



L'ESPOSIZIONE AL RUMORE DEGLI AEREI NEGLI IMPIANTI AEROPORTUALI

A. Farina (1), L. Rocco (2), S. Solange (2)

(1) Dipartimento Ingegneria Industriale - Università di Parma

(2) Dipartimento Processi e Metodi Produzione Edilizia - Università di Firenze

Sommario

Il rischio di danno auditivo indotto da rumore, problema di fondamentale importanza per la salute nei luoghi di lavoro, coinvolge anche gli addetti alle operazioni sui piazzali aeroportuali che lavorano in prossimità degli aerei, sia degli enti di gestione degli aeroporti sia delle compagnie aeree.

Gli autori analizzano le principali fonti di rumore dell'attività aeroportuale e l'entità della esposizione al rumore di tali addetti in relazione al rischio di danno auditivo.

1. Premessa

L'esposizione al rumore occupazionale costituisce uno dei più rilevanti pericoli per la salute dei lavoratori potendo determinare danni irreversibili all'udito.

Una prolungata esposizione ad alti livelli di rumore, maggiori di 85 dBA, può infatti determinare dei danni all'orecchio interno con la distruzione delle terminazioni nella coclea del nervo acustico che porta all'esordio di una perdita irreversibile dell'udito di tipo neurosensoriale e che si manifesta con un innalzamento permanente della soglia di audibilità NIPTS (Noise Induced Permanent Threshold Shift).

In un impianto aeroportuale vi sono molti lavoratori esposti ad alti livelli di rumore col rischio di essere soggetti a danni uditivi specialmente quelli che svolgono il loro lavoro in prossimità degli aeromobili e precisamente nei piazzali dell'aerostazione ove sono parcheggiati gli aeromobili.

I lavoratori che ivi operano appartengono a molti gruppi professionali con una notevole diversità di compiti. Agli operatori manuali sono affidati i compiti del carico e dello scarico dei bagagli e delle merci nelle stive dell'aereo del rifornimento di acqua potabile del trattamento delle toilettes, del trasporto del bagaglio e delle merci dall'aerostazione agli aerei e viceversa.

I segnalatori segnalano al pilota la correttezza dell'arrivo nella piazzola di sosta con posizionamento del carrello anteriore su un punto ben definito nonché alla partenza la regolarità dell'avviamento motori e dell'uscita dalla piazzola.

Gli addetti al traffico di rampa sono responsabili del coordinamento e della direzione di tutto il lavoro fatto in prossimità dell'aeromobile sul piazzale di sosta in modo da garantire

la partenza in orario.

Il fatto che tutte queste persone siano esposta a un rumore potenzialmente dannoso impone ai sensi dell'art. 40 del D.L. 277 del 15.08.1991 la valutazione quantitativa del rumore al quale sono soggetti i suddetti operatori negli impianti aeroportuali.

2. Le sorgenti di rumore

Le sorgenti di rumore che producono i più elevati livelli sul piazzale aeromobili dove svolgono le loro mansioni gli addetti dell'aerostazione sono:

- i motori di propulsione degli aerei, sia quelli ad elica che a getto, costituiti da turbine a gas.
- il generatore ausiliario di potenza APU (Auxiliary Power Unit) installato a bordo.

Le circostanze che danno luogo alla esposizione al rumore prodotto dai motori di propulsione sono le seguenti.

L'aeromobile in arrivo dopo l'atterraggio sulla pista esce dalla stessa e si porta attraverso percorsi fissi e delimitati, detti «taxi-way» tracciati sulla pavimentazione della pista di rullaggio e dei piazzali aeromobili fino alla piazzola di sosta allo stesso destinata.

La manovra di parcheggio sulla piazzola di sosta con posizionamento del carrello anteriore in un punto ben definito avviene dunque con mezzi di bordo utilizzando i motori di propulsione, ovviamente ad un regime di spinta molto ridotto.

Anche l'uscita dalla piazzola di sosta può essere effettuata dall'aeromobile con mezzi propri cioè utilizzando la spinta dei motori di propulsione tranne nel caso di piazzole dotate di loading bridges, ponti mobili di imbarco, che al coperto collegano con l'aereo le sale di imbarco passeggeri; in tale caso infatti per ragioni di sicurezza contro le collisioni dell'aeromobile con gli ostacoli fissi costituiti dai loading bridges posti in prossimità dello stesso, l'uscita dalla piazzola viene eseguita a motori spenti con una particolare manovra detta push-back, ossia spinta all'indietro dell'aereo, tramite un trattore che, agendo sul carrello anteriore, lo porta ad una distanza di 70-80 metri dall'area di sosta disponendolo su una taxi-way ove i motori vengono poi avviati.

Nelle due fasi di arrivo dell'aeromobile nella piazzola di sosta e di uscita dalla stessa con mezzi propri i motori, anche se a regime di spinta molto ridotti, addirittura al minimo per i più grandi velivoli turbofan, irradiano comunque potenze acustiche cospicue che danno luogo ai più alti livelli di rumore riscontrabili durante le operazioni a terra sui piazzali dell'aerostazione. A titolo di esempio nella Figura 1 è riportato lo spettro di emissione di un bimotore turbofan MD80 in fase di rullaggio su una taxi-way a 20 m di distanza.

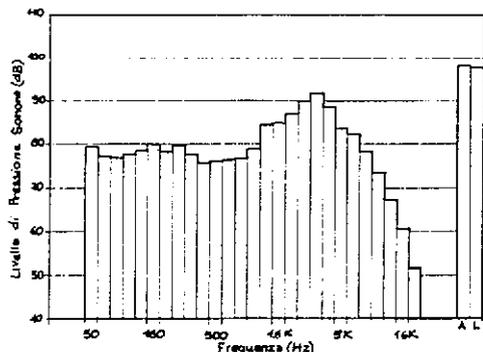


Fig. 1: SPETTRO DI EMISSIONE DEI MOTORI DI PROPULSIONE DI BORDO A DISTANZA DI 20 m, ALL'ARRIVO NELLA PIAZZOLA

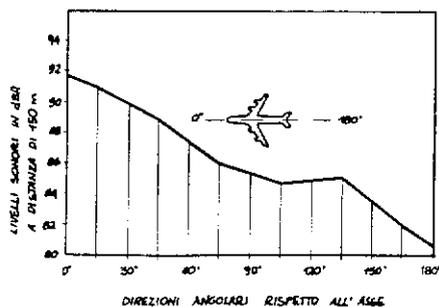


Fig. 2: DIRETTIVITÀ DELL'EMISSIONE SONORA DEI MOTORI DI PROPULSIONE DI AEROMOBILE TURBOFAN DI GRANDE CAPACITÀ CON SPINTA AL MINIMO PER RULLAGGIO SU TAXI-WAY

Inoltre, data la spiccata direttività verso il davanti dell'aereo dell'emissione sonora da parte dei motori a turbina, ai regimi di spinta adottati nel rullaggio sulle taxi-way, come illustrato nella Figura 2 in cui sono riportati i livelli in dBA misurati alle varie angolazioni alla distanza di 150 m, nelle posizioni antistanti l'aereo sia all'arrivo nella piazzola che all'uscita, si produce un campo sonoro della massima rumorosità anche se di breve durata (1-2 minuti). Poiché generalmente gli aeromobili vengono parcheggiati con il muso volto verso l'aerostazione e quindi verso i piazzali antistanti la stessa, le manovre di ingresso e di uscita con mezzi propri dalle piazzole di sosta sono quelle che danno luogo ai più elevati livelli di rumore sui piazzali stessi e che ne investono praticamente tutta l'area.

Per quanto riguarda l'APU le circostanze che danno luogo alla esposizione del rumore dallo stesso prodotto sono di seguito descritte.

I grandi velivoli da trasporto dell'aviazione civile per motivi di sicurezza del volo, dispongono di tanti generatori di energia elettrica quanti sono i motori di propulsione ed ognuno di essi è accoppiato ad un motore; in più a bordo è installato un generatore ausiliario (Auxiliary Power Unit) accoppiato ad una piccola turbina a gas alloggiata nella estremità posteriore della fusoliera; ognuno di questi generatori può alimentare da solo l'impianto elettrico avendo una potenzialità sufficiente a tutto il fabbisogno di energia elettrica dell'aereo.

Quando l'aereo è in volo in condizioni normali viene utilizzato uno dei generatori di energia elettrica accoppiati ai motori di propulsione mentre gli altri restano di riserva.

Quando l'aereo arriva all'aerostazione, prima dello spegnimento dei motori, viene messo in funzione il generatore ausiliario APU.

Gli aerei bimotori turboelica, tipo l'ATR 42, non hanno l'APU ma solo i generatori di energia elettrica accoppiati ai motori di propulsione ed allora, all'arrivo nell'aerostazione, viene spento un solo motore, quello di destra, mentre quello di sinistra viene mantenuto in moto in folle, disinserendo l'accoppiamento della turbina con l'elica attraverso il riduttore di giri, per produrre l'energia elettrica e l'aria compressa per la climatizzazione di bordo durante la sosta.

L'APU è in grado di produrre anche, con le portate e le pressioni necessarie anche l'aria compressa per l'avviamento dei motori e quindi deve comunque essere messo in funzione qualche minuto prima (2+3 minuti) dalla partenza per essere pronto a svolgere detta operazione al momento giusto.

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

Il funzionamento dell'APU quando l'aeromobile è in sosta è dunque necessario se da terra non vi è disponibilità di servizi sostitutivi, come avviene in certi aeroporti, nel caso si tratti di un movimento di transito di un aereo trasporto passeggeri che comporta generalmente una sosta nell'aeroporto non troppo lunga da circa 40 a 50 minuti.

Per movimenti terminanti sia di aerei sia passeggeri che merci l'APU viene disattivato poco dopo lo sbarco dei passeggeri e/o dell'equipaggio e comunque al momento in cui può essere disattivato l'impianto elettrico di bordo; per movimenti originanti sia di aerei passeggeri che merci infine l'APU può essere messo in funzione solo circa 5+10 minuti prima della partenza per portare nelle opportune condizioni climatiche l'interno del velivolo. Il rumore dell'APU è irraggiato sia dalla presa dell'aria della turbina, posta sulla parte alta della fusoliera poco prima degli impennaggi di coda, sia dal condotto di scarico dei gas esausti posto nella parte terminale della fusoliera a valle degli impennaggi; è però dal

condotto di scarico che si produce la maggiore emissione di rumore. Tale emissione è a largo spettro con componenti di contenuto energetico crescente verso le alte frequenze con presenza di toni puri fra 8 kHz e 10 kHz; come evidenziato in Figura 3 che riporta un tipico spettro di APU installato su DC 9 preso in prossimità del portello della stiva posteriore dell'aeromobile.

I livelli di emissione sono notevolmente elevati nonostante la presenza sia nel condotto di presa aria che nel condotto di scarico di dispositivi di insonorizzazione.

Dato che la maggior parte dei grandi velivoli dell'aviazione commerciale montano APU quasi tutti della stessa potenza prodotti dal medesimo costruttore, gli spettri di emissione dell'APU dei vari aeromobili non differiscono sostanzialmente tra loro, come quelli dei motori di propulsione. Per la presenza di forti componenti ad alta frequenza il rumore prodotto a lato della fusoliera, dove svolgono i loro compiti gli addetti dell'aeroporto può subire notevoli effetti schermanti per ostacoli frapposti fra la sorgente ed il punto di ricezione.

Per esempio i livelli di rumore nella zona in corrispondenza della parte anteriore dell'aereo possono essere notevolmente più ridotti negli aeromobili con motori applicati anteriormente sotto le ali rispetto agli aeromobili con motori applicati posteriormente nella coda dell'aereo a causa della schermatura prodotta dai motori stessi.

Oltre alle suddette sorgenti sono presenti sul piazzale aeromobili anche altre sorgenti di rumore che pur dando luogo a livelli di rumorosità ragguardevoli tuttavia sono nettamente inferiori come irraggiamento acustico a quello dei motori di propulsione ed all'APU; tali sorgenti sono:

- il generatore di potenza a terra GPU (Grand Power Unit) azionato da motore diesel che viene impiegato per la fornitura di energia elettrica sul caso che l'APU venga disattivato
- i trattori diesel per traino carrelli trasporto bagagli
- le scale motorizzate diesel per scarico/imbarco passeggeri
- i loader, piattaforme mobili per sollevamento merci alle stive degli aerei, motorizzate diesel, con o senza cabina di pilotaggio.

La molteplicità delle sorgenti e dei tipi delle stesse porta ad una grande variabilità dei livelli di rumore nelle varie posizioni sui piazzali richiedendo pertanto, in una valutazione del rischio da rumore, un gran numero di dati fonometrici ed una analisi molto accurata delle mansioni degli addetti e della organizzazione del lavoro.

4. Le operazioni sui piazzali

I motori di propulsione danno luogo ai valori massimi di rumorosità in corrispondenza delle posizioni sia degli addetti delle segnalazioni di arrivo alla piazzola di sosta e di partenza, sia di altro personale eventualmente presente nei pressi.

Al momento della partenza dalla piazzola di sosta, i motori devono essere avviati con un breve anticipo, due o tre minuti, oltre che per riscaldarli anche per dare tempo al pilota di effettuare il controllo dei comandi e dell'assetto dell'aereo nonché il collegamento con la torre di controllo.

Per i segnalatori, che si dispongono a circa 10 + 15 metri dalla posizione sulla piazzola del carrello anteriore, il rumore prodotto dai motori di propulsione ha dunque una durata relativamente breve, di circa 30 + 40 secondi all'arrivo e di circa 2 + 3 minuti alla partenza.

Un'altra mansione con esposizione al rumore dei motori di propulsione è quella della

rimozione sotto l'aeromobile dei cosiddetti tacchi. Quando l'aereo si è fermato in posizione sulla piazzola di sosta, vengono spenti i motori e quindi applicati davanti e dietro le ruote del carrello anteriore, due cunei di bloccaggio denominati appunto tacchi, per realizzare una ulteriore sicurezza di bloccaggio dell'aeromobile oltre quella assicurata dai freni dello stesso; questi cunei devono poi essere rimossi al momento della partenza dell'aereo e tale operazione viene di norma effettuata dopo l'avviamento dei motori. L'addetto al posizionamento ed alla rimozione dei tacchi è generalmente un dipendente dell'Ente di gestione dell'aeroporto che può avere anche la mansione dello scarico e carico bagagli e di segnalazione come sopra descritto durante l'arrivo o la partenza dalla piazzola di sosta.

Il generatore ausiliario APU dell'aeromobile produce un rumore in corrispondenza soprattutto degli operatori di piazzola che si affiancano all'aereo per il carico e lo scarico bagagli dalle stive degli aerei passeggeri, rumore che anche se molto intenso è generalmente inferiore a quello prodotto dai motori di propulsione, ma investe gli operatori per una durata nel tempo molto più lunga, che va da 5 + 10 minuti in caso di pochi bagagli ma che può arrivare fino a 40 + 50 minuti, dando luogo quasi sempre ad un contributo energetico maggiore e quindi ad una esposizione più marcata degli addetti.

Riepilogando le principali mansioni svolte dagli addetti ai piazzali degli impianti aeroportuali si possono raggruppare in due categorie. La prima con esposizione a livelli di rumore superiori a 85 dBA quindi molto elevati dovuti alla stretta vicinanza di sorgenti sonore quali i motori di propulsione e l'APU, la seconda con esposizione a livelli di rumore elevati ma non critici e comunque inferiori a 85 dBA.

Tali mansioni sono qui di seguito elencate:

Mansioni con esposizioni a livelli superiori a 85 dBA

- Segnalazione all'arrivo nella piazzola di sosta
- Rimozione tacchi alla partenza
- Segnalazione all'uscita dalla piazzola di sosta
- Carico e scarico bagagli stive anteriori e posteriori
- Rifornimento acqua toilettes

Mansioni con esposizione a livelli inferiori a 85 dBA

- Guida trattori per carrelli bagagli
- Manovra loader per carico merci sui cargo
- Conduzione unità generatore di terra GPU
- Pulizia cabine e WC all'interno degli aerei
- Smistamento bagagli
- Guida veicoli trasporto passeggeri.

5. La valutazione dell'esposizione al rumore

In un impianto aeroportuale sono presenti, come visto molteplici sorgenti di rumore, alcune temporaneamente fisse altre mobili che danno luogo ad un campo acustico continuamente variabile nel tempo e nello spazio. Fra le varie sorgenti sonore poi ve ne sono due, i motori di propulsione degli aerei e l'APU che sono nettamente preponderanti rispetto alle altre entrambe spiccatamente direzionali con notevoli componenti alle alte frequenze e quindi con campi acustici molto variabili nello spazio sia per la distanza sia per effetti di schermatura.

Data la preponderanza di queste sorgenti rispetto alle altre e gli elevati livelli di rumorosità che esse producono, nella valutazione della esposizione al rumore delle stesse si deve tener conto della variabilità delle situazioni che si presentano in modo da giungere a dei valori medi realistici.

I rilevamenti fonometrici relativi ad operazioni effettuate in presenza di tali sorgenti devono pertanto essere necessariamente effettuati con la tecnica dell'"inseguimento" dall'inizio della operazione fino al termine della stessa e ripetuti per un congruo numero di volte con diversi tipi di aeromobili.

E' opportuno pertanto, se il fonometro adoperato è privo di adeguata memoria, effettuare una registrazione digitale dell'evento di rumore rilevando i Livelli di Pressione Sonora Ponderata «A» istantanei; con la registrazione è possibile procedere alla successiva elaborazione dei dati su un PC.

Dall'andamento nel tempo dei valori del Livello di Pressione Sonora Ponderata A che si verificano nell'operazione considerata viene derivato col calcolo il valore del Livello di Esposizione a Singolo Evento SEL (o L_{AX}) che esprime con un solo numero l'esposizione su base energetica del rumore relativo a quella determinata operazione.

L'espressione analitica del SEL è la seguente

$$SEL = 10 \log \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_{PA}/10} dt \quad (\text{dBA})$$

dove $t_0 = 1$ secondo è la costante di normalizzazione dell'evento di rumore sulla durata di riferimento di 1 secondo e $t_2 - t_1$ è il tempo occorso per effettuare l'operazione considerata.

La durata di riferimento di un secondo sulla quale tale grandezza è normalizzata agisce come denominatore comune permettendo la somma di molteplici eventi di rumore di differente durata.

L'opportunità dell'impiego del SEL in questo genere di situazioni acustiche è giustificata dal fatto che essa oltre a comportare una certa semplificazione dei calcoli nella successiva determinazione dell'esposizione complessiva giornaliera, esprimendo con un unico numero il contributo energetico di un evento di rumore consente di fare un raffronto energetico diretto di vari eventi di rumore dello stesso tipo o di tipi diversi; cosa non possibile se non attraverso ulteriori calcoli con il Livello Equivalente al quale occorre sempre accoppiare il tempo al quale esso si riferisce.

Oltre alle registrazioni sui rilevamenti eseguiti con la tecnica dell'"inseguimento" è opportuno effettuare, se il fonometro lo consente, anche rilevamenti diretti in tempo reale sul fonometro dei SEL delle singole operazioni e dei relativi tempi di esecuzione, ciò per controllo nella successiva elaborazione al PC delle registrazioni degli L_{pA} istantanei.

Poiché le varie operazioni eseguite sui piazzali sono intervallate da periodi di inattività che gli addetti trascorrono o sui piazzali all'aperto nelle zone pedonali o in luoghi interni dell'aerostazione acusticamente protetti, è necessario anche valutare i tempi di tali pause nonché rilevare un valore medio nello spazio e nel tempo del Livello Equivalente Continuo che si verifica nei piazzali e all'interno nei locali di sosta del personale in modo da poter poi determinare il SEL anche di questi periodi.

Per determinare l'esposizione giornaliera dei singoli addetti una volta identificate analiticamente le varie operazioni che possono essere dagli stessi effettuate e rilevati i SEL medi delle medesime è necessario formulare un modello medio giornaliero del tipo e del numero di operazioni svolte da ciascun addetto nonché delle pause di inattività nei luoghi acusticamente protetti o sui piazzali dell'aerostazione.

I modelli giornalieri delle operazioni svolte variano a seconda della organizzazione del lavoro adottate nei vari aeroporti. In certi aeroporti le varie operazioni di piazzale possono essere svolte indifferente da tutti gli addetti fra i quali vengono dunque equamente suddivise, in altri aeroporti vi sono addetti che svolgono solo alcune funzioni e sempre le stesse, senza rotazione con altre funzioni.

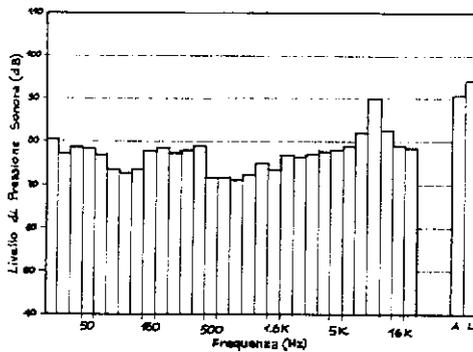


Fig. 5: SPETTRO DI EMISSIONE DI APU DI DC9

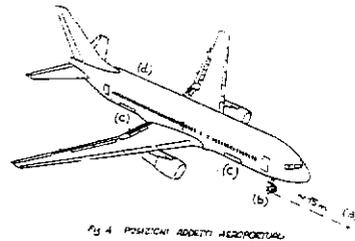


Fig. 4: POSIZIONI ADDETTI AEROPORTUALI

6. I livelli di esposizione

Da misure dirette effettuate con la tecnica dell'inseguimento e da elaborazioni di dati della letteratura tecnica si sono potuti formulare dei valori medi dei Livelli di Esposizione a Singolo Evento SEL delle principali operazioni degli addetti che lavorano nei piazzali aeroportuali.

Nella *Tabella 1* sono riportati tali valori medi di SEL per le singole operazioni e per varie tipologie di aeromobili; in tale Tabella sono riportati anche i valori del Livello Sonoro Equivalente medio riscontrati sul piazzale nelle zone ove si muovono gli addetti e del Livello Sonoro Equivalente medio sui trattori e sui loader.

Nella Figura 4 sono indicate le posizioni degli addetti aeroportuali durante lo svolgimento delle operazioni in prossimità di un aeromobile.

In base ai valori dei SEL e dei L_{eq} è possibile calcolare per un qualunque modello di esposizione, noti il numero ed il tipo di operazione che un addetto effettua mediamente al giorno ed i tempi di sosta in luoghi acusticamente protetti, il Livello medio di esposizione giornaliera.

Tali livelli con lo svolgimento delle operazioni nelle condizioni sopra descritte sono generalmente compresi tra 85 e 90 dBA quindi notevolmente elevati e tali da dare luogo a situazioni per le quali è opportuna la realizzazione di bonifiche acustiche mediante varie misure sia tecniche, che organizzative, che procedurali.

Bibliografia

- Merluzzi F., Orsini S., Dighera A., «The risk of occupational hearing loss to airport workers», 15th International Congress in Noise As a Public Health Problem, Stockholm, Sweden 1989.
- Azevedo L., Rodrigues C., «Occupational Hearing Impairment in groups of workers of Portuguese air company, Tap-air Portugal» Inter-Noise 90 Gothenburg, Sweden 1990.
- Lima M., Sousa-Uva A., Leal A., et alias, «Hearing damage implementation of a hearing conservation program at the portuguese airline company Tap-air Portugal», Noise 93, St Petersburg, Russia 1993.
- Peretti A., Tsuropolis S., D'Andrea F., «Rischio da rumore per gli operatori aeroportuali», XXII Convegno Associazione Italiana di Acustica, Lecce, Aprile 1994.

TABELLA 1
LIVELLI DI ESPOSIZIONE A SINGOLO EVENTO

TIPO AEREO	POSIZIONE	OPERAZIONE	SORGENTE SONORA	SEL dBA
Due motori turboelica	(a)	Segnalazione arrivo	Motori propulsione	108
Due motori turbofan anteriori	(a)	Segnalazione arrivo	Motori propulsione	112
Due/tre motori turbofan posteriori	(a)	Segnalazione arrivo	Motori propulsione	104
Due/tre motori turbogetto posteriori	(a)	Segnalazioni arrivo	Motori propulsione	106
Due motori turboelica	(b)	Rimozione tacchi	Motori propulsione	125
Due motori turbofan anteriori	(b)	Rimozione tacchi	Motori propulsione	127
Due/tre motori turbogetto o turbofan posteriori	(b)	Rimozione tacchi	Motori propulsione	113
Due motori turboelica	(a)	Segnalazione partenza	Motori propulsione	122
Due motori turbofan anteriori	(a)	Segnalazione partenza	Motori propulsione	124
Due/tre motori turbofan posteriori	(a)	Segnalazione partenza	Motori propulsione	119
Due/tre motori turbogetto posteriori	(a)	Segnalazione partenza	Motori propulsione	121
Due motori turbogetto o turbofan posteriori	(c)	Scarico e carico bagagli	APU	124
Due motori turbofan anteriori	(c)	Scarico e carico bagagli	APU	122
Due motori turbofan o turbogetto posteriori o anteriori	(d)	Rifornimento acqua potabile	APU	100
Livello Sonoro Equivalente medio sui mezzi di piazzale				89 dBA
Livello Sonoro Equivalente medio sui piazzali				75 dBA