

LE CUFFIE AERONAUTICHE A RIDUZIONE ATTIVA DEL RUMORE



Volare più tranquilli per salvaguardare il proprio udito

Traduzione: Paolo Piana

Correzione bozza ed impaginazione: A.Tiziano Demaria

INDICE GENERALE

INTRODUZIONE	pag.3
La riduzione attiva del rumore (ANR - Active Noise Reduction)	pag.4
SEZIONE 1: I principi basilari della riduzione attiva del rumore.....	pag.5
SEZIONE 2: Fattori acustici.....	pag.9
SEZIONE 3: Fattori dipendenti dall'aeroplano	pag.14
SEZIONE 4: Caratteristiche ergonomiche e di interfaccia	pag.18
SEZIONE 5: Ottimizzare la propria esperienza di volo	pag.24

Introduzione

Vi sono alcune condizioni che possono limitare il piacere del volo ed il rumore è sicuramente una di queste. Peraltro, parecchi piloti amano dire che il rombo del motore sia la migliore "musica" per le loro orecchie. Purtroppo è ampiamente dimostrato quanto questa "musica" possa a lungo termine causare un danno permanente e talora grave all'udito. Ma anche a breve termine, l'eccesso di rumore in cabina può ridurre anche notevolmente l'efficienza del pilota e la sicurezza stessa del volo. Oggi, bene o male, tutti voliamo utilizzando qualche forma di protezione acustica, variamente associata a sistemi di comunicazione audio. La moderna tecnologia della cancellazione attiva, da una decina d'anni diffusa anche nel campo dell'aviazione generale, può migliorare ulteriormente la qualità della protezione dal rumore. Il mercato offre oggi cuffie aeronautiche attive di prezzo abbastanza accessibile, pertanto appetibili ai piloti non professionisti e, nella fattispecie, anche a quelli del volo da diporto a motore.

Ma se per il pilota "della domenica" questo può anche costituire un "lusso", per l'istruttore od il pilota dimostratore la situazione dovrebbe essere considerata molto seriamente. D'ogni modo esiste un kit di conversione per le cuffie tradizionali (<http://www.headsetsinc.com>) e con sole € 180.76 ed un po' di manualità si può già ottenere un buon risultato.

Lo staff tecnico della Flight speed, un'azienda che produce appunto cuffie aeronautiche attive, ha realizzato un sintetico ma esauriente manuale che spiega il funzionamento di questi sistemi, nonché il loro razionale di impiego in aviazione generale. Vengono anche fornite interessanti nozioni di psico-acustica ed ergonomia di progettazione. Questa dispensa viene ora offerta, tradotta in italiano, ai frequentatori di Aviazione Leggera On-Line, corredata da un'indagine di quanto il mercato è oggi in grado di offrire ed una piccola guida all'acquisto di questi prodotti.

Da circa un anno utilizzo personalmente una cuffia attiva con notevole soddisfazione e Vi confesso che poter volare ascoltando il mio jazz preferito, mentre il 912 ronfa tranquillo in sottofondo, è per me una sensazione piacevolissima. Il baccano lo lascio volentieri ... a terra!

Ed allora ... "quiet flights" a tutti Voi!

Val Triversa, Marzo 2001

La riduzione attiva del rumore (ANR - Active Noise Reduction)

Questa dispensa, suddivisa in cinque parti, è dedicata alla riduzione attiva del rumore in aviazione generale. Lo scopo del lavoro è di fornire ai piloti una spiegazione tecnica relativamente approfondita di questa tecnologia nonché degli importanti fattori che influiscono sulle prestazioni degli impianti e sulla soddisfazione dell'utilizzatore. Anche se non del tutto esauriente, questa trattazione dovrebbe offrire un chiaro quadro del ruolo della soppressione del rumore nella sicurezza, nel comfort e nella generale piacevolezza del volo.

Ecco il riassunto dei cinque capitoli:

Sezione 1: Le basi della riduzione attiva del rumore. Una spiegazione dei principi del fenomeno e le varianti progettuali che ne derivano. Le ragioni per cui è particolarmente difficile progettare una cuffia che offra un'efficiente riduzione attiva del rumore, anche se i principi basilari sono relativamente semplici.

Sezione 2: Fattori acustici: come valutare, capire e paragonare le caratteristiche di cuffie diverse e delle loro curve di cancellazione e del perché alcuni dei dati forniti nelle pubblicità sono privi di senso.

Sezione 3: Fattori aeronautici: la natura dello spettro del rumore che cerchiamo di cancellare e l'importanza di una buona attenuazione delle basse frequenze.

Sezione 4: Ergonomia ed efficienza dei collegamenti: che cosa comporta il progetto di una cuffia che possa essere veramente sopportata per molte ore di seguito.

Sezione 5: Il miglioramento del comfort di volo: come il rumore può incidere sulla salute, sulla sicurezza e sull'efficienza del pilotaggio e perché la soppressione attiva del rumore è in grado di rendere il volo un'esperienza ancora più piacevole.

Sezione 1: I principi basilari della riduzione attiva del rumore

Un buon punto di partenza è costituito da una delle più frequenti domande dei piloti: "Le cuffie "attive" funzionano tutte allo stesso modo?" La risposta è un semplice "sì" ... ed un più dettagliato "no". La risposta affermativa si riferisce al fatto che il principio della cancellazione additiva, attuata mediante un suono in controfase, è vecchia di decenni ed è tuttora fondamentale nel funzionamento di tutti i sistemi attivi sul rumore in aeronautica. Ci occupiamo inizialmente di questo aspetto.

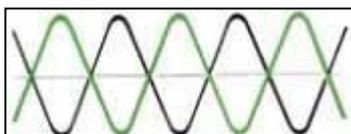
In ogni cuffia a soppressione attiva di rumore sono presenti tre elementi fondamentali:

un microfono che "percepisce" livello del suono all'interno della coppa auricolare della cuffia;
un circuito elettronico che "elabora" il segnale e lo invia all'altoparlante antirumore;
un altoparlante (o "driver") che "aggiunge" un suono all'interno della coppa auricolare.

Questo suono "aggiunto" si combina con il rumore ambientale, per ridurre il livello di rumorosità globale. La cancellazione attiva è dovuta alla "sommatoria" dei due segnali. Il livello della cancellazione ottenibile è una funzione di molte variabili, che verranno trattate qui di seguito.

Cosa significa "cancellazione"

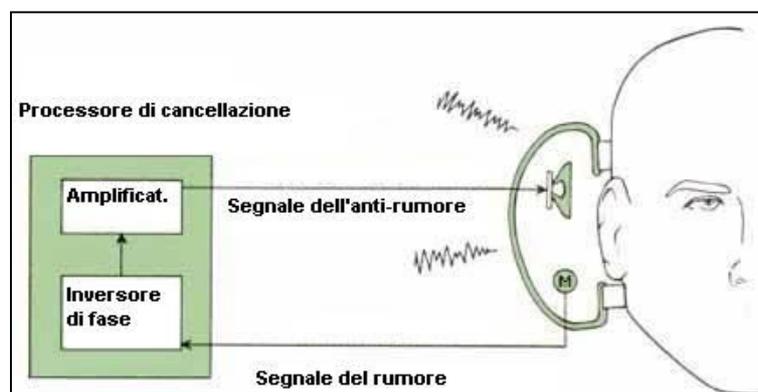
Per prima cosa, facciamo chiarezza su ciò che si intende per cancellazione di rumore. Spesso ci si chiede se la riduzione attiva del rumore sia costituita solo da un suono "mascherante" che "nasconde" il rumore, come il dentista che può utilizzare la musica od il rumore bianco per "mascherare" il fastidioso rumore del trapano. Questo "segnale mascherante" non fa che aggiungere un ulteriore rumore nell'ambiente acustico, per far sì che l'orecchio od il cervello percepiscano una frequenza differente e più gradevole di quella originaria. Ma questa non è ovviamente una "cancellazione" e non è quanto fa una cuffia a cancellazione attiva.



La cancellazione attiva comporta l'"addizione" di onde sonore ... un sistema in cui un'onda si mescola con un'altra sottraendone l'energia.

Questa discussione si focalizza sulle tecniche di cancellazione "analogiche", che costituiscono l'approccio utilizzato per le cuffie oggi in commercio, citeremo d'ogni modo anche la cancellazione digitale. E' importante comprendere i principi fisici di quanto avviene, poiché non si tratta di un risultato semplice da ottenere. Come si vedrà, particolarmente quando si arriva ad elevati livelli di cancellazione, la necessità di precisione in ogni aspetto del progetto risulta fondamentale per l'idoneità del funzionamento.

Può sembrare strano aggiungere grandi quantità di "nuova" energia sonora nella coppa auricolare e nel condotto uditivo, ma è proprio così che funziona questo sistema attivo. Un microfono percepisce il profilo di frequenza ed ampiezza d'onda istante per istante all'interno della cavità della coppa, questo segnale viene elaborato ed amplificato dal circuito elettronico e l'altoparlante produce infine un segnale invertito di "antirumore" in grado di cancellare le onde sonore.



I limiti dell'entità di cancellazione ottenibile

Per ottenere una cancellazione efficace, il profilo del segnale invertito deve cadere all'interno dello spettro del rumore esistente. A bassi livelli di cancellazione, questo risultato è relativamente semplice da ottenere, ma più si cerca di cancellare e più è difficile

ottenere un risultato valido. Se il segnale di cancellazione risulta eccessivamente amplificato od in qualche modo distorto, il nuovo segnale cadrà parzialmente al di fuori del profilo del rumore di base, potrà quindi essere percepito come una "ulteriore" componente rumorosa! Inoltre, può insorgere una situazione di "feedback" (oscillazione o sibilo), qualora la fase ed il guadagno dell'antirumore non siano gestiti con attenzione.

Questo è quanto limita la quantità di cancellazione che una cuffia può fornire, cioè quello che i tecnici definiscono il "guadagno" del sistema. Questo guadagno deve essere attentamente tarato per assicurarsi che il sistema abbia una buona "stabilità", in altre parole che fornisca prestazioni costanti e non oscilli.

Ottenere prestazioni costanti ad elevati livelli di cancellazione non è cosa da poco, specialmente quando entrano in gioco le variabili dell'anatomia dell'orecchio esterno, dei diametri del capo, della conformazione della coppa auricolare, ecc. Tutto ciò concorre a far sì che la risposta alla domanda "Le cuffie "attive" funzionano tutte allo stesso modo?" sia un cortese ma documentato diniego.

Che cosa influisce sulle qualità della cancellazione attiva del rumore?

Abbiamo già visto quanto qualsiasi sistema di cancellazione attiva del rumore necessiti di tre componenti di base:

- un microfono che capti il rumore;
- un processore elettronico del segnale;
- un altoparlante antirumore;

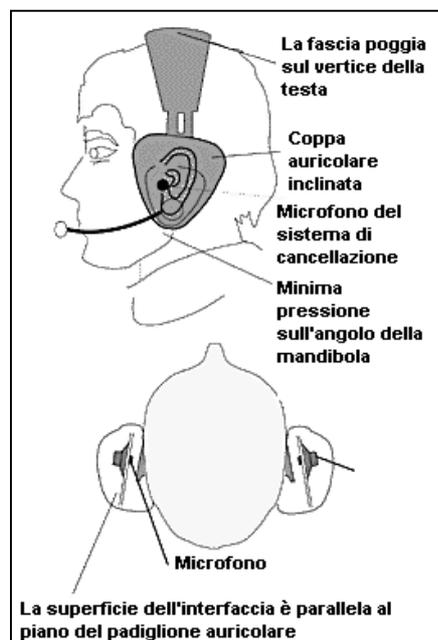
L'accuratezza del microfono che capta il rumore

Tanto per cominciare, se si vuole ottenere una cancellazione efficace, è necessario captare nel modo più accurato possibile il rumore all'interno della coppa auricolare. Quando parliamo di accuratezza, entrano in causa due fattori diversi:

Sensibilità e fedeltà: ovvero la qualità di come il microfono riproduce il suono che capta.

Correlazione: ovvero quanto il suono captato dal microfono corrisponda realmente a quello percepito dall'orecchio.

Il primo fattore (sensibilità e fedeltà) è importante, ma è un problema facile da risolvere perché esistono molti microfoni di buona qualità disponibili per essere utilizzati dai produttori. Il secondo fattore (correlazione) è invece la parte più difficile, se si vogliono inserire delle buone informazioni nel sistema di cancellazione. In poche parole, un sistema ideale dovrebbe cancellare il rumore esattamente all'interno



del canale uditivo esterno, non a livello di un microfono piazzato in qualche posto della coppa auricolare della cuffia. Se ovviamente non è possibile infilare un microfono all'interno dell'orecchio, una cuffia ben progettata può avvicinarsi all'assicurare che quanto captato dal microfono sia molto simile a quanto percepito dall'orecchio. Per ottenere un buon risultato, è importante conoscere alcuni dettagli sull'apertura dell'orecchio e sulla cavità acustica di cui ci stiamo occupando.

Esiste una coppa "sinistra" ed una coppa "destra" della cuffia?

Benché i padiglioni auricolari siano delle forme e delle misure più svariate, è statisticamente dimostrato quanto l'apertura (ovvero il meato acustico esterno) non sia simmetricamente "centrato" con la coppa ... è infatti spostato in avanti ed in basso rispetto al centro. La posizione del microfono deve adattarsi all'anatomia umana per

fornire prestazioni ottimali. Pertanto, prestazioni ottimali si otterrebbero solo se le coppe auricolari fossero realizzate "su misura", per adattarsi a padiglioni auricolari specifici (destri e sinistri). Si noti nel diagramma quanto le coppe siano inclinate e conformate per adattarsi meglio alle orecchie e quanto le staffe che reggono il microfono e l'altoparlante attivo siano ulteriormente angolate, per seguire meglio il profilo del padiglione nella coppa. L'attenzione prestata a questi dettagli ergonomici ed acustici migliora sostanzialmente sia la comodità che le prestazioni. (E' interessante notare quanto oggi molti produttori segnalino questa importante caratteristica nella documentazione tecnica, ovvero che, anche se possibile, le cuffie non devono essere mai indossate al contrario!)

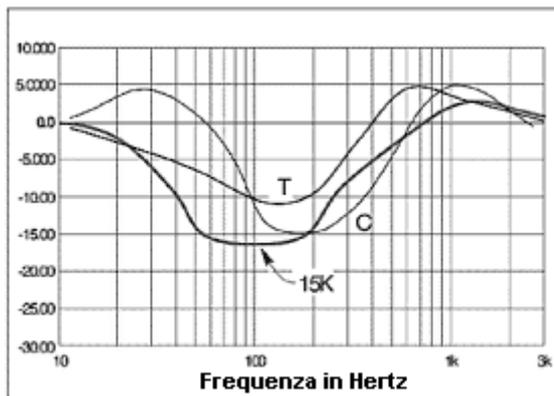
Qual è la posizione del microfono relativamente all'altoparlante ed al meato acustico?

La posizione del microfono è assolutamente condizionata dagli effetti che l'altoparlante attivo (driver) può esercitare su di esso. Se il microfono è direttamente sopra od accanto al driver, si otterrà un ciclo di cancellazione stabile e chiuso (probabilmente con buoni risultati) ma la cancellazione sarà sensibilmente inferiore a livello del meato acustico esterno! Molti dei dati di cancellazione "affermati" sulle pubblicità e sui documenti tecnici sono misurati al microfono ... non all'apertura dell'orecchio.

Ovviamente cosa si desidera è la maggiore cancellazione possibile all'interno dell'orecchio. Allora, senza scendere troppo nei dettagli tecnici, la posizione del microfono è la chiave del livello di cancellazione che si riuscirà ad ottenere. Questi non sono solo teoria e principi di acustica ... *si può davvero percepire una differenza* se nel corso della realizzazione della cuffia si è prestata attenzione a questi dettagli. Alla fine dei conti, non resta che confrontare diverse cuffie a riduzione attiva del rumore, provandole all'interno del proprio aeroplano!

La complessità del processore elettronico del segnale

Il segnale del microfono è avviato all'interno del circuito, dove viene amplificato ed "elaborato". Vi sarà una sostanziale differenza nella cancellazione fornita, a seconda del disegno della cavità acustica, della posizione del microfono e dei livelli di guadagno che il sistema potrà offrire. La prestazione effettiva può essere misurata e riportata in un grafico per confronto. Un simile profilo di prestazione, relativo a diverse cuffie, è riportato in questo grafico.



Si noti che il grafico riporta la frequenza e l'entità (espressa in decibel) della cancellazione. Le cuffie attualmente presenti sul mercato mostrano variazioni significative nell'efficacia di cancellazione. Ci occuperemo di questo grafico e di altri simili in maggior dettaglio nella seconda sezione di questa dispensa ... in modo che si possa iniziare a poter giudicare obiettivamente la comparazione delle prestazioni.

La complessità dei circuiti elettronici, degli amplificatori e dei filtri audio influisce notevolmente sulle prestazioni globali della cuffia. Le differenze possono essere percepite non solo nell'efficacia della cancellazione: il modo in cui il segnale audio viene elaborato influirà su quanto arriva realmente all'orecchio. Ad esempio:

Le comunicazioni audio ... ovvero ciò che proviene dalla radio e dall'interfono. I sistemi più semplici di riduzione attiva del rumore elaborano questi segnali insieme al rumore ambientale. Il risultato è che la componente in basse frequenze delle comunicazioni audio e radio vengano cancellate assieme al rumore. Questo causa il degradamento della risposta in frequenza, che risulta metallica ed innaturale. I sistemi più sofisticati elaborano separatamente il segnale ed il rumore di fondo, permettendo una fedele riproduzione dei segnali audio.

Il rapporto tra segnale e rumore ... ovvero quello che si desidera migliorare con i sistemi di riduzione attiva. Tutti i sistemi forniscono quantomeno un modesto miglioramento del rapporto segnale/rumore, nel momento in cui vengono ridotti i disturbi dovuti ad un forte rumore a bassa frequenza. Sistemi più sofisticati amplificano i livelli del segnale per migliorarne l'intelligibilità, producendo comunicazioni più chiare ... particolarmente per coloro che sono già portatori di un certo deficit uditivo. Questi sono entrambe esempi tangibili di reali differenze fra diverse cuffie a riduzione attiva di rumore. Si ricordi che ... "sentire" significa "poter capire"!

L'efficacia dell'altoparlante

Dopo aver captato il rumore ambientale all'interno della coppa auricolare (si spera in modo ben correlato all'apertura dell'orecchio) ed aver elaborato il segnale con adeguata fedeltà, il sistema deve produrre le "onde" sonore di cancellazione in modo efficace ed efficiente.

L'efficacia dell'altoparlante dovrebbe essere valutata in base a quanto il profilo d'onda prodotta segua il segnale captato dal microfono. Le lunghe "onde" a bassa frequenza sono le più critiche per la cancellazione del rumore tra 50 e 300 Hz, che è prevalente negli aerei con motori a pistoni. Una maggiore efficacia si traduce in una migliore cancellazione delle basse frequenze. Essendo la maggior parte dei decibel prodotti sugli aeroplani tra gli 80 ed i 120 Hz, c'è bisogno di cuffie che diano il meglio di sé appunto in quella parte dello spettro sonoro. Di questo si tratterà nelle sezioni successive.

L'"efficienza" dell'altoparlante si valuta in base all'energia richiesta per muovere avanti ed indietro la membrana per creare le "onde" di suono ... maggiore è l'energia necessaria per generare le onde, minore è l'efficienza. Siccome la maggioranza delle cuffie attive oggi in vendita è costituita da modelli portatili alimentati a batteria, l'efficienza dell'altoparlante è un elemento da tenere bene in considerazione. Una maggiore efficienza significa un minor consumo di energia, una maggior durata ed un minor volume delle batterie.

Molti piloti sono scoraggiati dal volume e dall'impaccio degli alimentatori esterni associati alle cuffie attive. Alcune delle cuffie in produzione sono munite di voluminosi alimentatori connessi a cavi separati, mentre altre hanno moduli d'alimentazione più piccoli, in linea con la connessione audio/phone. Altre cuffie (Pilot Avionics) utilizzano una batteria ricaricabile che si trova all'interno di una delle due coppe auricolari, pertanto non hanno bisogno di alcuna alimentazione esterna. Per ottenere un funzionamento maggiore di 30 ore, alcuni sistemi necessitano della carica di ben dieci batterie stilo, altri solo di due! Questa è una differenza considerevole e merita di essere valutata prima dell'acquisto di un apparato.

Qual è la differenza fra cancellazione analogica e digitale?

Prima di concludere questa sezione, merita accennare ad un nuovo tipo di tecnica di cancellazione che è recentemente apparso sul mercato, ovvero la cancellazione digitale. Mentre gli elementi di captazione e riproduzione del segnale sono inalterati, diverso è il modo in cui il segnale stesso viene "elaborato".

I sistemi analogici reinseriscono lo spettro completo che è stato captato con una fase inversa rispetto all'originale. I sistemi digitali, invece, campionano il rumore, lo analizzano, ne valutano il livello e quindi inseriscono una o più frequenze in grado di cancellare specifiche bande del rumore di base. Anche se non così efficace nel cancellare rumori molto complessi, questa tecnica è ottimale per cancellare frequenze specifiche ... come ad esempio la risonanza dell'elica.

Ancora un volta, la migliore ed unica via per capire realmente la resa di apparecchi diversi è quella di provarne in volo diversi modelli e quindi paragonarli tra loro.

Sezione 2: Fattori acustici.

Interpretare e paragonare le caratteristiche di modelli diversi

Nella Sezione 1 di questa dispensa sono state considerate le variabili e la complessità della cancellazione degli aspetti ripetitivi e casuali del rumore di un aeroplano. Si è spiegato che, sebbene i componenti basilari di tutti i sistemi di cancellazione siano abbastanza simili tra loro, i dettagli della loro realizzazione ed assemblaggio influiscano notevolmente sul risultato finale.

L'obiettivo di questa sezione è la misurazione della cancellazione del rumore ed il confronto fra prestazioni diverse. Si fa spesso riferimento alla quantità di cancellazione che una particolare cuffia è in grado di fornire. Come si è detto, il modo migliore per scegliere una cuffia attiva è quello di provare effettivamente vari modelli sull'aereo su cui si vola abitualmente. Non c'è tabella, grafico o descrizione di prodotto che valga quanto la prova in volo nel determinare la scelta della cuffia migliore. Purtroppo, spesso questo non è possibile, così si è obbligati a decidere l'acquisto in base alle informazioni fornite dai produttori, le recensioni dei prodotti che appaiono sulle riviste del settore e le raccomandazioni degli altri piloti.

Lo scopo di questa sezione è quella di fornire gli elementi necessari per formulare domande circostanziate e condurre un'analisi critica della cancellazione attiva e passiva che ci si può attendere da un particolare modello di cuffia attiva.

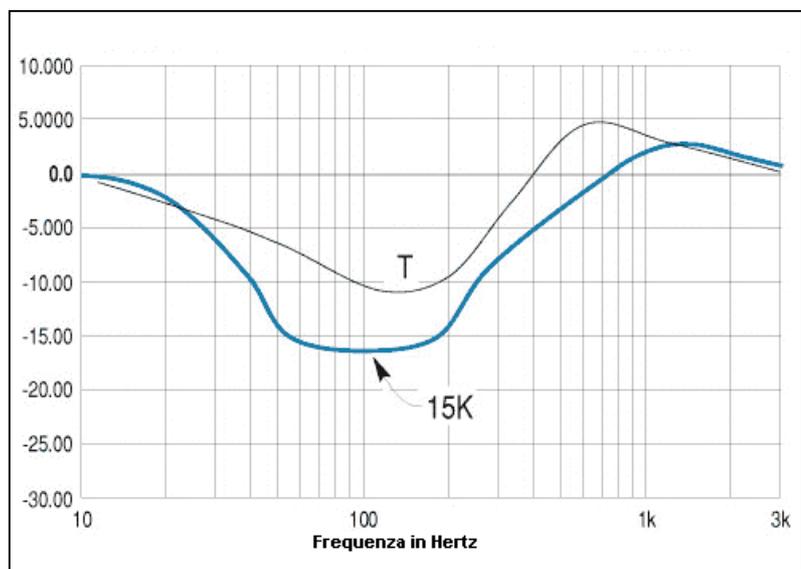
Il profilo di cancellazione

Tutte le cuffie attive sono in grado di cancellare un certo profilo di rumore. Questo profilo può essere riportato su di un grafico per evidenziare l'entità della cancellazione ed in che punto si manifesta nello spettro delle frequenze. Il processo di misurazione è relativamente semplice, ma richiede attrezzature e tecniche di laboratorio piuttosto sofisticate. Il test viene eseguito all'interno di una camera acustica chiusa e controllata. La cuffia viene montata su di un apparato in cui un microfono è posto all'interno di un "orecchio" artificiale, con lo scopo di percepire cosa sentirebbe il pilota. Vengono quindi immessi dei toni variabili tra 10 e 10.000 Hz ed il microfono registra il risultato. Il test viene eseguito due volte, una volta con il circuito di riduzione attiva spento ed una volta acceso. Le differenze fra la prima e la seconda serie indicano quanto è stato cancellato con l'attivazione del sistema. I risultati sono di solito rappresentati in forma di grafico, con le frequenze in Hertz (Hz) sull'asse orizzontale e la cancellazione in decibel (dB) negativi sull'asse verticale:

Ovviamente, cuffie differenti forniscono risultati diversi, in base a come sono stati gestite le variabili di cui si è parlato nella Sezione 1 di questa dispensa. Prima di fare qualsiasi paragone, parliamo degli attributi delle curve di cancellazione che caratterizzano ogni cuffia attiva. Queste includono:

La profondità: ovvero quanto è profonda la cancellazione nel suo punto più basso.

L'ampiezza: ovvero quanto sia largo lo spettro della frequenza di cancellazione.



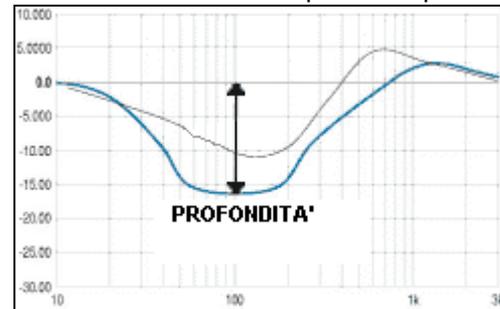
La posizione: ovvero su quale frequenza è centrato il profilo di cancellazione.

L'esaltazione: ovvero i punti nello spettro di cancellazione in cui la riduzione attiva del rumore fa effettivamente più male che bene (ossia, il rumore viene amplificato, piuttosto che cancellato). Ogni attributo descrive qualcosa sull'efficacia che ci si può attendere dalla cancellazione.

Profondità

La profondità della curva descrive il massimo livello di cancellazione che ci si possa aspettare. Normalmente questo è il dato di cancellazione attiva che il produttore evidenzia sulla pubblicità.

Di solito i dati sono forniti con un ambito di variazione tra 2 e 4 dB, in quanto le differenze nella sensibilità del microfono, nella calibrazione ed anche nelle caratteristiche fisiche del pilota esercitano comunque un modesto effetto sul risultato finale. E' molto importante sapere come siano state eseguite le rilevazioni della cancellazione.



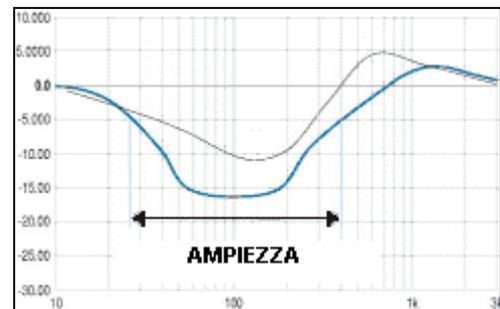
Alcuni produttori pubblicano dati di riduzione del rumore che non sono state misurate "all'orecchio", ma piuttosto a livello del microfono del sistema attivo. Ricordate dalla Sezione 1 di questa dispensa quanto i sistemi di cancellazione migliori pongano il microfono in modo da ottenere una correlazione ottimale con la posizione del meato acustico esterno, ma questa correlazione non è mai perfetta. Ad esempio, il modello "T" nel grafico denuncia 14-16 dB di cancellazione, ma di questi solo 11 dB all'orecchio. Siccome la pressione acustica raddoppia all'incirca ogni 3 dB, questa differenza risulta abbastanza significativa la si può probabilmente spiegare con la diversa modalità di rilevamento adottata.

Ampiezza

Ci occupiamo ora della gamma globale di frequenza che viene cancellata elettronicamente.

Considerata la sensibilità dell'orecchio a piccole variazioni in dB, una cancellazione superiore ai 5 dB inizia ad essere significativa.

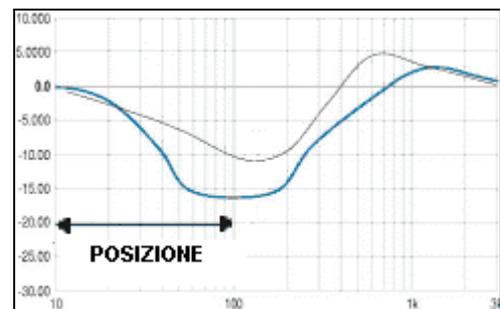
Quando combinata con la "profondità", queste due misure costituiscono il "totale" della cancellazione che il sistema può fornire.



Posizione

Si può notare nel grafico quanto una cuffia possa cancellare maggiormente le basse frequenze rispetto ad un'altra. Mentre ogni aeroplano possiede le sue particolari caratteristiche di rumore, ci sono alcune cose in comune che si possono riferire a tutti i monomotori a pistoni.

La parte più consistente dello spettro del rumore è generato dalla frequenza risonante dell'elica. Per motori a presa diretta, che raggiungono i 2 400 - 2 700 giri. questo accade a 80 - 90 Hz per eliche bipala e 120 - 130 Hz per eliche tripala. In questo specifico punto dello spettro il rumore raggiunge il suo massimo volume.

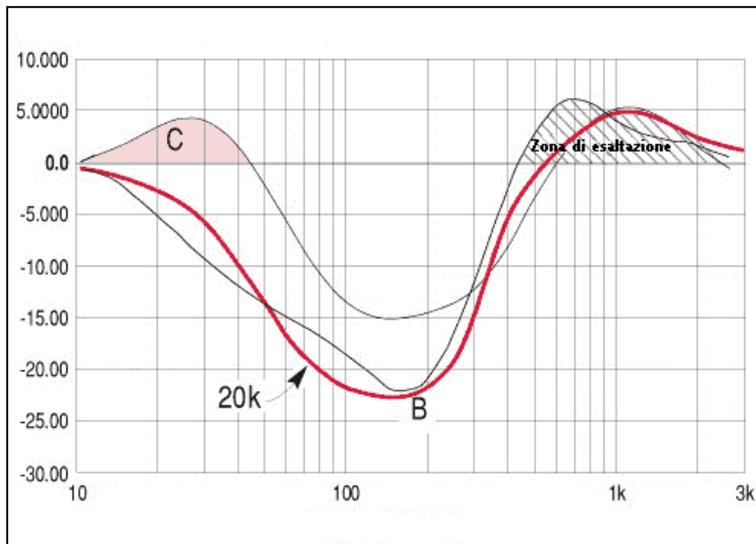


L'involuppo globale del rumore nella cabina di questi aeroplani raggiunge il suo massimo da 40 Hz a 250 Hz, pertanto questo è l'ambito in cui la cancellazione è più importante. Il livello del rumore a 500 Hz è tipicamente almeno 10 dB più basso di quello a 100 Hz.

La terza parte di questa dispensa considera approfonditamente gli spettri del rumore degli aeroplani e come questi "interagiscano" con le prestazioni attive e passive delle cuffie. Per ora è sufficiente capire semplicemente che i rumori più forti sono alle frequenze più basse. Pertanto, la "posizione" di un profilo di cancellazione posta fra gli 85 ed i 130 Hz dovrebbe risultare la più efficace a bordo del tipico aereo con motore a pistoni.

Esaltazione

Questa è l'ultima caratteristica evidente nei profili di cancellazione e, probabilmente, quella meno valutata dai futuri acquirenti di una cuffia attiva.



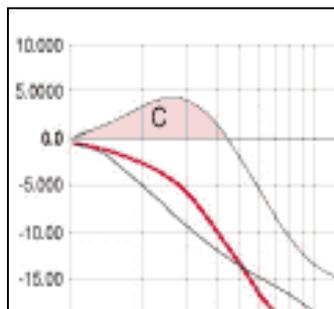
L'esaltazione consiste in un segnale controfase amplificato creato dal sistema attivo che non trova correlazione nel rumore ambientale di base. In breve, rappresenta le "schegge impazzite" del segnale elettronico "antirumore" che viene introdotto nella coppa auricolare. E' presente in qualche forma in tutte le cuffie attive, per le seguenti ragioni (per seguire il ragionamento si segua il grafico dei profili di cancellazione qui sopra).

La fisica delle onde sonore e delle cavità acustiche fa sì che la cancellazione divenga più difficile man mano che la frequenza aumenta. Ciò è causato dalla brevità della

lunghezza d'onda alle alte frequenze, in relazione alla distanza fisica tra il microfono di captazione e l'altoparlante antirumore. Il grafico mostra questo fenomeno riferito a cuffie diverse, tutte con ridotta efficacia di cancellazione al di sopra dei 300 Hz. Tanto più profonda è la cancellazione a 100 Hz, quanto più rapida è la caduta del profilo tra i 300 ed i 600 Hz. Questa caduta repentina rende difficile evitare alcune "schegge impazzite" del rumore di base.

L'esaltazione è controproducente?

Anche se non disastrosa, è sempre desiderabile averne il meno possibile. Come in tante altre cose, bisogna scendere ad un compromesso tra il livello di esaltazione e le capacità globali di cancellazione. Sfortunatamente, le due situazioni vanno di pari passo. Questo spiega perché le migliori cuffie attive spesso patiscano i maggiori effetti di esaltazione. Tutto sommato, la migliore efficacia di cancellazione mette in secondo piano l'effetto collaterale per almeno due ragioni:



Di solito, i livelli di dB esaltati sono relativamente bassi (3-6 dB) mentre la cancellazione aggiuntiva alle basse frequenze è nettamente maggiore. La reale quantità di rumore esaltato (area ombreggiata sotto la curva) è abbastanza piccola se paragonata con la totalità del rumore cancellato.

L'esaltazione avviene generalmente a frequenze più elevate, attorno ad 1 kHz, dove le cuffie di solito si giovano di una significativa attenuazione passiva e dove la maggioranza degli aeroplani producono relativamente meno rumore da affrontare. L'effetto risultante è ancora una riduzione del rumore anche a queste alte frequenze ... solo un tantino inferiore!

L'unica eccezione è l'**esaltazione a bassa frequenza**, come quella descritta nel grafico per la cuffia "C". Questo modello è in grado di fornire meno di 5dB di protezione passiva a 40 Hz, pertanto il rumore addizionale introdotto dal circuito di attenuazione potrebbe risultare maggiormente percepibile a queste frequenze.

Congratulazioni! Ora siete in grado di interpretare i profili di cancellazione delle cuffie attive meglio del 99% dei piloti (senza contare i sedicenti esperti di avionica). Ovviamente questi dati possono essere utilizzati per paragonare attentamente le prestazioni di differenti modelli solamente se i dati riferiti scaturiscono da test eseguiti secondo gli stessi standard. Le variabili in gioco, come la posizione del microfono, la sensibilità e la conformazione del sostegno possono modificare sostanzialmente i risultati ottenuti. Di nuovo, il metro di giudizio definitivo sono le orecchie dei piloti ... che comparano cuffie diverse in aerei differenti!

Cancellazione "totale": ovvero come non si possano sommare "mele ed arance"

Non si può esaurire questo argomento senza far cenno ad un concetto talora assai fuorviante: la cosiddetta "cancellazione totale". Ci si riferisce alla pratica commerciale di aggiungere alcune rilevazioni o rivendicazioni di cancellazione passiva ai profili di cancellazione attiva che si sono appena discussi.

Questa pratica, sovente adottata nella pubblicità, è imprecisa e fuorviante per molte ragioni. Per capire il perché di questo, è necessario interpretare prima le misurazioni normalmente eseguite per valutare i sistemi di protezione passiva e come questi interagiscono con il rumore dell'aereo.

La misurazione dell'attenuazione passiva

C'è tuttora un dibattito aperto su quanto questi standard di misurazione si adattino all'ambiente di una cabina d'aereo. Queste valutazioni sono state infatti sviluppate per applicazioni protezionistiche in ambito industriale, dove lo spettro sonoro è più ricco in alte frequenze ed intermittente o costituito da picchi ripetuti, come in un'officina meccanica. Il modo in cui il rumore è stato misurato influisce sulla differente rilevanza delle frequenze nella valutazione degli effetti del rumore sull'apparato acustico degli operatori. Il

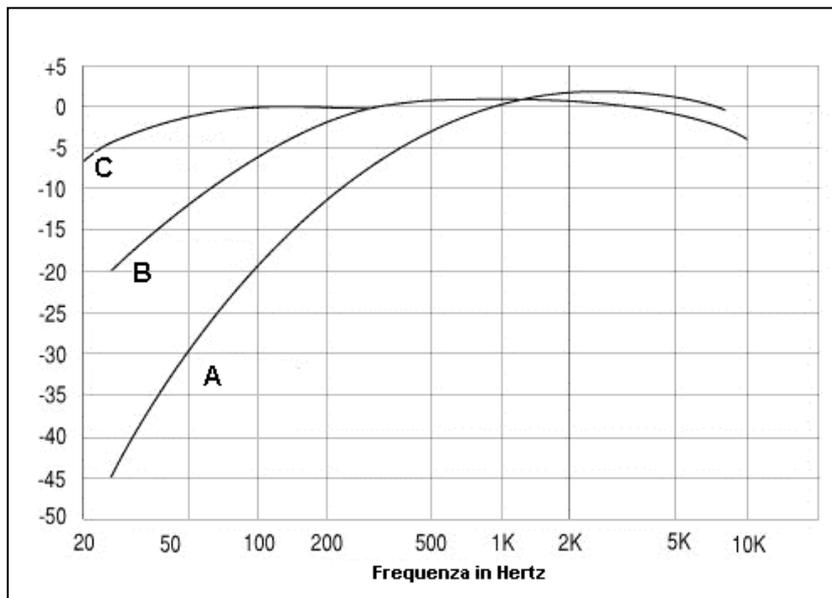


grafico sottostante rappresenta le curve "dell'effetto equivalente" per diversi spettri di rumore.

Le protezioni acustiche (cuffie incluse) sono generalmente adattate alla curva calibrata di rumore definita con "A". Come si può vedere, tale curva è notevolmente influenzata dalle frequenze tra 1 e 4 kHz, ambito in cui l'orecchio umano necessita di essere maggiormente protetto. Infatti, per caratteristiche anatomo-fisiologiche, l'orecchio umano può tollerare circa 20 dB di rumore in più a 100 Hz senza danno rispetto ad un rumore di 1000 Hz. Per questa ragione la curva "A" incrocia i 100 Hz a circa -20 dB. La curva "A" di

riduzione del rumore "sconta" il rumore a 100 Hz dei 20 dB nel calcolo della protezione acustica.

Il problema per i piloti è quello di non trovarsi in officine meccaniche, ma nelle cabine degli aerei, dove invece abbonda il rumore a 100 Hz, con livelli spesso di 25-30 dB superiori rispetto alla componente a 1000 Hz. Il danno acustico è senza dubbio maggiormente legato alle alte frequenze, ma anche i livelli di

decibel a bassa frequenza spesso contribuiscono in modo significativo alla perdita di udito cui vanno incontro i piloti che non adottano protezioni acustiche. Livelli eccessivi di basse frequenze esercitano inoltre un indubbio effetto sulla comprensibilità del discorso ed un impatto psicofisico, di cui si parlerà nelle sezioni 3 e 4 di questa dispensa. Pertanto, le stime della curva "A" non sono idonee a valutare l'entità di protezione nella cabina di un monomotore.

Dati reali di riduzione passiva nelle cuffie attive

Anche se la riduzione passiva può essere presa come riferimento, peraltro utilizzando un mix di frequenze più appropriato allo spettro del rumore della cabina, sorge un problema quando si utilizzano questi dati per le cuffie attive. Non risulta che alcun produttore renda noti dati di riduzione passiva relativi alle proprie cuffie attive.

Quando delle cuffie "nate" come passive sono "trasformate" installando un circuito di riduzione attiva del rumore, si potrebbe sottintendere che la cancellazione attiva vada semplicemente a sommarsi all'attenuazione passiva originaria. D'ogni modo, i principi fondamentali dell'acustica spiegano quanto l'attenuazione passiva si riduca quando si inserisce il circuito attivo, che occupa spazio all'interno della coppa auricolare. La documentazione dei più recenti kit di conversione evidenzia in genere questo fatto con sufficiente chiarezza.

La riduzione passiva non si può sommare a quella attiva!

La riduzione passiva è un dato basato su rilevazioni della cancellazione eseguite ad otto frequenze diverse, tra i 125 Hz e gli 8 000 Hz. I risultati variano tipicamente da circa -10 dB fino ad oltre -30 dB, dunque entro un ambito relativamente ampio. Il risultato, che è costituito da un solo numero, dovrebbe essere in grado di fornire una stima sommaria di cancellazione su di uno spettro di rumore molto largo, ponderato in base alle necessità di protezione, come sopra discusso.

Per contro, i dati relativi alla cancellazione attiva sono normalmente riferiti come "picchi" di attenuazione ad una specifica frequenza, laddove l'attenuazione raggiunge il suo massimo. Se si somma il dato dell'attenuazione passiva con il dato della protezione attiva relativo ad una singola frequenza, si ottiene una ... assurdità! I dati non possono essere semplicemente sommati in modo valido.

Allora, come si può giudicare quale sia la cuffia attiva maggiormente efficace?

Essendo arrivati fino a qui, si conosce già la risposta. Si confrontino i profili di cancellazione attiva delle cuffie, prestando attenzione a che siano stati rilevati con tecniche omogenee. Si badi alla profondità, all'ampiezza ed alla posizione dello spettro di cancellazione. Si badi anche ad eventuali aree in cui si verifica una esaltazione, specialmente alle basse frequenze, dove è maggiormente percepibile.

Quindi, quando si è stilata una breve lista delle cuffie "candidate", si cerchi di provarle effettivamente in volo in modo da poter valutare le prestazioni, la comodità e le caratteristiche favorevoli di ogni modello. In ultima analisi, il sistema di rilevazione definitivo è la vostra testa all'interno della cabina del vostro aereo!

Sezione 3: fattori dipendenti dall'aeroplano

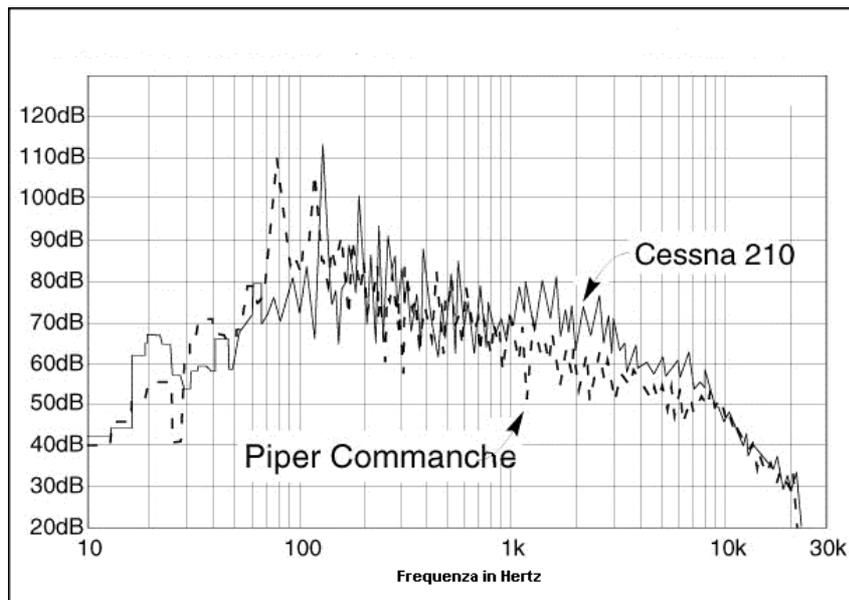
Le reali caratteristiche del rumore a bordo ed il ruolo delle cuffie aeronautiche

Nella seconda parte di questa dispensa, si è detto di come si possa valutare in laboratorio l'efficacia dei sistemi di cancellazione del rumore. Ma, siccome non si vola in un laboratorio, si sposterà ora l'interesse sui reali spettri di rumore in vari aeroplani, per focalizzare quale tipo di rumore ambientale si stia cercando di cancellare e di quanto questo costituisca una seria minaccia all'apparato acustico.

Ovviamente, si desidera che le cuffie aeronautiche cancellino più efficacemente il rumore nelle aree dello spettro dove risulta maggiormente fastidioso! Consideriamo allora i reali profili di rumore nelle cabine dei monomotori a pistoni e vediamo come si comportano le cuffie ad attenuazione passiva od attiva.

Profili di rumore

Iniziamo a valutare alcuni reali dati dettagliati sul rumore di due aerei differenti. Qui sotto sono rappresentati i dati rilevati in volo su un Cessna 210 ed un Piper Comanche.



Avendo analizzato gli spettri di rumore di dozzine di aeroplani diversi, sappiamo che i profili di questi due velivoli sono rappresentativi di quasi tutti i modelli di monomotore. Il rumore generato dall'elica e le sue frequenze risonanti (armoniche) costituiscono la parte più consistente dello spettro acustico.

Il Comanche ha un'elica bipala che genera un picco di rumore a circa 80 Hz, mentre il Cessna 210 ha un'elica tripala con un picco di rumore attorno ai 120-

130 Hz. Il motore, gli scarichi ed il vento relativo aggiungono la maggior parte del resto del profilo di rumore. Ovviamente la potenza del motore, l'aerodinamica e molte altre caratteristiche progettuali contribuiscono al reale profilo di ogni specifico velivolo.

Mentre questi due aerei appaiono diversi sotto molti punti di vista, vi sono due caratteristiche generali che risultano evidenti:

1. Vi è molto rumore alle basse frequenze ... tra i 70 ed i 300 Hz.
2. Il livello del rumore si riduce andando verso le alte frequenze ... particolarmente oltre i 500 Hz.

Entrambe queste caratteristiche sono assai confacenti all'utilizzo della cancellazione attiva per una ottimale riduzione del rumore. Si ricordi dalla sezione 2 che la cancellazione attiva si comporta bene solo

alle basse frequenze ... non producendo alcuna sensibile riduzione in dB a frequenze superiori ai 500 Hz. Si ricordi inoltre che i sistemi attivi richiedono alcuni compromessi nella attenuazione passiva per poter installare i componenti all'interno delle coppe auricolari. Pertanto, non sono altrettanto efficaci nel bloccare il rumore a frequenza elevata.

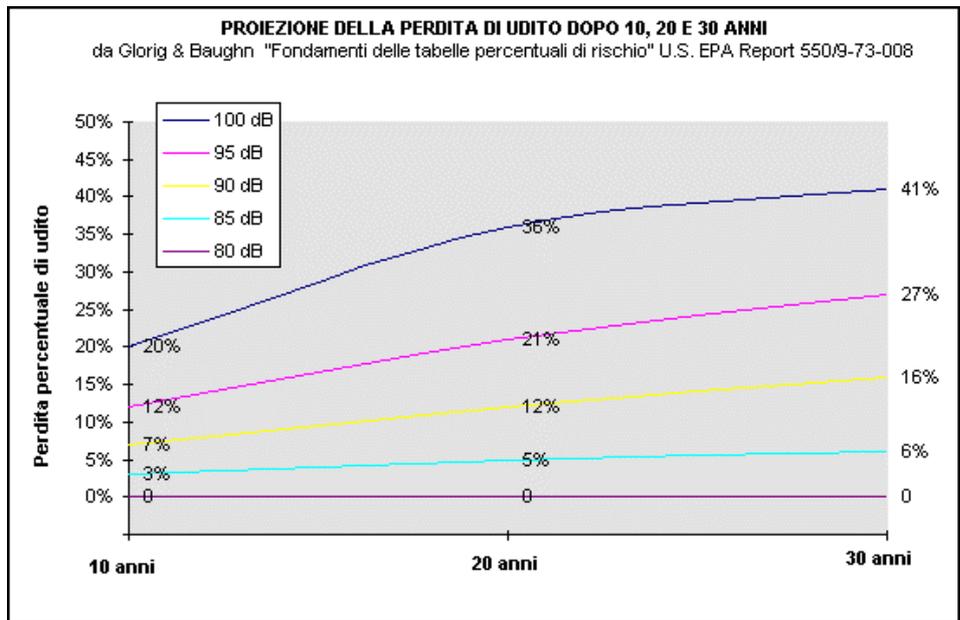
Ma non è più importante proteggersi dalle alte frequenze?

Questo dipende sia dal livello del rumore che dalla durata dell'esposizione. Nella sezione 2 si sono considerate le misurazioni dell'attenuazione passiva pesate secondo i profili "A" e "C". Si è concluso che elevati livelli di rumore a bassa frequenza possano essere più dannosi che quelli ad alta frequenza. Come si può notare dal grafico dello spettro di rumore dell'aereo, in un aereo con motore a pistoni ci sono di solito 20-30 dB di rumore in più a 100 Hz che a 1 000 Hz.

Di solito i piloti si interessano al danno acustico ed a "salvare il salvabile". Questo è il motivo principale che li spinge all'acquisto di una nuova cuffia. L'esposizione prolungata al rumore esercita una varietà di effetti sul fisico e sulla psiche, che condizionano costantemente la capacità di pilotare un aereo in sicurezza (la sezione 5 di questa dispensa tratterà questi fattori in maggiore dettaglio). Per ora, è sufficiente constatare che le cuffie a riduzione attiva del rumore creano un ambiente più tranquillo ed al tempo stesso più sicuro per le orecchie del pilota.

Cosa conosciamo sulla perdita di udito

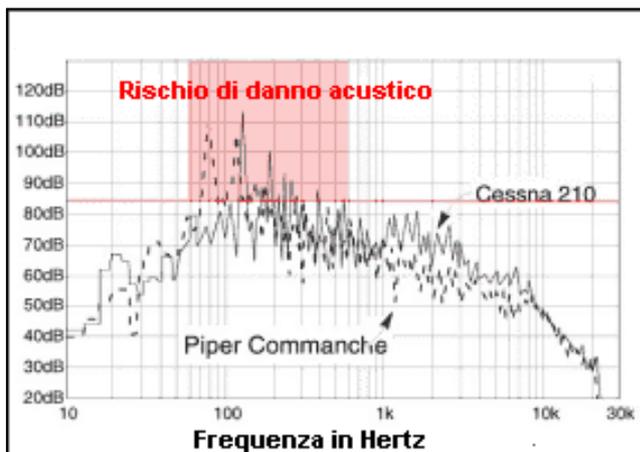
I dati sulla perdita di udito sono piuttosto semplici da comprendere e sono stati studiati a fondo. Qui sotto sono raggruppati i dati emersi da studi scientifici sulla correlazione tra rumore e durata di esposizione al medesimo.



Questi dati sono stati stimati considerando un'esposizione ad un dato livello di rumore per otto ore al giorno, cinque giorni la settimana. Non c'è da stupirsi che il rischio di danno acustico sia proporzionale alla durata dell'esposizione. Ma il dato più interessante ad emergere è che **non si prospetta alcun danno se l'esposizione è ad 80 dB per otto ore al giorno ed anche 85 dB sono in grado di causare un danno**

meramente simbolico. Il danno vero inizia a svilupparsi con esposizioni prolungate a livelli di rumore superiori ai 90 dB.

Abbiamo visto come sugli aerei ad elica, un rumore di questa intensità si registra solo alle basse frequenze. Va quindi da sé l'importanza di attenuare le frequenze più basse.



Perché la riduzione attiva del rumore è così efficace sugli aerei

Una delle ragioni per cui la cancellazione attiva è così efficace sugli aerei è semplicemente questa: l'abbondanza di rumore a bassa frequenza. Il grafico sottostante rappresenta lo spettro del rumore in decollo di un Cessna 172RG Cutlass, attenuato passivamente. Il profilo è simile a quello degli aerei considerati in precedenza.

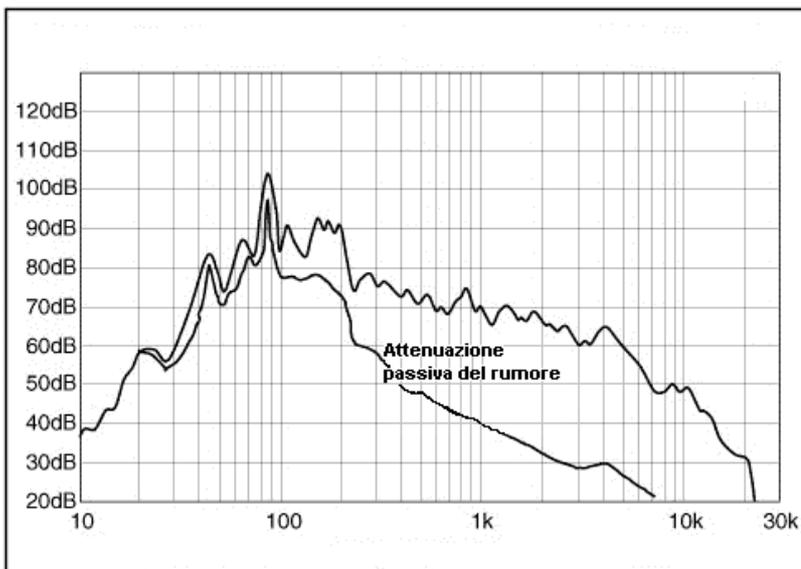
La linea inferiore rappresenta l'attenuazione che ci si può attendere da una tipica cuffia passiva. Si noti la scarsità della riduzione a 100 Hz ed il

significativo miglioramento che si ottiene alle alte frequenze. Anche se c'è una sostanziale riduzione a 1000 Hz, alle basse frequenze si è ancora esposti a livelli ben superiori agli 80 dB.

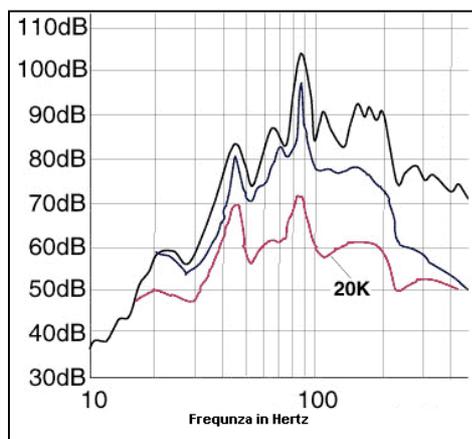
Come si è visto, la protezione acustica passiva è molto efficace dove c'è meno rumore, oppure dove la componente predominante è alle alte frequenze. Questa non è la soluzione ideale per l'ambiente acustico di un aereo.

Si paragoni il risultato precedente con la protezione offerta da una buona cancellazione attiva alle basse frequenze.

Questo è un "primo piano" dello stesso spettro di rumore del Cutlass focalizzato solo sull'area delle basse frequenze. La linea rossa mostra l'attenuazione addizionale fornita dalla cancellazione attiva installata su una tipica cuffia passiva. Si tratta di una riduzione molto ben percepibile.



Si consideri comunque che con le cuffie attive la riduzione alle alte frequenze è solo modesta. Questo è in genere un buon compromesso perché il livello del rumore residuo in cabina è già molto basso ... molto al di sotto dei livelli che possono causare un danno.



Allora, a che punto siamo arrivati?

Ora si dovrebbe aver capito bene a che livelli ed a che spettro di rumore siano esposti i piloti. Le componenti di bassa frequenza a decibel elevati non vengono efficacemente rimosse da una tradizionale cuffia passiva. Per contro, la cancellazione attiva è progettata specificatamente per ridurre questa porzione dello spettro sonoro e ricondurlo ben al disotto della soglia del danno fisico. Tutto ciò crea un ambiente più tranquillo, sicuro e più rilassante da usufruire nelle ore di volo.

Nella prossima sezione sposteremo l'attenzione dal rumore alla comodità. E' difficile trovare un pilota che non desideri avere una cuffia più comoda. Ma fino all'introduzione delle cuffie a

riduzione attiva di rumore, i termini "cuffia" e "comodità" non erano mai facilmente conciliabili! Nella prossima sezione si focalizzeranno i fattori ergonomici che incidono sul livello di comodità di una cuffia. Si prenderà in considerazione la vasta gamma di variabili che rende la realizzazione di una cuffia comoda un'impresa simile alla ricerca del Santo Graal! Ci si occuperà anche di caratteristiche come il volume delle batterie, i controlli e gli accessori che influiscono sulla facilità di impiego.

Sezione 4: caratteristiche ergonomiche e di interfaccia

In questa sezione ci si occuperà della comodità e dei fattori fisici associati con le cuffie a riduzione attiva del rumore. Le caratteristiche anatomiche della testa richiedono una vasta gamma di aggiustamenti per consentire la comodità nell'utilizzo prolungato.

Ottimizzazione delle caratteristiche fisiche per l'uso del pilota

I piloti attivi hanno sempre cercato di rendere il volo più confortevole, ma, come si vedrà, progettare una cuffia comoda non è affatto semplice. Mentre la cancellazione attiva certamente aiuta a sentirsi più rilassati durante le ore passate in volo, si è ancora infastiditi da elementi fisici quali pressione, peso e temperatura.

Per molti aspetti, queste caratteristiche di comodità si applicano a tutte le cuffie, non solo a quelle attive, ma i fattori umani sono certamente più complessi per queste ultime. La riduzione attiva del rumore impone ulteriori limiti nella progettazione della coppa auricolare e del cuscinetto. Inoltre, i circuiti elettronici di cancellazione necessitano di energia, nella maggior parte dei casi fornita da un alimentatore portatile. Le dimensioni ed il peso di questi alimentatori può costituire un fattore di scelta per il pilota, come varie altre caratteristiche disponibili nei nuovi modelli disponibili sul mercato.

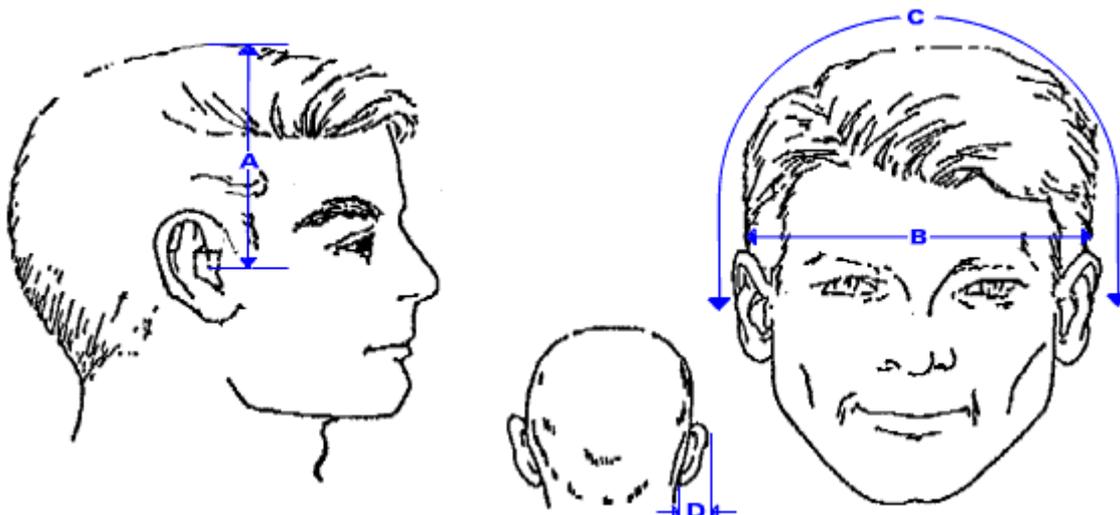
Una cuffia comoda ... ovvero la ricerca del Santo Graal!

La comodità è un'aggiunta relativamente recente alla lista dei desideri del pilota. Un tempo, la protezione delle orecchie e la comunicazione a mani libere costituivano le principali ragioni dell'uso di una cuffia. Le caratteristiche progettuali delle cuffie maggiormente diffuse erano improntate ad una ottimale riduzione passiva del rumore. Dovevano risultare soddisfatte esigenze di tipo militare, pertanto relative a situazioni di rumore spesso più severe di quelle che si incontrano nell'Aviazione Generale.

Con l'evoluzione delle esigenze e dei materiali, sono state introdotti alcuni cambiamenti per ridurre il peso e migliorare il comfort, anche se queste modifiche evolutive hanno fatto poco per rendere più comode queste cuffie di tipo classico.

Perché è così difficile progettare una cuffia ergonomicamente accettabile?

E' evidente che vi sia una sostanziale variabilità nelle misure e nella conformazione anatomica della testa. Il grafico sottostante è derivato dagli standard ergonomici militari per la misura della testa. Si confrontano le differenze per uomini e donne, relative ad un intervallo tra il 5 ed il 95 % della popolazione, vale a dire la quasi totalità degli individui.



Le misure di una cuffia devono quindi auspicabilmente rientrare in questo ambito di variabilità per quanto riguarda la larghezza e l'altezza della testa, oltre alla posizione dell'orecchio:

Misura		5° percentile	95° percentile	Variabilità
A	Altezza dell'orecchio	11,6 cm	14,4 cm	2,8 cm
B	Larghezza della testa	13,5 cm	16,5 cm	2 cm
C	Circonferenza della testa	31,3 cm	37,8 cm	6,5 cm
D	Sporgenza dei padiglioni auricolari	1,3 cm	2,8 cm	1,5 cm

Come si può vedere, la sfida di ottenere un prodotto adattabile ed al tempo stesso comodo è veramente ardua. Il disegno classico si basa sulla modulazione della pressione laterale per compensare le variazioni di larghezza. L'arco metallico possiede alcune regolazioni per adattarsi alla circonferenza del capo, ma non vi sono regolazioni per adattarsi alla diversa protrusione dei padiglioni auricolari. Nell'analizzare il progetto di una cuffia versatile, i fattori da valutare sono appunto la misura e la pressione laterale.

Adattabilità

Ovviamente la cuffia si deve adattare alle misure del capo nel momento in cui la si indossa. Si noti la variabilità della larghezza della testa (più di 2,5 cm) o della posizione delle orecchie ai lati di una testa "media". La circonferenza del capo fa sì che l'arco debba consentire ampi aggiustamenti in lunghezza, per estendersi dei 6,5 cm richiesti, il che è veramente molto. Per contro, le donne ed i bambini hanno bisogno di stringere l'arco per adattarlo alle loro teste più piccole. Inoltre molti piloti sono uomini con misure di cappello ragguardevoli! E' sorprendente vedere quanti tipi di cuffie disponibili non siano in grado di adattarsi a tutta questa variabilità di misure.

La comodità nell'uso prolungato

Ma per la maggioranza degli utilizzatori, il "problema comfort" non è quello di sentirsi la cuffia bene addosso quando la si è appena indossata, ma il fatto che inizi poi inesorabilmente a far male dopo poco

tempo. Chi vola per lunghe tratte ben sa che il concetto di comodità varia notevolmente dopo 1, 2 o 4 ore di volo.

Senza entrare troppo nei dettagli anatomici, cerchiamo di capire il perché di questo. La testa non è generalmente rivestita da molto tessuto sottocutaneo (pannicolo adiposo) ed inoltre è molto vascolarizzata, vale a dire che vi è molto sangue che scorre sotto i sottili piani superficiali. La zona attorno alle orecchie è particolarmente ricca in strutture vascolari. Quando si indossa una cuffia, la testa tende ad diventare sensibile ed "affaticata" dalla pressione costante con lo sviluppo di tipici punti dolenti.

Questi "punti caldi" sono in effetti zone in cui il flusso del sangue è stato ridotto dalla pressione fino a causare dolore. La combinazione tra scarsità di pannicolo adiposo ed elevato flusso ematico rende quindi la testa ipersensibile alla pressione.

Considerato ciò, un particolare valore deve essere attribuito alla "uniforme" distribuzione del peso ... sia sulla calotta che tramite la compressione delle coppe auricolari sulle orecchie. Rendere una cuffia globalmente più leggera è una buona cosa, ma in effetti la variabile più importante in funzione della comodità è la distribuzione del peso. Una cuffia più pesante, ma munita di cuscinetti che distribuiscano il peso su di un'area più grande, sarà certamente più confortevole di una cuffia più leggera, ma che tende a concentrare il peso sul vertice del capo.

Questo risultato viene perseguito con un opportuno disegno radiale della fascia ed un'imbottitura efficace. In sintesi, la comodità di una cuffia dipende parecchio dal progetto globale e dalla sua "interfaccia" con il capo, ovvero il modo con cui si adatta alla forma della testa e delle orecchie.

L'importanza dei cuscinetti auricolari

Il disegno dei cuscinetti auricolari è probabilmente l'aspetto più importante del comfort di volo nel suo insieme. La misura, la forma ed il materiale prescelto influiscono tutti sulla comodità della cuffia, oltre alla sua capacità di riduzione del rumore, sia in modalità passiva che attiva. Bisogna notare quanto vi siano molti aspetti "particolari" da considerare nella progettazione di una coppa auricolare confortevole.

Idealmente, il padiglione dovrebbe risultare libero all'interno della cavità ... senza essere compresso da alcun elemento del cuscinetto o del sistema audio. Questo influisce direttamente sulla misura, forma e costruzione della coppa:

Orientamento dell'apertura della cavità: come evidenziato nella Sezione 1 di questa dispensa, un orientamento ed una conformazione corretti aiutano ad isolare il padiglione dal cuscinetto della coppa. Molti piloti hanno l'abitudine di inclinare le coppe "ovali" all'indietro per meglio allinearle con le proprie orecchie.

Profondità della cavità: si noti sulla precedente tabella la variabilità di 1,5 cm nella sporgenza dei padiglioni auricolari, che deve essere compensata sia dal cuscinetto che dalla profondità della coppa.

Volume e temperatura nella coppa: una maggiore profondità aiuta anche a mantenere l'orecchio più fresco ... ovvero la disponibilità di una maggiore quantità d'aria che si riscalda più lentamente. Il materiale impiegato per ricoprire il cuscinetto auricolare dovrebbe idealmente essere traspirante, per minimizzare l'umidità e l'accumulo di sudore attorno all'orecchio. Per questa ragione, in genere le dimensioni maggiori risultano migliori, se si ricerca la comodità dell'orecchio.

Ovviamente si desidera che il cuscinetto auricolare racchiuda una cavità silenziosa e comoda al tempo stesso. E' evidente che si debba scendere ad un compromesso tra il comfort ottimale ed il raggiungimento della massima attenuazione passiva possibile. Consideriamo ora materiali diversi utilizzati per i cuscinetti per riconoscerne i pregi ed i difetti di ciascuno.

Materiale del cuscinetto	Proprietà di attenuazione	Capacità di adattamento	Necessità di pressione laterale	Peso	Volume relativo
Gel di silicone	Ottima	Scarsa	Elevata	33 g	100%
Liquido	Molto buona	Ottima	Media	17 g	25%

Schiuma/Liquido (Gelflo)	Buona	Buona	Media	17 g	70%
Schiuma termosensibile	Buona	Molto buona	Bassa	14 g	150-200%

Si noti che i materiali migliori per bloccare il rumore sono il liquido ed il silicone. Il liquido si adatta certamente meglio ad una superficie irregolare (come la superficie laterale della testa!) ma necessita di una discreta pressione laterale. A causa dell'orientamento verticale ... il liquido tende a ristagnare nella parte inferiore, finché la pressione laterale risulta adeguata a "spremerlo" uniformemente all'interno della cavità cuscinetto. Il silicone risulta maggiormente idoneo, poiché mantiene la sua forma. La schiuma/liquido e la schiuma termosensibile non possiedono una densità tale da assicurare una ottimale attenuazione passiva.

Dal punto di vista della comodità, i cuscinetti in gel di silicone possono non costituire la scelta migliore. Si tratta di un materiale denso, che non si adatta alle numerose variazioni del profilo della regione temporal-occipitale della testa, se non sotto una pressione relativamente elevata rispetto agli altri materiali. Il silicone fornisce un adeguato volume relativo ma è abbastanza pesante ... il doppio degli altri cuscinetti! I cuscinetti liquidi forniscono un volume di cavità molto basso e necessitano di una pressione laterale intermedia per garantire una buona tenuta.

La schiuma termosensibile risulta quindi vincente per quanto riguarda l'adattabilità, la necessità di una bassa pressione laterale ed il volume della cavità. I vantaggi si apprezzano particolarmente quando si portano gli occhiali, poiché l'adattabilità aiuta a minimizzare la pressione delle stanghette sulle tempie! Tutte queste caratteristiche si traducono in una cuffia più confortevole.

Come si è già più volte detto, il metodo migliore e più sicuro per determinare la comodità di una cuffia è quello di provarla in volo.

Che relazioni ha tutto ciò con le prestazioni di attenuazione attiva del rumore?

Il comfort e l'adattabilità non hanno di per loro molto a che vedere con la cancellazione attiva, mentre risulta più importante la duttilità del cuscinetto auricolare. Si ricordi nella Sezione 1 la discussione sulla necessità di una cavità acustica stabile per ottenere la massima cancellazione. Anche più che una cuffia passiva, un cuffia attiva necessita una "tenuta acustica" perfetta. Questo non vuol significare la stretta di una morsa, ma una buona aderenza al profilo del capo è necessaria per ottenere un'adeguata cancellazione. Si provi a staccare dal capo il cuscinetto di una cuffia attiva e si sentirà che il sistema diventa instabile ed inizia ad oscillare.

In particolare, quando i coefficienti di cancellazione attiva sono elevati è importante che la cavità acustica sia stabile, senza "fughe". La tenuta deriva quindi da un materiale denso sottoposto a pressione elevata ovvero di un materiale di densità minore sottoposto ad una minore pressione.

Che dire delle cuffie attive "leggere" ... funzionano?

Per molti piloti le cuffie "aperte" potrebbero risultare più confortevoli. Queste sono del tipo che "si appoggia" sulla superficie esterna del padiglione. Sono leggere e garantiscono all'orecchio una buona ventilazione. Gli svantaggi sono costituiti dal limitato isolamento acustico, dalla scarsa protezione passiva e dalla perdita di una fondamentale caratteristica della cuffia, quale è il controllo del volume.

A causa della sensibilità del padiglione auricolare, talora queste sono in realtà meno confortevoli delle tipiche cuffie "chiuse". Per alcuni aerei di classe elevata, le cuffie aperte possono costituire una buona soluzione, ma è necessario provare e confrontare, per trovare un compromesso tra la comodità e la tranquillità in volo.

Le cuffie alimentate ... che imbarazzo!

La più significativa delle caratteristiche delle cuffie attive è la loro necessità di alimentazione esterna. Nelle cuffie passive, il segnale audio ed il voltaggio che attiva il microfono sono forniti dal sistema di

interfono, pertanto non c'è bisogno di alimentazione esterna per far funzionare la cuffia. Nelle cuffie attive, è necessaria un'alimentazione aggiuntiva per supportare i circuiti elettronici caratteristici della cuffia stessa. Nella Sezione 1 si è discussa l'efficienza di vari altoparlanti e circuiti attivi e di quanto questi influiscano sulle prestazioni di cancellazione e sulla durata delle batterie. Tutto questo rientra nel discorso dell'alimentazione e della portabilità.

La maggioranza dei potenziali utilizzatori di cuffie attive ha bisogno di disporre di apparecchi facilmente trasportabili, ma questo concetto porta con sé immagini di batterie voluminose e pesanti, allacciate ad un groviglio di cavi supplementari. Questo costituiva la norma fino ad alcuni anni fa. Quale risultato di una migliore efficienza, la tipica batteria per cuffia attiva si è ridotta dal volume di 6 pile "stilo" ed un cavo separato al volume di 2 sole stilo messe in linea con il normale cavo audio della cuffia. Tutto ciò mantenendo una durata della batteria tra 30 e 40 ore ... ovvero mesi di volo per la maggioranza dei piloti! Sono in genere preferite le cuffie che utilizzano le batterie "stilo" piuttosto che quelle da 9 volt, poiché molti piloti sono soliti avere sempre con sé una scorta di queste batterie, da utilizzare per il GPS, la minitorcia, ecc.

Infine c'è il problema di dimenticare la cuffia accesa alla fine dell'utilizzo, una cosa che non contribuisce molto alla durata delle batterie. Certamente la soluzione migliore per questo dilemma è che la cuffia sia dotata di un sistema di autospegnimento, che percepisca quando viene tolta dalla testa ed automaticamente stacchi l'alimentazione. Questo sistema è certamente destinato a svilupparsi durante i prossimi anni.

Batterie ricaricabili

La clientela ha manifestato il desiderio di utilizzare batterie ricaricabili per le cuffie attive. Si possono utilizzare batterie "stilo" ricaricabili in quasi tutti i sistemi, ma la speranza di vita scende di circa la metà, se paragonata alle pile alcaline, inoltre essere sicuri che siano sempre cariche prima del volo può essere imbarazzante. Alcuni modelli (Pilot Avionics) hanno una batteria ricaricabile interna, consentendo così il risparmio di uno "scatolotto" supplementare. La batteria interna può essere conveniente nella misura in cui ci si ricordi di portar via la cuffia dall'aeroplano dopo ogni volo e caricarla completamente per l'utilizzo successivo. Con tutte le batterie ricaricabili, la durata è sostanzialmente inferiore rispetto alle alcaline, ma più che sufficiente per qualsiasi volo ... se ci si ricorda di ricaricarle prima di decollare!

Se la durata della batteria è importante, la verità è che molte batterie, più che dalle ore di volo, sono consumate dalla dimenticanza di spegnere l'apparato. Questo è il vero "tallone d'Achille" delle cuffie ricaricabili: ... se ieri ci si è dimenticati di spegnerle, oggi ci sarà ben poca cancellazione attiva di cui approfittare! Le batterie ricaricabili non possono essere ricaricate in volo mentre si utilizza la cuffia e non le si può sostituire prima o durante il volo se si scaricano.

Alimentazione da pannello

Le cuffie alimentate da pannello risolvono questi problemi ed eliminano completamente il problema delle batterie, dei loro scatolotti, ecc. La maggioranza delle cuffie alimentate da pannello hanno degli spinotti integrati che permettono una semplice connessione sia per la linea audio che per l'alimentazione. Altri modelli hanno una via d'alimentazione separata, tramite l'accendisigari od una presa separata, ma questo significa che ci sono tre spinotti da collegare (audio, phono ed alimentazione).

La comodità della connessione unica è notevole, ma l'installazione deve essere effettuata da un tecnico specializzato in avionica, il che comporta un discreto aumento di spesa. A meno che si voli moltissimo, questa spesa equivale alla fornitura di batterie stilo per una vita intera! Questa è la ragione per cui un modello portatile è più adatto per la maggioranza dei piloti.

La maggioranza delle cuffie attive di ultima generazione possiedono una dotazione completa di caratteristiche standard che ne rendono semplice l'utilizzo. Queste possono essere: controllo separato del volume, commutabilità mono/stereo, qualche forma di indicatore della carica della batteria ed una borsa imbottita per portare in giro il proprio "investimento". Produttori diversi forniscono queste

caratteristiche in modi leggermente differenti, pertanto si faccia attenzione quando si provano in volo vari modelli di cuffia.

Ed allora!

Ora sapete di più di quanto probabilmente ritenevate possibile su quanto i fattori progettuali della cuffia contribuiscano ad un volo confortevole. Nell'ultima sezione di questa dispensa, si tireranno le somme di quanto si è imparato sulla protezione acustica, sul miglioramento delle comunicazioni e sulla comodità ... per venire ai fattori fisiologici che influiscono sul pilota. Si considererà quanto le basse frequenze influiscano sulla fatica, sia mentale che fisica, e come questo influisca sui tempi di reazione e sulle capacità di decisione del pilota. L'argomento verrà trattato da un pilota che è un audiologo di professione, che utilizzerà la sua professionalità ed esperienza per discutere questi fattori.

Sezione 5: ottimizzare la propria esperienza di volo

Nota: Un sostanziale contributo a questa sezione della dispensa è stato apportato dal Dott. Jim Yates, cattedratico di audiologia alla John A. Burns School of Medicine dell'Hawaii University e titolare della Hawaii Audiology Associates.

Nelle precedenti sezioni di questa dispensa si sono discusse la cancellazione attiva del rumore ed i fattori tecnici specificatamente collegati alle cuffie per aviazione generale. Si è parlato del funzionamento del sistema attivo, di quanto sia difficile ottenere livelli ottimali di cancellazione e di come rendere il sistema più efficiente per lo spettro di rumore di un aeroplano. Si sono anche trattati elementi di anatomia e fisiologia della testa dell'uomo e delle difficoltà che si incontrano nel progettare una cuffia realmente comoda.

Naturalmente, come in qualsiasi altro aspetto del volo, la sicurezza e la protezione del pilota e dei passeggeri è prioritaria, la comodità passa quindi in secondo piano. Sebbene la storia del volo vada indietro ormai di quasi un secolo, la coscienza degli effetti del rumore dell'aeroplano sull'udito è relativamente recente.

Abbiamo tutti sentito la massima: "Ci sono piloti anziani e ci sono piloti imprudenti, ma non ci sono piloti anziani imprudenti". Alla fine potremmo tranquillamente aggiungere: " ... e molto pochi con un udito normale!" Infatti, al tempo degli abitacoli aperti e delle controventature in cavo metallico, i piloti volavano senza alcuna protezione acustica, danneggiando gradualmente quell'udito di cui avevano un assoluto bisogno per la loro sicurezza in volo! Si dice che il test "del sussurro", che è ancora oggi eseguito in medicina aeronautica, tragga le sue origini nella necessità da parte del pilota di percepire durante il volo il "canto" delle controventature integre.

Gli effetti del rumore

La maggioranza degli aerei di oggi ha una cabina chiusa (non così gli ultraleggeri) e sono disponibili ottimi materiali per l'insonorizzazione, ma l'incremento di potenza dei motori e dell'autonomia dei velivoli hanno di gran lunga sopravanzato tutte le migliorie in fatto di "silenziosità". I piloti ed i passeggeri di oggi sono soggetti ad un carico di rumore che può avere numerosi effetti collaterali, tra cui:

Deficit acustico permanente;
Stress ed affaticamento;
Mascheramento di suoni "utili";
Compromissione delle comunicazioni;

Deficit acustico permanente

L'apparato acustico dell'uomo è una meraviglia bioelettrica. E' in grado di percepire suoni con frequenze da 20 a circa 20 000 cicli al secondo! Si dice che, in condizioni ideali, l'orecchio umano sia in grado di percepire un suono all'incirca equivalente al battito d'ala di una zanzara, ma al tempo stesso tollerare suoni letteralmente milioni di volte più intensi. L'orecchio è talmente sensibile che i primi ricercatori adottarono una scala logaritmica per le misurazioni acustiche. In questo sistema di misura, un suono di 100 decibel (dB) è 100 000 volte più intenso di un suono di zero dB, mentre un suono di 120 dB è un milione di volte più intenso dello stesso zero.

L'innalzamento permanente della soglia di percezione dovuta al rumore può avvenire in seguito ad esposizioni ripetute a livelli sonori dannosi. Nella sezione 2 si è visto un diagramma rappresentante le curve di rumore bilanciate A, B e C. La curva "A" è indicativa del rischio legato all'esposizione ad un rumore caratterizzato da frequenze diverse. Le componenti da 1 a 3 kHz sono potenzialmente più

dannose per l'udito umano rispetto a quelle di bassa frequenza, ma sufficienti livelli di rumore a bassa frequenza sono parimenti in grado di causare una perdita di udito permanente.

Una cosa è certa. Al di là di certi livelli (circa 85 dB per il profilo bilanciato "A"), un aumento di intensità e di tempo di esposizione produrrà un incremento nella perdita di udito. Il rischio è maggiormente pronunciato nella regione intorno ai 4 kHz, ma tende ad espandersi su di una più ampia gamma di frequenze man mano che aumenta il tempo di esposizione e l'intensità del rumore. Nel tipico piccolo aereo, i rumori della cabina tendono ad essere concentrati nelle basse frequenze.

Nonostante questo, i livelli di rumore nella maggior parte degli aerei sono sufficienti a causare innalzamenti nella soglia auditiva di percezione se l'esposizione è sufficientemente prolungata. Volare senza alcuna protezione per lunghi periodi e con esposizioni ripetute mette a rischio di danno acustico. La cuffie attive forniscono un aiuto in due modi diversi:

Riducono i livelli di esposizione alle basse frequenze. Questo aspetto è stato trattato nella sezione 3. La maggioranza degli aerei dell'Aviazione Generale hanno livelli elevati di rumore a bassa frequenza ed anche le migliori cuffie passive sono relativamente inefficaci nell'attenuare in modo sufficiente questa parte dello spettro acustico. Ma è proprio in questo stesso ambito che le migliori cuffie attive forniscono prestazioni di attenuazione eccellenti.

Permettono la percezione dei segnali audio provenienti dalla radio e dall'interfono in modo intelligibile a livelli ridotti di volume. In quanto il rumore a bassa frequenza esercita un effetto mascherante sulla voce, è necessario alzare il volume per essere in grado di percepire, seppure in modo non ottimale, le normali frequenze della voce umana. Per questo motivo spesso si arriva a riversare 110 dB di segnale audio direttamente dentro le orecchie, attraverso gli altoparlanti delle cuffie, nello sforzo di sentire e capire meglio che cosa viene detto! Con i sistemi attivi si tenderà invece ad abbassare il volume, perché si è in grado di comprendere molto meglio le comunicazioni. Di ciò si discuteranno tra poco le motivazioni di carattere audiologico.

Stress ed affaticamento

Il rumore è chiaramente in grado di indurre stress ed affaticamento. D'ogni modo, è difficile misurare e quantificare questi effetti sul pilota. Lo stress è influenzato dalla situazione contingente, dai condizionamenti e dalle caratteristiche stesse del rumore. I rumori ad alta frequenza arrecano generalmente maggior disturbo ed i suoni acuti sono spesso inconsciamente associati a situazioni di pericolo.

Un ovvio fattore influente sui livelli di stress indotto è il volume del suono percepito. I suoni forti sono più stressanti di quelli dello stesso tipo, ma di volume inferiore. Le vibrazioni ed i suoni a bassa frequenza inducono affaticamento ed influenzano la capacità di concentrazione. L'effetto fisiologico di questa costante "pressione" fisica stata approfonditamente studiata dai militari come possibile causa di errori durante le missioni. L'effetto sul pilota civile non è così ben documentato, ma certamente costituisce allo stesso modo un impaccio per l'attività di volo. L'esposizione prolungata al rumore di un aeroplano non solo può causare affaticamento, ma può anche indurre in errori ideativi e di valutazione.

Ovviamente, i sistemi attivi riducono globalmente i livelli di rumore e questo ambiente più "tranquillo" rende il volo meno stressante. Gli effetti della riduzione del rumore a bassa frequenza sulle condizioni psichiche di un pilota non è stato ancora ben studiato, ma l'impressione generale è univoca: utilizzando delle cuffie attive, tutti i piloti affermano di sentirsi meglio, sia durante che dopo il volo

Il mascheramento di suoni "utili"

Mentre la voce umana si articola entro un ambito di frequenze da poco sotto i 100 Hz fino ai 10 000 Hz, l'energia della voce è perlopiù concentrata nelle basse frequenze. Il 90-95% dell'energia della voce è compresa in frequenze sotto i 500 Hz. Questa energia è tipicamente concentrata nel suono delle vocali. Le consonanti reggono la maggior parte del significato delle parole nell'ambito tra 1 e 6 kHz, ma questi sono suoni molto deboli (a bassa energia). Pertanto, le consonanti "deboli" sono facilmente "mascherate"

dal rumore: risulta pertanto più difficile capire il senso del discorso. Non è necessario molto mascheramento per compromettere comprensibilità, come mostrano i seguenti dati tratti da uno studio eseguito su adulti con udito "normale":

Perdita delle consonanti	Comprensibilità per un adulto
4% o meno	Molto buona
5%-8%	Buona
9%-11%	Discreta
12%-14%	Minima
15% e più	Incomprensibile

Le implicazioni per i piloti sono dirette: una perdita del suono di anche solo il 10% delle consonanti non potrà che limitare la comprensione! Ovviamente, il pericolo di perdere o male interpretare delle istruzioni verbali costituisce una preoccupazione assai realistica!

In base a quanto si è già appreso sulle basse frequenze cui si è esposti durante il volo, livelli eccessivi possono pertanto facilmente sopraffare l'importante suono delle consonanti. Il pericolo di un "rumore mascherante" su di un aereo è che può causare la perdita di importanti messaggi radio od altri segnali acustici che è invece essenziale poter percepire chiaramente. Il rumore mascherante contribuisce ad aumentare lo stress, poiché ci si deve "sforzare" per ascoltare, riconoscere ed interpretare la moltitudine di segnali e dati con cui si ha a che fare durante il volo. In effetti, il mascheramento di suoni "utili" può costituire uno dei maggiori pericoli in un aereo.

I sistemi attivi riducono l'effetto mascherante delle basse frequenze percepito dalle orecchie. I sistemi più efficaci migliorano sostanzialmente la capacità di ascoltare e capire le comunicazioni audio. Tutti i piloti che provano una cuffia attiva per la prima volta non tardano a notare questo beneficio.

Effetti negativi sulla percezione e la memorizzazione del discorso

Elevati livelli di rumore danneggiano sostanzialmente la capacità di riconoscere le parole. Quando il volume del rumore supera gli 85 dB, inizia a decadere la comprensione del discorso. La chiave per migliorare il riconoscimento delle parole è quella di portare il livello del "segnale" audio sensibilmente al di sopra del "rumore" ambientale. Questo è difficile da realizzare per i piloti, poiché sono esposti ai rumori della cabina con una significativa componente di basse frequenze. Quando gli audiologi professionisti desiderano creare suoni che mascherino il discorso, è esattamente questo il tipo di rumore che viene utilizzato. L'ambiente della cabina è dunque un eccellente mascherante per la voce!

Alcuni studi hanno mostrato che, per ottenere un grado di comprensione migliore dell'80%, il segnale audio deve sopravanzare di almeno 9 dB il rumore ambientale all'interno della cuffia. Questa differenza nel livello di dB è tipicamente definito "Rapporto segnale/rumore" (Signal-to-Noise Ratio, abbreviato con S/N o SNR). Un rapporto di 12-15 dB permette una comprensibilità del 90%. Si sa quanto può essere forte il rumore su molti aeroplani, specie alle basse frequenze. La combinazione degli effetti di mascheramento ed i livelli sonori ambientali rendono molto difficile ascoltare e capire le comunicazioni.

Abbiamo tutti ben presente cosa vuol dire non capire i messaggi dei controllori radio od essere ripetutamente spinti a richiederne la ripetizione. Inoltre, gli elevati livelli di rumore di fondo durante il volo modificano la "soglia" uditiva, rendendo gradualmente il discorso sempre meno comprensibile.

Oltre al semplice rapporto segnale/rumore, la capacità di "riconoscere" le parole ed i suoni è influenzata negativamente dall'elevato rumore di fondo, per esempio: l'accuratezza della comprensione decade e con questa la prontezza della risposta.

Diventa difficile discernere tra i vari segnali potenzialmente utili.

La memorizzazione è ridotta, come la capacità di gestire efficacemente le informazioni.

In altre parole, il rumore influisce sulla comprensione, sul livello di attenzione, sul tempo di risposta e sulla memorizzazione a breve termine di quanto si è ascoltato. Nessuna di queste situazioni è favorevole per il pilota, pertanto ben venga qualsiasi cosa può essere fatta per rendere l'ambiente più tranquillo!

Alcune considerazioni conclusive

L'intenzione di questo capitolo non è quello di spaventare, ma di far presenti tutti i fattori acustici con cui si ha a che fare ogni volta che si vola. Pilotare costituisce un "impegno" complesso e denso di responsabilità. Se già utilizzando una cuffia passiva si riesce a far fronte bene o male a tutti i compiti richiesti, la riduzione attiva del rumore non potrà che rendere questi stessi compiti più facili e meno stressanti. Una cuffia attiva fornisce una cancellazione addizionale in una zona dello spettro del rumore che può rendere le comunicazioni più chiare ed aumentare il livello di attenzione.

La riduzione attiva del rumore migliora la sicurezza del volo e protegge da un danno acustico a lungo termine. Si scenderà dall'aereo più rilassati ed il volo stesso risulterà più gradevole. Un investimento economico modesto può migliorare la salubrità, la comodità e la sicurezza dell'esperienza di volo a livelli impensabili solo fino a pochi anni fa. Ed allora ... su con l'altimetro e giù con i decibel!