

**EM****STUDI E RICERCHE**

Gennaro P. Matronola Francesco Ventura

## L'INQUINAMENTO ACUSTICO DA ELICOTTERO

### PREMESSA

Tra gli eventi sonori che caratterizzano il rumore urbano, il rumore aeronautico è quello che può raggiungere i livelli più elevati di intensità; il suo tempo di erogazione, per contro, è relativamente limitato, specie se riferito ad un singolo evento, ed il numero di eventi riscontrabili è sempre di gran lunga inferiore a quello che può essere attribuito al rumore da traffico veicolare.

Gli effetti che il rumore di origine aeronautica determina sul territorio sorvolato e quindi sulla popolazione esposta, generano solitamente una situazione di annoyance, caratterizzata da una sensazione di fastidio, spesso molto accentuata e di scarsa accettabilità o di rifiuto dell'evento sonoro subito.

La degradazione dell'habitat umano dovuta ai rumori aeronautici è divenuta molto grave ed ha determinato, di conseguenza, lo sviluppo di studi coordinati in molteplici direzioni di ricerca che hanno come obiettivo finale la regolamentazione del campo acustico ad un livello accettabile.

L'effetto di tali rumori è sostanzialmente psicologico, di irritazione; la questione interessa fondamentalmente l'aviazione commerciale ma anche tecnici, urbanisti, sociologi, amministratori, politici, legislatori.

Per poter stabilire le tecniche di controllo del rumore prodotto dall'elicottero è necessaria una conoscenza delle origini del rumore stesso in relazione alle varie sorgenti. Questa conoscenza deve comprendere

la genesi del rumore e una valutazione dei suoni percepiti da un osservatore.

Lo scopo del presente articolo è quello di introdurre le conoscenze fondamentali relative alle origini dei principali rumori da elicottero, le grandezze acustiche ed i metodi di misura. Vengono quindi esposte tecniche e metodiche operative per il controllo del rumore da elicottero e quindi la sua riduzione o il suo mantenimento entro ragionevoli limiti di accettabilità.

Gli autori hanno effettuato controlli e misure nell'area urbana di Roma, in particolare nell'eliporto omologato presso l'Ospedale « San Camillo » di Roma.

### CAUSE DEL RUMORE DA ELICOTTERO

Le principali sorgenti di rumore di un elicottero sono:

- il sistema rotori;
- il sistema di guida;
- l'impianto di potenza;
- il compressore e lo scarico.

*Sistema rotori.* - Il sistema rotori è formato dal rotore principale e dal rotore di coda. Il rumore del sistema rotori è prodotto sia dalle forze aerodinamiche sia dalle vibrazioni strutturali e si può dividere in due componenti: il rumore rotazionale e il rumore vorticale.

*Rumore rotazionale.* Un'elica ruotante nell'aria è circondata da un campo di pressioni che danno luogo

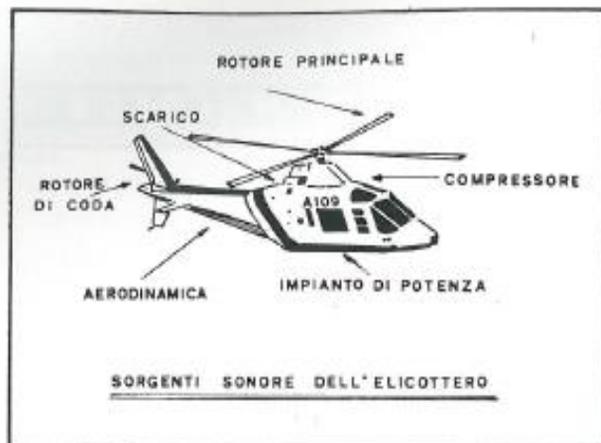


Fig. 1 - Principali sorgenti sonore presenti nell'elicottero.

Fig. 2 - Eliporto Sanitario dell'Ospedale S. Camillo di Roma.



ad una certa distribuzione superficiale delle pressioni su ciascun elemento di pala. Reazioni uguali e contrarie sono esercitate dall'elica sul fluido; in questo modo si genera energia sonora che è composta di frequenze discrete multiple, funzione della frequenza di passaggio della pala, della spinta totale e della coppia. Questo rumore viene percepito da un osservatore posto al di fuori dell'asse di rotazione come una variazione di pressione sonora complessa, dovuta alla frequenza fondamentale di passaggio della pala, alle sue armoniche nonché alla distribuzione della pressione superficiale.

Il rumore vorticale deriva invece dalle sollecitazioni che si originano a causa dei vortici di scia delle pale.

Altro rumore prodotto dal rotore è quello dovuto al flappeggio delle pale la cui causa è la rapida variazione dell'angolo di attacco quando la pala incontra la propria scia o quella di una che la precede.

**Sistema di guida.** - Il rumore emanato dal sistema di guida di un elicottero è dovuto agli organi della trasmissione, ai giunti, ai supporti dei cuscinetti e alle vibrazioni meccaniche del sistema stesso. Queste sorgenti contribuiscono sostanzialmente alle caratteristiche del rumore interno.

Il rumore prodotto dal funzionamento degli ingra-

naggi deriva dalle sollecitazioni cui gli ingranaggi stessi sono sottoposti, dalle sacche di aria e di olio nella scatola degli ingranaggi, dall'attrito, dall'urto e dalla variazione delle forze radiali. Un'appropriata geometria dell'ingranaggio e l'accuratezza di costruzione riducono il livello di tutte queste sorgenti di rumore.

**Impianto di potenza.** - I motori utilizzati sugli elicotteri sono turbomotori o motori a pistoni. Questi ultimi contribuiscono alla formazione di rumori interni ed esterni: un'attenuazione si può ottenere utilizzando materiali che possono assorbire i rumori ad alta frequenza sempre che il trattamento non crei problemi al raffreddamento del motore e della trasmissione.

**Compressione e scarico.** - Il rumore del compressore deriva dalle perturbazioni subite dall'aria nel passaggio attraverso le pale del compressore stesso. La sua natura è simile a quella del rumore rotazionale.

La frequenza del rumore del compressore è determinata dal numero di pale statoriche, dal numero delle pale rotoriche e dalla velocità di rotazione. Normalmente le frequenze del rumore del compressore di un turbomotore oscillano intorno a 1.000 Hz e sono fortemente direzionali.

Il gas di scarico di un turbomotore non è una sorgente potente se comparata con il rumore del rotore principale e di coda dell'elicottero, mentre i gas di scarico dei motori a pistoni sono la maggior sorgente dei rumori sia interni che esterni, dipendenti dalla periodica espulsione dei gas combusti caldi. La frequenza più bassa dello spettro del rumore dei gas di scarico corrisponde normalmente alla frequenza di accensione del motore.

## METODI DI RILEVAMENTO

Le unità utilizzate per esprimere i livelli di rumore sono:

- Livello di pressione acustica (dB): si riferisce all'energia sonora totale in tutto lo spettro della frequenza auditiva.

- Livello sonoro ponderato A (dBA): è preferito perché corrisponde meglio alla risposta soggettiva al rumore (le frequenze più basse sono messe in minor rilievo). È utilizzato per misurare il rumore prodotto dai mezzi di trasporto terrestre, ma non quello prodotto dagli aeromobili.

- Livello di rumore percepito (Perceived Noise Level - PNL) misurato in decibel (PNdB): è una valutazione del livello di pressione acustica istantanea effettuata per bande di ottava o di 1/3 di ottava per tutta la durata dell'evento sonoro. Il metodo « pesa » i livelli sonori per bande di ottava (o di 1/3 di ottava) in funzione del fastidio che essi creano.

- Livello di rumore effettivamente percepito (Effective Perceived Noise Level - EPNL) misurato in EPNdB: è la misura standard adottata dalla F.A.A. e dall'I.C.A.O. per la valutazione del rumore prodotto dagli aeromobili. Tiene conto della durata dell'evento

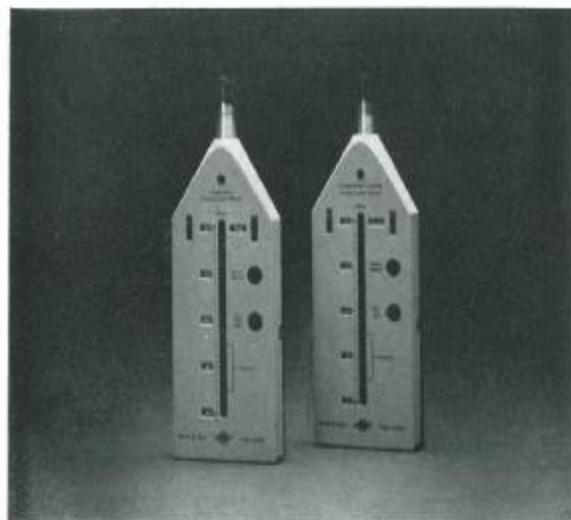
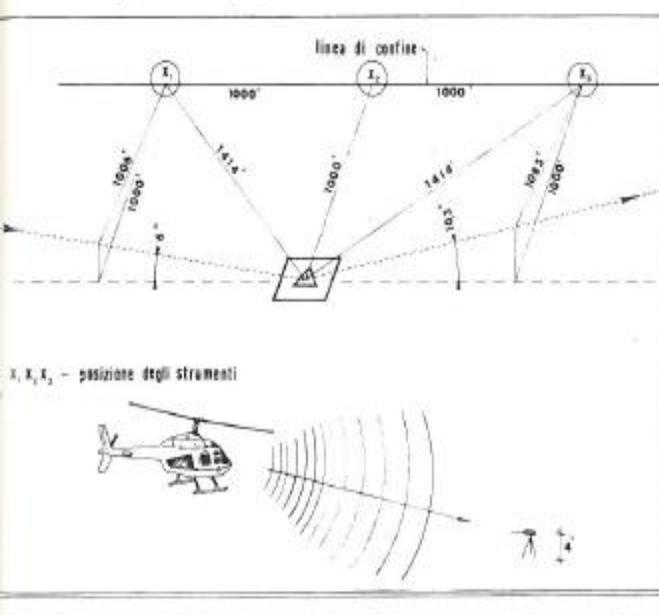


Fig. 3 - Apparecchi per la misurazione della Brüel &amp; Kjær.

Fig. 4 - Esempio per il calcolo del Leq di un eliporto.



e della risposta soggettiva ai toni puri dello spettro sonoro.

$$EPNdB = dBA + 12$$

La necessità di normalizzare le metodiche di valutazione impiegate e di renderle confrontabili con quelle utilizzate per il rumore da traffico veicolare ha contribuito negli ultimi anni a diffondere in misura sempre maggiore valutazioni in Leq. Questo è basato sul principio di uguale energia e rappresenta il livello continuo stazionario contenente la stessa energia, espressa in dBA, di quello reale fluttuante nello stesso periodo di tempo.

I due enti governativi che ordinariamente hanno il compito di emanare le norme negli Stati Uniti sono la Federal Aviation Administration (FAA) e la Environmental Protection Agency (EPA) che in molti casi deve essere obbligatoriamente sentita in sede preventiva dalla FAA stessa.

In campo internazionale la normativa ICAO (Convention of International Civil Aviation), messa a punto oltre che dagli USA, dalla Francia, dalla Gran Bretagna, dalla Germania Federale, dal Giappone, dall'Olanda e dalla Svezia, ricalca abbastanza fedelmente i concetti espressi dalla FAA; quest'ultima consiglia per gli eliporti singoli i semplici criteri contenuti nella tabella.

La comunità è divisa in tre categorie: residenziale, commerciale ed industriale. Il livello massimo cumulato, dovuto alle operazioni degli elicotteri, non deve eccedere il livello dei rumori dell'ambiente già presente nella comunità nel luogo predisposto all'eliporto.

Il livello massimo cumulato, però, può essere aumentato se il livello di rumore dell'ambiente supera i valori che sono indicati nella tabella.

#### LIVELLI DEL SUONO NORMALMENTE COMPATIBILI PER LA COMUNITA'

Tipi di area	Livello equivalente medio del suono nelle 24 ore (dB-A)
COMMERCIALE	72
INDUSTRIALE	77
RESIDENZIALE:	
periferica	57
urbana	67
centro città	72

Dalla differenza fra i livelli di esposizione sonora dell'elicottero e quelli indicati nella tabella si può determinare il numero medio di eventi per ora.

La formula matematica per il calcolo del Leq (24) = livello equivalente medio in 24 ore ha diverse forme:

1) Eventi identici: singolo elicottero che vola giornalmente sulla stessa rotta più volte

$$Leq = 10 \log \frac{N \times 10^{Lae/10}}{86.400} \text{ dove}$$

Leq = livello equivalente medio;

N = numero di eventi giornalieri dell'elicottero;

Lae = livello di esposizione sonora per ogni evento dell'elicottero in dBA;

86.400 = numero di secondi in 24 ore.

2) Eventi disuguali: elicotteri differenti che volano su una o più rotte o lo stesso elicottero che vola su diverse rotte

$$Leq = 10 \log \frac{1}{86.400} (10^{Lae_1/10} + 10^{Lae_2/10} + \dots)$$

dove  $Lae_1, Lae_2$  sono i livelli sonori dei singoli eventi.

3) Combinazione dei due: eventi molteplici di differenti tipi di elicotteri o di differenti procedure

$$Leq = 10 \log \frac{1}{86.400} (N_1 \cdot 10^{L_{ae,1}/10} + N_2 \cdot 10^{L_{ae,2}/10} + \dots)$$

dove  $N_1$  e  $N_2$  sono il numero dei singoli eventi.

Per il calcolo del  $Leq$  viene mostrato in figura un esempio dove si nota la posizione dello strumento e la distanza di questo (in verticale) dal sentiero di avvicinamento e di decollo dell'eliporto.

## SPERIMENTAZIONE

Dagli autori del presente studio sono state effettuate misure del livello sonoro con il fonometro integratore portatile della Bruel & Kjaer tipo 2226, di tipo termometrico, rispondente alle Normative IEC 651, di classe 2.

Questo strumento è stato messo a disposizione dal Dipartimento di Fisica Tecnica della Facoltà di Ingegneria di Roma.

Le indagini sono state eseguite presso l'eliporto omologato dell'Ospedale « S. Camillo » di Roma, sia all'interno che all'esterno del padiglione Marchiafava.

L'elicottero oggetto dell'esame è stato l'Agusta A 109 Elisanitario, che ha effettuato un periodo di prova della durata di un mese presso questo Policlinico, in collaborazione con la USL RM 16 e l'ACI Roma, per il servizio di trasporto degli infortunati per incidenti stradali. Le misure sono state eseguite mentre l'elicottero era in fase di decollo o di atterraggio. Il rilevatore è stato situato all'esterno dell'edificio (sul marciapiedi d'ingresso) e all'interno (nei vari piani).

Le indagini della presente ricerca sono state svolte per controllare i differenti valori di rumorosità in un ambiente particolarmente sensibile al fenomeno dell'inquinamento acustico.

Lo strumento ha consentito di accertare valori dei livelli sonori ogni 5 secondi, fino a 100 secondi, tempo oltre al quale si aveva un rapido decremento della rumorosità. A questo scopo si è usato un modulo di rilevazione abbastanza semplice che permettesse un rapido conteggio dei dati.

Nella figura si possono vedere i valori misurati al primo piano - sulla terrazzina - del Reparto di rianimazione Marchiafava, a  $\approx 80$  metri dall'eliporto, alle ore 14, in assenza di vento e condizioni meteorologiche buone, con elicottero in fase di decollo.

È stata presa in considerazione l'ipotesi di una attenuazione del fenomeno all'interno del fabbricato con le finestre chiuse. In tali condizioni si è notata una notevole riduzione del rumore, di circa 10 dB.

Questo studio, anche se sommario, concernente l'influenza del rumore provocato dall'Agusta 109 nel sedime ospedaliero del « S. Camillo », fa risaltare che non ci sono problemi per lo svolgimento delle missioni sanitarie, anche in aree densamente popolate.

Il valore massimo rilevato è paragonabile al ru-

more di un'automobile che passa a 10-15 metri di distanza ed è molto basso se messo a confronto con l'intensità di rumore di elicotteri della stessa categoria di peso.

A sostegno dei valori ottenuti, si riportano i dati ricavati nell'Ospedale « S. Spirito » di Roma dell'inquinamento acustico dovuto al traffico stradale, in diversi orari.

## TECNICHE DI RIDUZIONE DEL RUMORE

In base agli effetti prodotti dalle varie sorgenti di rumore di un elicottero si possono stabilire le seguenti possibilità di riduzione:

- sia la componente rotazionale che vorticale del rotore si possono diminuire riducendo la velocità periferica dello stesso;

- per una data velocità periferica e per un dato carico sulla pala, si può diminuire la componente rotazionale riducendo la spinta;

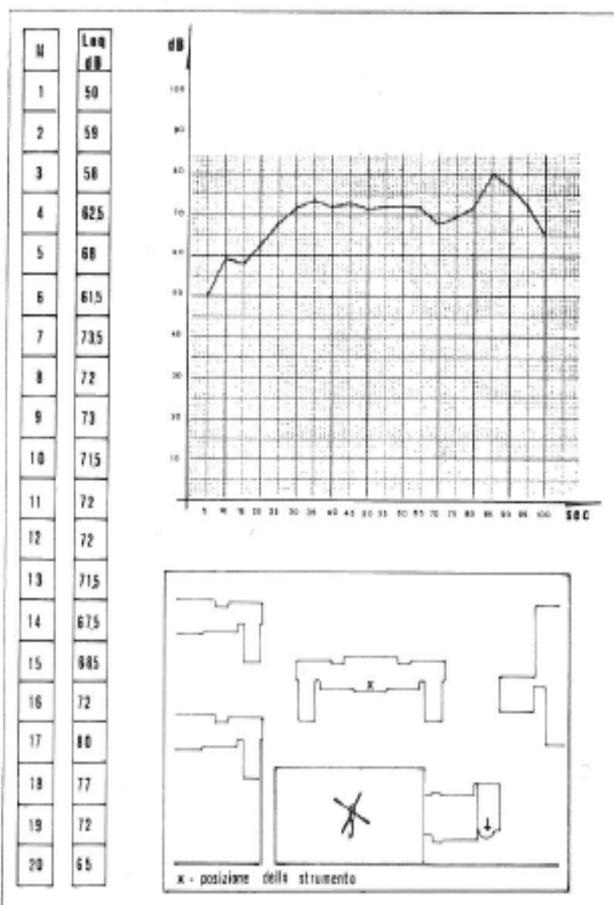


Fig. 5 - Modulo di rilevazione con misure effettuate nel pressi dell'eliporto sanitario.

Fig. 6 - Valori dell'inquinamento acustico dovuto al traffico stradale, rilevati nell'Ospedale S. Spirito di Roma.

h	9,30 ÷ 10,30	10,30 ÷ 12,30	17,30 ÷ 18,30
dB	90	90	88

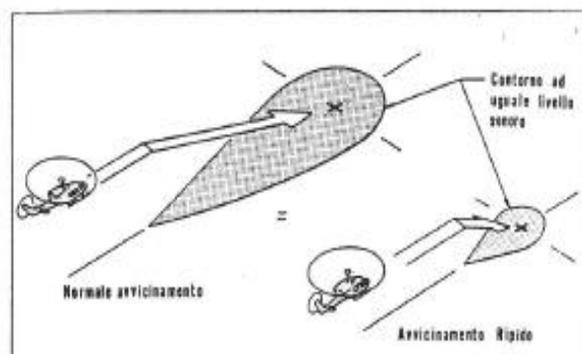


Fig. 7 - Riduzione dei fenomeni acustici con decolli e avvicinamenti ripidi.

- la componente vorticale si può diminuire riducendo la spinta e il carico sulla pala;

- entrambe le componenti si possono diminuire aumentando il numero delle pale.

Per i gas di scarico la diminuzione si ottiene curando il disegno ed il dimensionamento delle marmitte, sempre che non si abbiano riduzioni delle prestazioni del motore.

Per quanto riguarda gli edifici interessati a questo rumore aeronautico esistono speciali misure di difesa acustica. In linea di massima è da tener presente che serramenti ordinari consentono attenuazioni dell'ordine di 10-15 dB e che doppi vetri incrementano mediamente tali livelli di altri 10 dB circa. Per ottenere attenuazioni acustiche più elevate è necessario ricorrere a tecniche di protezione particolari; esse consistono nell'utilizzazione di pareti con peso non inferiore a 150-200 Kg/m<sup>2</sup> che posseggono un potere fonoisolante di 45-48 dB, di doppie finestre (potere fono isolante da 30 a 45 dB), di vetri ad elevato spessore (vetri da 15 mm: attenuazione di 33 dB), di vetri speciali di differente spessore, montati su supporti di materiale resiliente in gruppi di due o tre lastre separate da una intercapedine che può eventualmente contenere gas compresso.

La sollecitazione ammissibile per i vetri è:  $\sigma = 136$  Kg/m<sup>2</sup>; la sollecitazione di rottura:  $\sigma = 408,2$  Kg/m<sup>2</sup>; la sollecitazione dinamica indotta dai rumori è, in sostanza, qualche « permille » della sollecitazione ammissibile.

Non vi è in genere pericolo di risonanza della vibrazione: le frequenze naturali di vibrazione dei vetri o dei pannelli di vetro sono comprese tra 2 e 80 c/sec; i rumori aeronautici non presentano in genere componenti di banda di frequenze così basse.

La riduzione del rumore di materiali comuni (ossia non isolanti), usati nelle costruzioni degli edifici, dipende essenzialmente dalla natura del materiale e dalla frequenza del rumore.

I materiali isolanti rappresentano una soluzione da acquisire con ricerche e che deve essere oltre che tecnicamente buona, economicamente accettabile.

Sono state anche studiate procedure antirumore mediante le modifiche delle traiettorie di volo. Esse

consistono nella scelta, ove ciò sia compatibile con la situazione orografica del terreno, di traiettorie preferenziali che comportino l'allontanamento dei velivoli dalle zone di più elevata sensibilità al rumore e per quanto riguarda l'avvicinamento anche dell'imposizione di traiettorie di discesa più ripide.

Per il decollo la procedura si basa sulla riduzione di spinta al raggiungimento di determinate quote e al momento del sorvolo di certe aree.

La riduzione è pertanto modesta e diminuisce con l'aumento del rapporto di diluizione dei motori.

I gruppi propulsori infatti al crescere del rapporto di diluizione sono molto meno sensibili dal punto di vista acustico alle variazioni di spinta. D'altra parte la procedura della riduzione di spinta comporta un sorvolo a quota minore di aree più distanti dall'eliporto e quindi una dilatazione nella direzione della traiettoria del velivolo nelle aree investite dal rumore.

L'imposizione di traiettoria di discese più ripide comporta in effetti una certa riduzione di rumore al suolo per effetto sia della riduzione di spinta necessaria al volo sia per la maggior distanza che così si viene a verificare tra velivolo e aree sorvolate.

La riduzione sarà sensibile solo se la manovra viene eseguita con la massima accuratezza e precisione senza quindi interventi correttivi della traiettoria per mezzo dei motori.

Le aerovie alte sono da preferirsi perché raddoppiando la quota diminuisce di  $\approx 6$  dB il picco di suono udito sulla terra.

Le Norme italiane consentono il sorvolo nelle aree urbane al di sopra dei 1.000 ft, mentre la F.A.A. consiglia 2.000 ft come minimo di altitudine.

#### NOTA BIBLIOGRAFICA

- F.A.A. Advisory Circular 150/5020, 2, Noise Assessment Guidelines for new heliports, 12 settembre 1983.
- I. Barducci, *Acustica applicata*, E.S.A., 1981.
- M. Cosa, *Il rumore urbano ed industriale*, Ist. Ital. Medicina Sociale, 1980.
- L. Napolitano, G. D'Elia, *Previsione e misure dei rumori di origine aeronautica nelle zone aeroportuali*, XI Congresso AGERE.
- S. Canale, F. Ventura, *Traffico e degrado ambientale*, Autostrade, novembre 1984.
- M. Auricchio, *Origine dei principali rumori dell'elicottero*, Aeronautica. Bruel & Kjaer, Noise Control, 1982.
- M. Cosa, M. Nicoli, *Valutazioni e controllo del rumore e delle vibrazioni*, E.S.A., 1984.
- A.D.A.C., *Schriftenreihe Strassenverkehr - Die Luftstrahlung*, 1981.
- G. Greene, J. Raney, *An overview of NASA's propeller under rotor noise research*, Research Center NASA.

GENNARO P. MATRONOLA, ingegnere, si occupa prevalentemente dei problemi connessi al trasporto elisostatico.

FRANCESCO VENTURA, ingegnere, è membro della Sottocommissione « Acustica » della UNI come rappresentante del Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade dell'Università di Roma.