

Proposta metodologica per la simulazione dei livelli acustici generati da manovre elicotteristiche in ambiente urbano

Quaglia G.⁽¹⁾, Gilli L.⁽¹⁾, Marazzi M.⁽²⁾, Cassa O.⁽³⁾, Cenedese F.⁽⁴⁾

⁽¹⁾Envitech – Ambiente e Tecnologie S.r.l., Via G. Bonomelli 1/F, 28100 Novara (NO),
giuseppe.quaglia@envitech-ambiente.it, luciano.gilli@envitech-ambiente.it

⁽²⁾Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano (MI), matilde.marazzi@proiter.it

⁽³⁾Sviluppo Sistema Fiera S.p.A., Largo Domodossola 1, 20145 Milano (MI),
oscar.cassa@svilupposistemafiera.it

⁽⁴⁾AgustaWestland, Via Giovanni Agusta 520, 21017 Cascina Costa di Samarate (VA),
fausto.cenedese@agustawestland.com

RIASSUNTO

La verifica a norma di legge dei livelli acustici generati ai recettori presenti nell'intorno di una nuova elisuperficie in terrazza, ha reso necessario sviluppare simulazioni dei livelli generati da manovre elicotteristiche in un sito urbano ad elevata complessità, rendendo indispensabile un approccio metodologico specifico non basato sull'utilizzo di modelli di rumore aeronautico, eccessivamente semplificati dal punto di vista dell'orografia, ma di un codice commerciale di tipo ray tracing, con una trattazione più dettagliata dell'ambiente di propagazione sonora. La sorgente emissiva è stata simulata mediante una successione di sorgenti puntuali, attivate singolarmente e posizionate lungo la traiettoria di volo. I livelli di emissione del velivolo di riferimento (AgustaWestland AW 139) sono stati dedotti dai dati di certificazione, forniti dal costruttore. Il codice di simulazione è stato utilizzato per la ricostruzione della successione dei livelli acustici prodotti dalle singole sorgenti puntuali poste lungo la traiettoria di volo ai vari recettori individuati: per ognuno di essi si è quindi ottenuta una serie temporale virtuale dei livelli prodotti dalle singole sorgenti. Infine si è potuto determinare il livello equivalente complessivo mediante sovrapposizione dei singoli livelli di sorgente, per i rispettivi tempi di attivazione.

INTRODUZIONE

La realizzazione di un'elisuperficie in terrazza, in un ambito prettamente urbano, rende indispensabile un'attenta valutazione dei possibili impatti che il suo esercizio può produrre entro l'ambiente circostante. Uno degli impatti maggiormente evidenti e potenzialmente più critici, è quello acustico, che si viene a determinare nel corso delle manovre di avvicinamento/atterraggio e di decollo/allontanamento degli aeromobili. Nel corso di tali manovre infatti gli aeromobili si trovano nella necessità di ridurre progressivamente la quota di volo, fino anche più o meno alla stessa altezza degli edifici circostanti l'elisuperficie. In tali situazioni è doveroso individuare ed attuare tutte le possibili procedure per minimizzare il potenziale disturbo acustico nei confronti delle abitazioni vicine.

In fase di progetto è tuttavia piuttosto complesso simulare il potenziale impatto acustico generato da manovre elicotteristiche di atterraggio e/o di decollo, specialmente in un ambiente estremamente complesso come quello urbano.

Nel caso in esame ci si è trovati nella necessità di simulare i livelli acustici che possono interessare i recettori vicini ad un'elisuperficie, attualmente ancora in progetto, inserita in un contesto urbano, al fine di verificare il rispetto dei vincoli normativi vigenti in materia di acustica ambientale. La complessità del dominio di calcolo ha reso necessario sviluppare un metodo basato sull'utilizzo di un codice di simulazione di tipo ray tracing, applicato ad una successione di sorgenti puntuali sopraelevate, posizionate lungo la linea di volo, le cui emissioni acustiche sono state attivate in sequenza e non contemporaneamente, come previsto dalla usuali metodiche di simulazione acustica. Dopo una messa a punto di dettaglio del sistema, si è giunti alla simulazione dei livelli ai recettori che, a seguito di un confronto con i dati rilevati sperimentalmente nel corso di esperienze analoghe, hanno mostrato un buon livello di affidabilità del metodo usato.

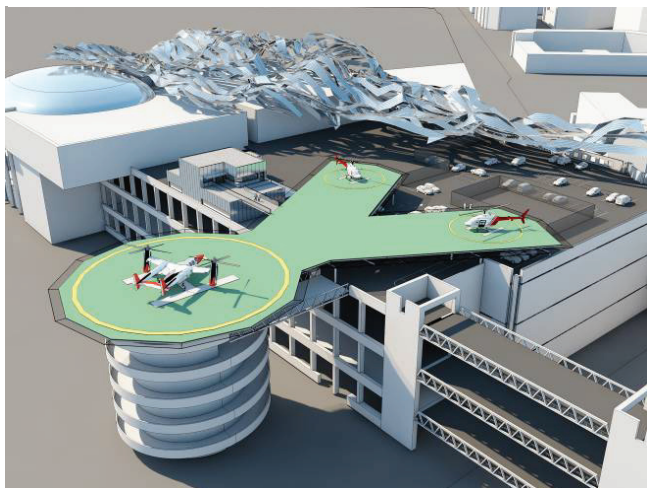
Nel seguito, dopo una sommaria descrizione del progetto dell'elisuperficie in esame e della discretizzazione del dominio di calcolo utilizzato nel corso delle simulazioni, si forniranno alcuni esempi dei risultati in termini di serie temporali dei livelli ricostruiti ai recettori e si illustreranno i risultati complessivi dello studio condotto.

DESCRIZIONE DEL PROGETTO DELL'ELISUPERFICIE

Nell'ambito degli interventi di recupero delle aree del Portello ed ex Fieramilano, è stato sviluppato il progetto MiCo - Milano Congressi, che prevede la riconversione a destinazione

congressuale dei padiglioni 5 e 6 del Portello, e la loro aggregazione all'attuale struttura congressuale. Il progetto, curato di concerto da Sviluppo Sistema Fiera e dallo studio Bellini e Nicolini, è destinato a realizzare il più grande e moderno centro congressi d'Europa, con la

Figura 1 Rendering dell'elisuperficie



possibilità di ospitare fino a 18000 posti a sedere, con un auditorium da 1500 posti, una plenaria da 4500 posti, 64 sale modulari di varia capienza e 54000 metri quadrati espositivi a supporto. Per il completamento e l'efficientamento dei collegamenti esterni, è stata prevista anche la realizzazione, in terrazza, sui vecchi padiglioni del Portello, di un'elisuperficie che permetta di velocizzare al massimo i collegamenti da e per gli aeroporti milanesi, oltre che per fornire una moderna struttura di appoggio in grado di inserirsi a pieno titolo nei nuovi progetti di mobilità urbana ed extraurbana a scala provinciale e regionale.

L'elisuperficie in progetto è costituita da una piattaforma posta a circa 4 m sopra il piano di copertura del Padiglione del Portello, alla quota

di 28 m sopra il piano stradale. L'area di atterraggio e decollo è di forma circolare con diametro di 37 m, collegata a due aree di sosta elicotteri, tramite una taxi way a forma di "Y" rovesciata.

La figura qui sopra (fig. 1) presenta, ripreso da Via Colleoni, un rendering prospettico del progetto di elisuperficie inserita nel costruito limitrofo.

L'immagine a fianco (fig. 2) presenta invece un rendering del nuovo centro congressi visto da Sud, ovvero dall'area interessata dal progetto CityLife: si noti la vela decorativa sul terrazzo del padiglione di FieraMilano City e, in secondo piano, l'elisuperficie.

La rotta principale di atterraggio e di decollo è orientata lungo l'asse 125°N-305°N ed è stata calcolata per svilupparsi lungo la direttrice Piazzale Kennedy - Viale Scarampo - Padiglioni Fieristici del Portello, limitando al massimo il sorvolo di edifici residenziali. La "via di fuga", obbligatoria in base alle normative internazionali ICAO, è orientata lungo l'asse 275°N-095°N, in direzione del Velodromo

Vigorelli, senza interferenze con i futuri grattacieli previsti nell'ambito del progetto CityLife.

La figura qui di seguito (fig. 3) illustra le rotte di atterraggio/decollo inserite nel contesto urbanistico esistente, caratterizzato, come si può subito notare, da un'elevata densità abitativa e con edifici anche di notevole altezza, fino a 8-10 piani.

I velivoli di riferimento per l'elisuperficie sono l'AW 139, l'AW 109 Power, il Grand New, l'AS 355 ed il SA 365. La struttura è inoltre completata da un Heliport Terminal per i passeggeri, ricavato sul piano di copertura del Padiglione del Portello, collegato all'eliporto tramite ascensore e scale.

Figura 2 Rendering del progetto del centro congressi

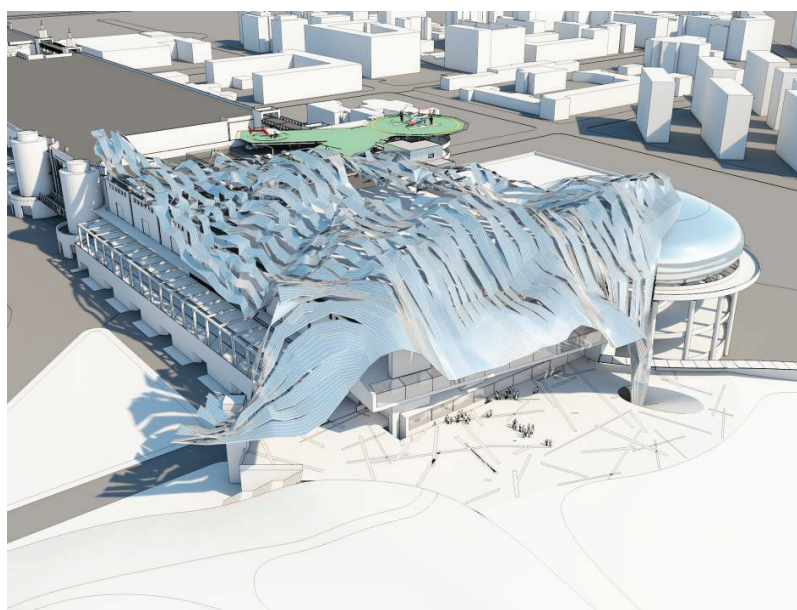


Figura 3 Contesto urbanistico circostante l'area del Portello



DISCRETIZZAZIONE DEL DOMINIO DI SIMULAZIONE

Come si può immediatamente notare dalla precedente immagine (fig. 3), l'area appare particolarmente complessa, con un'elevata urbanizzazione e la presenza di strade più o meno larghe e di edifici di diversa altezza, oltre che di aree non edificate ed a parco. Le elevazioni degli edifici sono state dedotte dalla Cartografia Tecnica Comunale e confrontate con le immagini aerofotogrammetriche più recenti disponibili in rete (Google Earth e Bing Maps). Il posizionamento delle sorgenti puntuali segue la traiettoria di volo per l'atterraggio ed il decollo dall'elisuperficie.

METODOLOGIA DI SIMULAZIONE

Come già precedentemente accennato, l'elevata complessità del sito, dal punto di vista della propagazione acustica, rende indispensabile una sua trattazione mediante un codice di simulazione dalle elevate prestazioni, possibilmente di tipo ray tracing. Non sarebbe infatti corretto trascurare i fenomeni di schermatura, diffrazione e riflessione degli edifici che certamente, in un dominio come quello in esame, giocano un ruolo fondamentale nella determinazione del livello di pressione acustica simulato ai recettori. Un codice di simulazione di tipo aeronautico, generalmente basato, per quanto riguarda il dominio di calcolo, su approssimazioni di terreno piatto, potrebbe non essere in grado di trattare una simile complessità del dominio di calcolo e probabilmente condurrebbe a sottostime dei livelli anche di qualche decibel.

Il ridotto numero di movimenti inoltre, rende necessario trattare la sorgente "elicottero in volo" come una sorgente puntuale standard in movimento, piuttosto che come una linea di emissione corrispondente ad una traiettoria di volo aeronautico. La complicazione consiste nel fatto che tale sorgente puntuale ha caratteristiche di mobilità nel tempo che ne rendono difficoltosa la trattazione secondo le usuali procedure di simulazione adottate dai diversi codici di calcolo oggi disponibili: essi infatti, nel caso di presenza di una molteplicità di sorgenti, anche di vario tipo (puntuali, lineari, areali, strade, ferrovie, linee di volo, ecc.), ne assumono, per default, la contemporaneità dell'emissione acustica. Tale contemporaneità implica che il risultato finale della simulazione sia

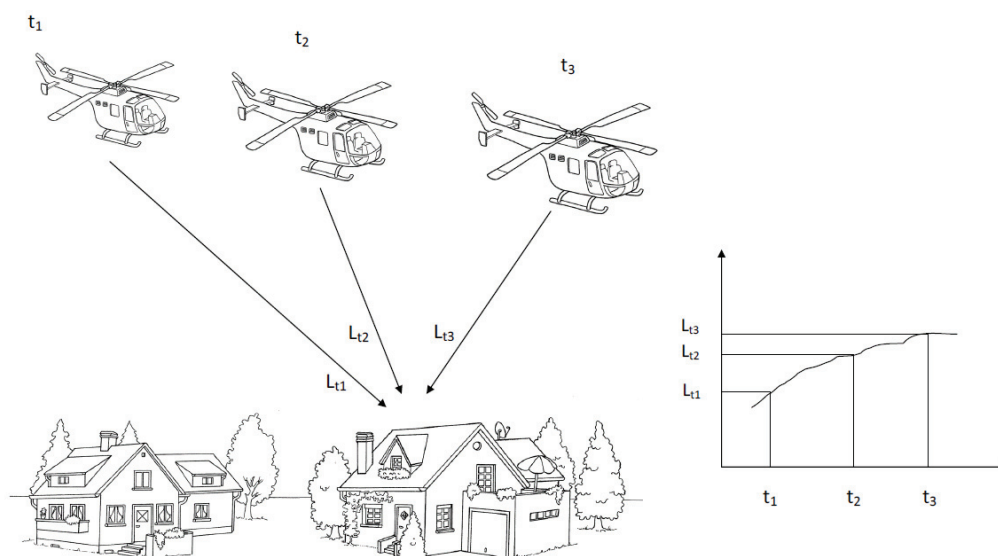
costituito dalla sovrapposizione dei singoli livelli di sorgente, a determinare un livello equivalente complessivo riferito a tutto il periodo di simulazione (eventualmente anche tutto il periodo diurno e/o notturno), durante il quale le sorgenti risultano tutte contemporaneamente attive.

La situazione in esame presuppone invece che la sorgente “elicottero in volo”, approssimata come una sorgente puntuale sopraelevata, debba essere tratta come una sorgente mobile, ovvero che, per uno specifico recettore, il contributo della sorgente quando essa si trova in un determinato punto della traiettoria, non debba essere contemporaneamente sovrapposto al contributo apportato della stessa sorgente relativo ad un'altra posizione, precedente o successiva, lungo la traiettoria di volo: la sorgente non si raddoppia, ma si sposta, quindi è attiva solo dalla posizione in cui si trova nello specifico istante di volo. In pratica, la sorgente risulta attiva solo per il periodo di tempo che il velivolo impiega per spostarsi da un punto della traiettoria di volo al punto successivo di discretizzazione della sorgente.

La situazione può essere trattata suddividendo la traiettoria di volo in segmenti successivi, separati da una distanza determinata in funzione della velocità istantanea del velivolo, ed assumendo che, per ciascuno di essi, l'emissione della sorgente “elicottero in volo” sia rappresentabile mediante una sorgente puntuale sopraelevata. In questo modo si ottiene una successione di sorgenti puntuali, posizionate lungo la linea di volo, separate tra loro da una distanza direttamente proporzionale alla velocità istantanea del velivolo, ovvero che si riduce all'avvicinarsi al punto di atterraggio, in fase di approccio/atterraggio, o che cresce all'allontanarsi dal punto di decollo, in fase di decollo/allontanamento.

Dal punto di vista del recettore è poi necessario trattare disgiuntamente il contributo acustico generato, su di esso, delle singole sorgenti puntuali della linea di volo: la serie dei contributi specifici delle singole sorgenti puntuali può costituire una serie temporale virtuale, simulata al recettore, che descrive la successione dei livelli prodotti dalle varie sorgenti puntuali al recettore stesso nel corso dell'intera operazione di volo analizzata (decollo/atterraggio). Una volta noto il tempo di attività delle singole sorgenti, è così possibile determinare il livello equivalente simulato al recettore a seguito dell'attivazione successiva, ovvero in sequenza, delle varie sorgenti puntuali ed ottenere, in definitiva, una determinazione simulata del livello cui sono esposti i recettori stessi.

Figura 4 Schematizzazione del metodo adottato per la ricostruzione della serie temporale virtuale dei livelli acustici al recettore



I risultati delle simulazioni condotte, possono quindi essere presentati in termini non di livello equivalente al recettore, generato contemporaneamente dall'insieme di tutte le sorgenti, ma direttamente dalla serie temporale virtuale dei singoli contributi (si veda la precedente fig. 4) che, disgiuntamente, le singole sorgenti producono allo specifico recettore, calcolando

successivamente il livello equivalente al recettore in funzione anche del tempo di attivazione delle singole sorgenti e non solo del loro livello acustico. In definitiva si otterrà, per i vari recettori di interesse, un livello di pressione acustica equivalente che deriva dall'analisi della successione temporale (simulata) dei contributi generati dalle singole sorgenti ai recettori medesimi.

CARATTERIZZAZIONE DELLE SORGENTI EMISSIVE

L'esecuzione di simulazioni acustiche non può prescindere dalla disponibilità di adeguate indicazioni relativamente al livello di potenza acustica generato dalle sorgenti prese in considerazione. Per ciascuna delle sorgenti puntuali elementari, localizzate lungo la traiettoria di volo utilizzata per le operazioni di decollo/allontanamento e approccio/atterraggio dai velivoli provenienti e/o diretti all'elisuperficie in progetto, si è quindi proceduto a fissare adeguati valori emissivi in termini di livello di potenza acustica. Allo scopo è stata interpellata l'Azienda costruttrice del modello di elicottero di riferimento per l'elisuperficie in esame, AgustaWestland, che si è resa subito ampiamente disponibile a fornire i dati di certificazione del modello AW139.

Come noto i dati di certificazione acustica per elicotteri sono rilevati sperimentalmente, in condizioni controllate (condizioni meteo, potenza erogata dai motori dell'elicottero e traiettoria GPS di volo), seguendo specifiche procedure aeronautiche: ai velivoli da certificare viene richiesta l'esecuzione ripetuta di tre tipi di manovre, un passaggio a velocità ed altezza costante (horizontal flyover), un atterraggio (approach) ed un decollo (take off).

Sfruttando i dati forniti da AgustaWestland, è stato quindi possibile ottenere una buona caratterizzazione della potenza di emissione del modello di elicottero di riferimento (AgustaWestland AW 139) nelle fasi di decollo e di atterraggio; il valore è stato determinato come media della potenza di emissione calcolata a partire dalla serie temporale dei dati sperimentali di livello misurato, a cadenza di 0.5 secondi, presso le tre postazioni standard di rilievo di certificazione (sotto la linea di volo, e 150 m a sinistra ed a destra della stessa).

Per quanto riguarda le fasi iniziali del decollo e finali dell'atterraggio, non deducibili direttamente dai dati di certificazione, si è ipotizzato che la traiettoria di volo possa essere ottenuta da un'interpolazione lineare del tracciato di certificazione, in modo da far corrispondere il punto di stazionamento finale dell'atterraggio ed iniziale del decollo con il centro della piattaforma dell'elisuperficie in esame.

Infine la separazione relativa dei punti sorgente è stata determinata in funzione della velocità del velivolo nel corso dell'approccio e dell'allontanamento dalla piattaforma di decollo/atterraggio: in prossimità di quest'ultima la velocità del velivolo è ovviamente minore, in entrambe le condizioni di volo (atterraggio e decollo), e conseguentemente le sorgenti elementari sono più vicine tra loro. La distanza tra le sorgenti elementari successive lungo le linee di atterraggio/decollo passa da 5 m, in prossimità dell'elisuperficie, a 20 m nel punto più lontano da essa.

L'orientamento del sentiero di volo è quello previsto in sede di relazione tecnico descrittiva delle opere aeronautiche relative all'elisuperficie in esame, ovvero lungo l'asse 125°N-305°N sia per il decollo che per l'atterraggio, benché con differenti profili altimetrici (si veda la precedente fig. 3).

ESECUZIONE DELLE SIMULAZIONI

All'interno del dominio di simulazione sono stati posizionati complessivamente 518 recettori (si vedano i marker verdi nella precedente fig. 3), dai quali, tuttavia, ne sono stati selezionati 58 di interesse, per i quali il livello di pressione acustica simulato è risultato maggiore o che possano comunque essere rappresentativi di aree particolarmente sensibili.

A ciascuna delle serie temporali virtuali derivanti dalla simulazione ai recettori della fase di atterraggio o di decollo, sono stati poi aggiunti alcuni dati di livello di pressione acustica per completarne la descrizione tenendo conto anche delle operazioni che avvengono al suolo: si è assunto che la manovra completa di atterraggio sia composta da una fase iniziale di avvicinamento in volo, che termina nel momento in cui i pattini dell'elicottero toccano il suolo; la durata di tale fase, sulla base dei dati di certificazione, è stata stimata, per il tratto di volo entro il dominio di simulazione, in circa 25 secondi, e, nel corso del suo svolgimento, i livelli di pressione acustica ai singoli recettori sono stati ricostruiti modellisticamente secondo la procedura sopra descritta. Successivamente, le procedure standard di atterraggio prevedono una fase di ground idle, ovvero

di stazionamento in piattaforma dell'elicottero a motore acceso, durante la quale i motori del velivolo riducono la potenza nell'arco di pochi secondi e si portano quindi ad un funzionamento quasi al minimo. La simulazione di questa fase è avvenuta ipotizzando una riduzione iniziale della potenza dell'elicottero della durata di 3 secondi (riduzione del livello acustico finale di atterraggio simulato di 2 dB(A) al secondo, fino ad un livello di -6 dB(A) rispetto all'atterraggio) ed il successivo mantenimento delle condizioni di ground idle per 1 minuto. Dopo di ciò, si passa normalmente alla terza fase dell'operazione di atterraggio, costituita dallo spegnimento dei motori, per la quale si è ipotizzata una durata di 30 secondi con una riduzione progressiva lineare dei livelli di pressione acustica generati dal velivolo, fino a raggiungere il livello di -40 dB(A) rispetto alla fase di ground idle.

Analogamente, per la manovra di decollo, ai livelli di pressione acustica ricostruiti modellisticamente a partire dall'istante di effettivo stacco dell'elicottero, che, proseguendo fino all'uscita del velivolo dal dominio di calcolo, costituisce la fase simulata di effettivo volo del velivolo, è stata fatta precedere una fase, della durata di 3 secondi, nel corso della quale la potenza del motore è stata fatta crescere in modo da indurre livelli che, a partire da un valore di -6 dB(A) rispetto a quello di stacco, raggiungono il primo valore simulato, ovvero quello appunto di stacco. Precedentemente è stata poi connessa una fase di ground idle a livello costante (sempre -6 dB(A) rispetto al livello di stacco) della durata di 1 minuto ed una fase di accensione dei motori con un'interpolazione lineare dei livelli di pressione acustica, nel corso di 30 secondi, dal livello -40 dB(A) rispetto a quello di ground idle, fino a raggiungere il livello stesso di ground idle.

RISULTATI E LORO DISCUSSIONE

Per la taratura/calibrazione delle simulazioni, è stato utilizzato un recettore posizionato al margine esterno della piattaforma di atterraggio/decollo, ad una distanza dal suo centro pari a 15 m. La distanza del recettore di prova dal centro della piattaforma è la stessa di un punto di rilievo sperimentale utilizzato nel corso di una precedente esperienza di misura, in altro sito, dei livelli generati da operazioni di decollo/atterraggio di un elicottero modello AW 139. Il confronto dei dati rilevati sperimentalmente e simulati secondo la metodologia illustrata, ha mostrato un discreto accordo sia in termini di L_{eq} che in termini di SEL di evento, con scostamenti ridotti a pochi dB.

Per ciascuno dei recettori di interesse è stato quindi possibile ricostruire una serie temporale dei livelli in esso generati dalle diverse sorgenti puntuali sopraelevate che rappresentano le posizioni occupate, in successione, dall'elicottero in fase di atterraggio e/o di decollo. Per il gruppo di recettori illustrati nella seguente fig. 5, i più vicini alla piattaforma, la successiva fig. 6 mostra gli andamenti temporali virtuali simulati, per le operazioni di decollo (sopra) e di atterraggio (sotto).

Figura 5 Localizzazione dei recettori entro una delle aree di interesse

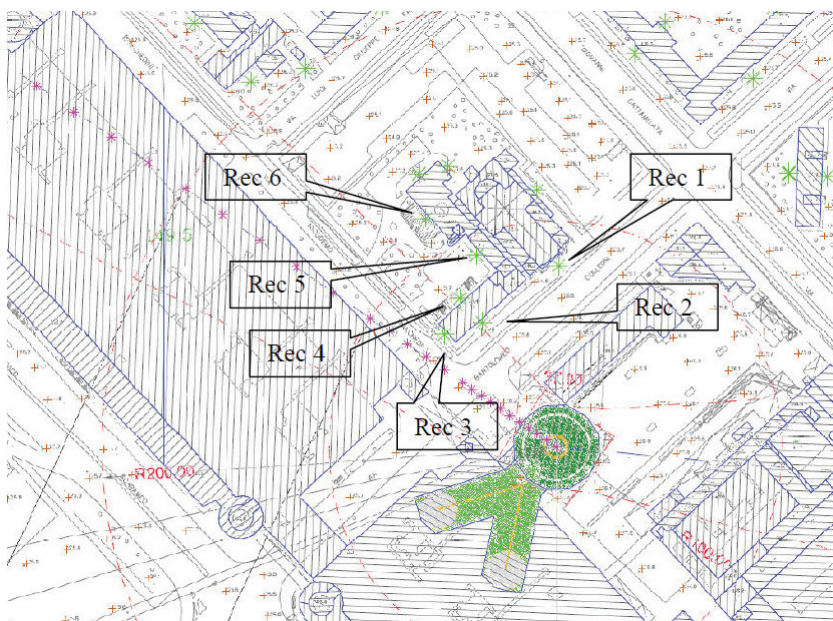
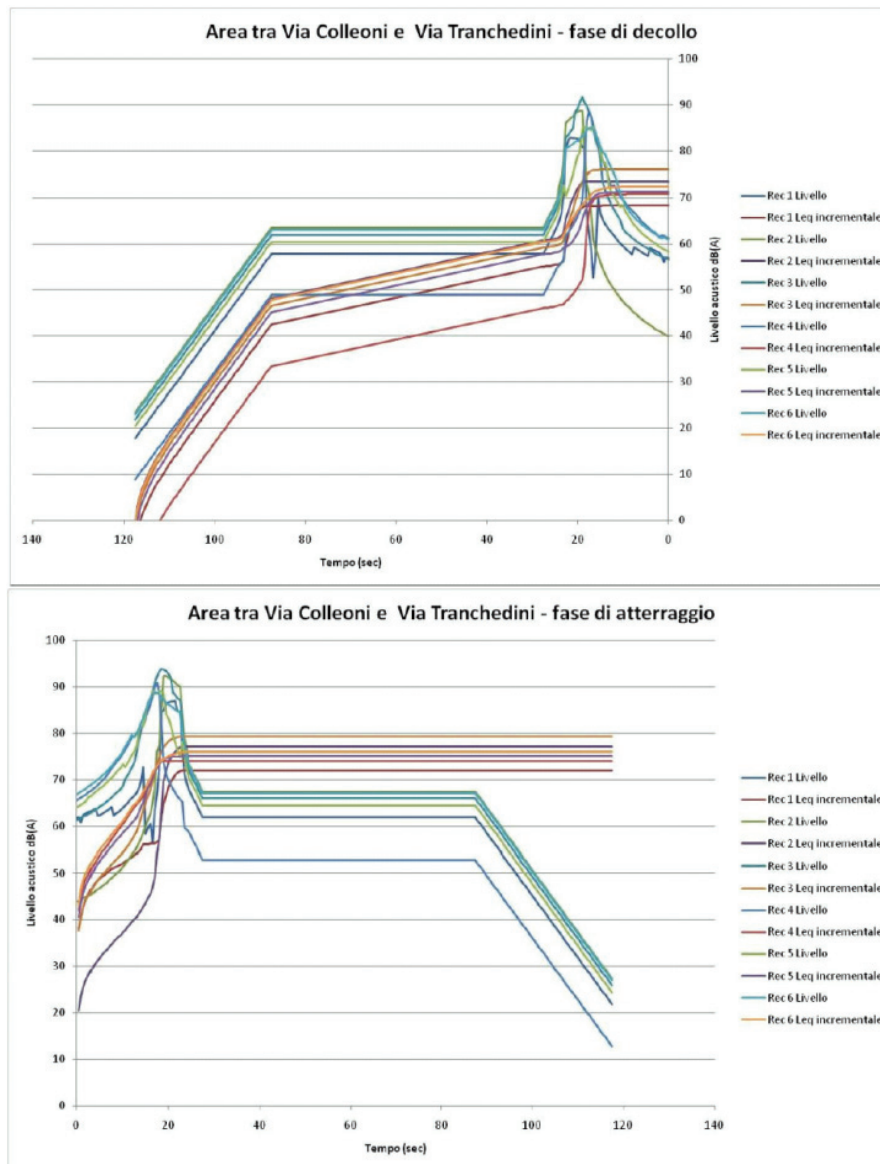


Figura 6 Serie temporali virtuali dei livelli ai recettori per operazioni di decollo (sopra) e di atterraggio (sotto)



Nelle figure delle serie temporali (fig. 6) appaiono particolarmente evidenti le fasi di ground idle, con i livelli che, in fase di decollo (atterraggio), crescono (diminuiscono) all'accensione (spegnimento) dei motori, si mantengono pressoché costanti nella fase di funzionamento al minimo dei motori al suolo, tornano nuovamente a crescere (decrescere) nel momento in cui si incrementa (diminuisce) la potenza appena prima (dopo) lo stacco (il tocco) da terra e seguono poi andamenti alquanto variegati nel corso dell'allontanamento (avvicinamento) dall'elisuperficie (verso l'elisuperficie).

Le variazioni dei livelli rilevabili ai recettori nel corso delle fasi di allontanamento e di avvicinamento dell'elicottero sono imputabili a fenomeni di schermatura dei recettori e/o di riverbero da parte di ostacoli fisici alla propagazione acustica, costituiti dagli edifici presenti nell'intorno dell'elisuperficie. Ciò evidenzia l'elevata raffinatezza dei risultati ottenuti con la metodologia messa a punto, che, nel caso di ambiente urbano ad elevata complessità, si rivela più adatta rispetto all'adozione degli usuali codici di derivazione aeronautica, che potrebbero sottostimare anche di qualche dB i reali livelli acustici.

A partire dalle serie temporali virtuali simulate e nota la durata complessiva dell'evento costituito dalla manovra di decollo e/o di atterraggio (complessivamente 118 secondi), è stato possibile

determinare il livello equivalente sia relativo alla sola durata della manovra, sia su base oraria, oltre che, naturalmente, il SEL dell'evento, indicatore ampiamente utilizzato in ambito aeronautico. La seguente tabella (tab. 1) illustra i risultati di tale calcolo per i recettori illustrati nella precedente fig. 6.

Tabella 1 L_{eq} di evento (118 secondi), orario e SEL per manovre di atterraggio e di decollo

	atterraggio			decollo		
	L_{eq} (118 sec) (dB(A))	SEL (dB(A))	L_{eq} (1 ora) (dB(A))	L_{eq} (118 sec) (dB(A))	SEL (dB(A))	L_{eq} (1 ora) (dB(A))
Recettore 1	71,97	92,69	57,13	68,35	89,07	53,51
Recettore 2	77,08	97,80	62,23	73,46	94,18	58,62
Recettore 3	79,32	100,04	64,48	76,05	96,77	61,21
Recettore 4	73,95	94,67	59,10	70,91	91,63	56,07
Recettore 5	75,05	95,77	60,21	71,27	91,98	56,42
Recettore 6	75,98	96,70	61,14	72,35	93,07	57,51

Dato che ogni velivolo che atterrerà sull'eliperficie in esame, prima o poi, dovrà anche decollare, si è provveduto a determinare il livello equivalente orario relativo all'insieme delle due manovre di atterraggio e di decollo e, infine, al calcolo del livello equivalente, riferito all'intero periodo diurno, determinabile a seguito dell'esecuzione di un numero di manovre complete (atterraggio+decollo) compreso tra 1 e 10 al giorno (tab. 2). Si osservi che, per quasi tutti i recettori, inseriti in aree miste (classe III), il limite diurno di legge (60 dB) viene rispettato, mentre solo per i recettori 3 e 2, entrambi a meno di 10 metri di distanza dalla linea di volo, il limite viene superato in caso, rispettivamente, di 4 e di 6 manovre al giorno.

Tabella 2 L_{eq} orario di movimento (atterraggio+decollo) e L_{eq} diurno per più movimenti al giorno

	L_{eq} (1 ora) (dB(A))			L_{eq} diurno (dB(A))									
	atterraggio	decollo	movimento	1 volo	2 voli	3 voli	4 voli	5 voli	6 voli	7 voli	8 voli	9 voli	10 voli
Recettore 1	57.13	53.51	58.69	55.26	55.60	55.91	56.20	56.47	56.73	56.97	57.20	57.42	57.62
Recettore 2	62.23	58.62	63.80	56.43	57.56	58.46	59.20	59.83	60.39	60.88	61.32	61.72	62.08
Recettore 3	64.48	61.21	66.15	57.38	58.95	60.10	61.01	61.76	62.40	62.96	63.46	63.90	64.30
Recettore 4	59.10	56.07	60.86	55.63	56.26	56.81	57.29	57.73	58.13	58.49	58.83	59.14	59.43
Recettore 5	60.21	56.42	61.73	55.83	56.59	57.24	57.81	58.31	58.76	59.16	59.54	59.88	60.20
Recettore 6	61.14	57.51	62.70	56.09	57.02	57.78	58.44	59.00	59.50	59.95	60.36	60.73	61.07

CONCLUSIONI

La metodologia adottata ha permesso di ricostruire modellisticamente, con un codice di tipo ray tracing, per ciascun recettore esaminato, una serie temporale virtuale dei livelli acustici generati dalle manovre di decollo e di atterraggio di un elicottero di riferimento (AgustaWestland AW 139) presso un'eliperficie in progetto, inserita in un contesto urbano densamente edificato. La qualità della ricostruzione è stata verificata per un recettore campione, confrontando i valori in esso simulati con quelli rilevati sperimentalmente nell'ambito un'analoga esperienza presso un punto di misura posto alla stessa distanza del recettore dal centro della piattaforma di atterraggio (15 metri). Il confronto ha dato scostamenti dei livelli simulati di pochi dB, sia in termini di L_{eq} che di SEL di evento.

Dalla serie temporale virtuale ricostruita modellisticamente per ciascun recettore, sono poi stati determinati tutti gli indicatori acustici di interesse, tra cui il L_{eq} per la sola durata della manovra ed il SEL, il L_{eq} orario equivalente, il L_{eq} per l'intero periodo diurno corrispondente ad un numero di manovre di atterraggio+decollo compreso tra 1 e 10 al giorno.

La metodologia messa a punto sembra quindi poter fornire informazioni attendibili per le necessarie verifiche di legge nel campo dell'acustica ambientale e, in particolare, per la positiva verifica di rispondenza ai vincoli fissati dalla vigente legislazione dei livelli simulati per il velivolo di riferimento (AW 139) presso l'eliperficie in esame.

Bibliografia

Gigante R., "Manuale di acustica applicata", 2006, Ed. Il Sole 24 Ore.
Harris C. M., "Manuale di controllo del rumore", 1992, Ed. Tecniche Nuove.
Spagnolo R., "Manuale di acustica applicata", Novembre 2007, Ed. Hoepli.