1966. Judgments of the relative and absolute acceptability of aircraft noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 40: 108-122.
41. BISHOP, D.E. & HORONJEFF, R.D. 1967. *Procedure for developing noise exposure forecast areas for aircraft flight operations*. FAA Report DS 67.
42. ROCCO, L. 1977. L'esposizione al rumore degli aerei: tecnica di valutazione. *L'Aerotecnica Missili e Spazio*. 3: 140-144.
43. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). 1971-1976. *Aircraft noise: annex 16 to the convention of international civil aviation*. 1. ed, Aug. 1971; 2. ed., Oct. 1976.
44. ROCCO, L. 1974. Previsioni di inquinamento acustico del futuro aeroporto di S. Giorgio a Colonica (Firenze). Arti Graf. Giorgi & Gambi, Firenze.
45. GALLOWAY, W.J. & PIETRASANTA, A.G. 1964. *Land use planning relating to aircraft noise*. Bolt, Beranek and Newmann Inc. FAA. Technical Report 821.
46. HASSAL, J.R. & ZAVERI, K. (Eds). 1978. *Acoustic noise measurements*. Brüel & Kjaer, Naerum (Denmark).
47. GALLOWAY, W.J. & BISHOP, D.E. 1970. *Noise exposure forecast: evolution evaluation, extensions and land use interpretations*. FAA Report NO-70-9.
48. PEARSONS, K.S. & BENNETT, R.L. 1974. *Handbook of noise ratings*. National Aeronautics and Space Administration. Contractor Report. NASA CR-2376.
49. ROCCO, L. 1974. L'insonorizzazione degli edifici nelle aree in prossimità degli aeroporti; soluzioni tecniche e costi di esecuzione. In: *XII Congresso Nazionale ANDIL*. Firenze, 21-23 novembre 1974. p. 109.
50. REM PICCI, G. & D'AMATO, G. 1970. La pianificazione delle aree nelle vicinanze degli aeroporti. In: *XI Congresso AGERE*, giugno 1970. AGERE, Roma.
51. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). 1971. *Community reaction to airport noise*. NASA CR-1761.
52. COSA, M., CASINI, P. & NICOLI, M. 1974. Zonizzazione urbana ed aeroportuale in relazione all'inquinamento da rumore. In:

Convegno "Politica regionale dell'ambiente. Metodologie di intervento e di gestione". Firenze, 7-9 nov. 1974. Regione Toscana, Firenze. pp. 457-478.

53. COSA, M. & NICOLI, M. 1979. Nuova indagine statistica sulla rumorosità da traffico stradale a Roma basata su rilevamenti effettuati durante tutto l'arco delle 24 ore. *Ann. Ist. Super. Sanità*. 15: 197-218.
54. CAPONE, P., COSA, M. & NICOLI, M. 1980. Indagine statistica sul rumore da traffico stradale a Pescara basata su rilevamenti effettuati durante tutto l'arco delle 24 ore. *Ann. Ist. Super. Sanità*. 16: 257-270.
55. COSA, M., NICOLI, M., D'ARCA, S.U., FUSELLI, R. & LEONI, M. 1982. Il rumore nell'ospedale. Nota II. Risultati di una ricerca effettuata nel Policlinico Umberto I di Roma negli anni 1980-1982. *Nuovi Annali Ig. Microbiol.* 33 (4-6): 741-758.
56. *Program description aircraft noise heard on the ground*. 1977. Brüel & Kjaer, Naerum (Denmark). Report WW 9004.
57. COSA, M. & NICOLI, M. 1982. Predeterminazione del livello equivalente di rumore da misure dei contributi energetici per singolo evento. *Ann. Ist. Super. Sanità*. 18: 309-317.
58. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 1974. *Information on level of environmental noise to protect public health and welfare with adequate margin of safety*. Washington, D.C. Report 550/9,74,004.
59. U.S. DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT (HUD). 1971. *Noise assessment guidelines*. HUD, Washington, D.C.
60. DYGERT, P.K. & UNGERER, J.A. 1971. Airport noise and land use analysis. In: *Regional Airport System Study*.
61. *Schema di DPCM "Fissazione dei limiti massimi di esposizione ad inquinamento acustico negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno"*. 1982. Ministero della Sanità, Direzione Generale dei Servizi di Igiene Pubblica.
62. *California Administrative Code*. 1974. Title 25, chapter 1, section 1092.
63. COSA, M. & NICOLI, M. 1983. Inquinamento da rumore aeronautico nell'abitato di Fiumicino: risultati di una indagine sperimentale. In: *Atti XI Convegno Ass. Ital. Acustica*, Torino, 19-21 settembre 1983. ESA, Torino. pp. 103-106.