

TITOLO

Programma di previsione MITHRA: principi di calcolo ed applicazione al caso di un tratto di tangenziale nell'area Nord Est di Padova

Amadasi G. (1), Mossa G. (1), Riva D. (1)

1) S.C.S. controlli e sistemi Padova

La previsione del rumore da traffico in ambiente esterno, e particolarmente nelle aree densamente urbanizzate, deve tener conto di parecchi parametri: il modello deve prendere in considerazione l'emissione del rumore in funzione delle condizioni del traffico e della propagazione acustica; quest'ultima varia con la topografia del sito, la presenza di ostacoli, la natura del terreno, e nel caso più generale, la variabilità delle condizioni atmosferiche quali il vento ed i gradienti di temperatura.

Basandosi sui risultati di numerose ricerche, il Mithra implementa un algoritmo di calcolo veloce che tiene conto della maggior parte di questi aspetti. Le poche ipotesi semplificative sono state validate da misure, modelli in scala e simulazioni numeriche. In questo modo è stato sviluppato un metodo inverso di tracciamento dei raggi per la ricerca dei percorsi di propagazione delle onde sonore tra un punto di ricezione e l'insieme delle sorgenti di rumore. Il calcolo acustico tiene conto di tutti i parametri rilevanti come la potenza e la direttività della sorgente, la diffrazione dovuta ad edifici e schermi, l'assorbimento e la riflessione dei muri verticali e l'influenza del terreno.

I percorsi di propagazione sono costituiti da una combinazione di raggi diffratti e riflessi; questo permette l'uso del Mithra sia per il calcolo dei livelli in aree urbane densamente abitate, sia in zone aperte, montagnose e a grande distanza.

Inizialmente il software fu studiato per la previsione del rumore ferroviario e da traffico automobilistico, tuttavia la sua applicazione può essere estesa a qualsiasi sorgente se questa si può assimilare ad una linea con un dato livello di potenza per unità di lunghezza.

Verranno nel seguito presentati i diversi algoritmi per il modello geometrico e acustico così come sono stati implementati per la versione su PC. Si descriverà quindi un'applicazione di questo modello al caso della previsione dell'impatto acustico di una nuova tangenziale e degli interventi di mitigazione possibili.

Tracciamento dei raggi su piano bidimensionale

La ricerca dei percorsi tra la sorgente di rumore e il ricevitore si basa su tre ipotesi fondamentali:

1. le superfici di riflessione sono considerate come orizzontali o verticali (edifici e schermi)
2. le sorgenti di rumore possono essere assimilate ad elementi lineari caratterizzati da una potenza per unità di lunghezza e tempo

3. i percorsi che collegano una sorgente a un ricevitore sono reciproci: invertire la posizione di ricevitore e sorgente non influenza la loro rappresentazione.

La prima assunzione implica che l'algoritmo di tracciamento dei raggi può avvenire, per così dire, in due dimensioni e mezzo: un processo iniziale che trova i percorsi potenziali nelle due dimensioni; un processo secondario che calcola la propagazione verticale solo per quei raggi presi in considerazione nel processo precedente. Il secondo punto si riferisce ad una semplificazione tipica dei metodi Ray-tracing: l'obiettivo da raggiungere non è un punto ma una linea (l'emissione sonora di una strada o di una ferrovia può essere assimilata ad una sorgente lineare con buona approssimazione). Il terzo assunto permette di utilizzare il ricevitore come punto di partenza per il tracciamento dei raggi invece che, al contrario, lanciare un gran numero di raggi da numerose sorgenti puntuali con un notevole aggravo della mole di calcoli. I calcoli vengono effettuati singolarmente per punto di ricezione. Un piccolo numero di raggi (da 100 a 1000) viene inviato nel sito a due dimensioni. Per ogni singolo raggio, avviene uno sdoppiamento ogni qualvolta la traiettoria interseca un elemento lineare del sito (uno schermo, un muro ecc.), generando un raggio riflesso o diffratto.

La generazione di raggi è limitata ad un numero massimo di riflessioni (impostabile all'interno del programma), quando viene raggiunta una distanza massima di propagazione o quando il raggio fuoriesce dai limiti del sito. La complessità dell'algoritmo è proporzionale al numero di raggi generati dal ricevitore, ma aumenta esponenzialmente con il numero di riflessioni. Nella maggior parte dei casi pratici quindi, un buon compromesso tra accuratezza e tempo di calcolo, si ottiene limitando il numero di riflessioni da 3 a 5.

Percorsi tridimensionali

Quando un raggio incontra una sorgente lineare, parte un secondo processo per trovare il percorso anche nella terza dimensione; viene quindi costruita una sezione verticale lungo il percorso del raggio.

Soltanto le sezioni corrispondenti a tracciati fisicamente possibili vengono considerate, mentre le traiettorie che non intersecano segmenti di sorgente vengono abbandonate. Questo metodo di ricerca si adatta molto bene all'utilizzo di un Pc, essendo molto rapido in quanto vengono calcolate solo le traiettorie fisicamente possibili.

Modello della sorgente

Il calcolo acustico avviene per ogni raggio selezionato dal processo geometrico. Se il settore angolare è sufficientemente stretto (alcuni gradi) si può ammettere che la topografia rappresentata dalla sezione verticale non vari in maniera apprezzabile all'interno di un piccolo cono angolare.

Se N è il numero di raggi lanciati dal ricevitore, l'angolo superiore del cono sarà uguale a $d\theta = 2\pi/N$

La lunghezza dx della sorgente lineare tagliata dal settore angolare è data da

$$dx = \frac{rdq}{\cos q}$$

dove r è la distanza totale coperta dal raggio (misurata nella sezione) e θ l'angolo tra il raggio e la normale alla sorgente di rumore.

Date queste condizioni, il problema da risolvere diventa equivalente a un calcolo bidimensionale nella sezione tra il ricettore e la sorgente. La potenza equivalente associata alla sorgente puntuale è $dW=Wdx$ dove W è la potenza per unità di lunghezza della sorgente. Per il rumore stradale la sorgente puntuale può essere presa omnidirezionale, per il rumore ferroviario è necessaria una correzione per tener conto della direttività del contatto ruota ferrovia.

L'altezza della sorgente dal terreno per il rumore stradale è fissata a 0.3 m mentre per i treni a 0.8 m; per il rumore industriale l'altezza della sorgente può essere inserita manualmente.

La potenza della sorgente per il rumore da traffico stradale è calcolata sulla base dei dati di traffico secondo la seguente formula

$$LW = LW_{VL} + 10 \lg \left(\frac{Q + Q \cdot \text{perc. PL} \cdot (EQ - 1) / 100}{V_{50}} \right) - 30 \text{dB} / m$$

in cui Q è la densità di flusso (veicoli per ora e per linea di traffico) e **perc.PL** la percentuale di veicoli pesanti.

V_{50} la velocità media del flusso di veicoli. La potenza acustica di un veicolo leggero LW_{VL} è calcolata come $46 + 30 \lg(V_{50})$. Il fattore di equivalenza per i veicoli pesanti **EQ** proviene dagli standard francesi NF S 31-085. Per la superficie d'asfalto viene utilizzato uno spettro in banda d'ottava ISO con i seguenti valori

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Spettro ISO	1	-2,5	-4,5	-3,5	-8	-13

Lo spettro è normalizzato a un livello globale di 0dB(A).

Per gli asfalti porosi e velocità superiori a 100Km/h il livello di potenza è ridotto in media di 3,5dB(A), con uno spettro ottenuto da misure in sito. Per velocità inferiori a 50 Km/h gli asfalti porosi sono senza effetto, tra i 50 e i 100 Km/h viene utilizzata una variazione lineare dell'attenuazione.

Perdita per propagazione

Il calcolo acustico lungo i percorsi di propagazione include una divergenza sferica e un assorbimento atmosferico $1/d^2$ in accordo alla ISO 9616-1. Le riflessioni ed i muri verticali vengono tenuti in considerazione attraverso il coefficiente di assorbimento di Sabine.

L'attenuazione per diffrazione è data dalla formula di Kurze-Anderson che offre un'ottima approssimazione nel caso di questi schermi.

L'effetto del terreno è calcolato in accordo con il modello di propagazione di Chien e Soroka. L'impedenza del terreno è legata ad un singolo parametro. Il valore standard è $\sigma=600 \cdot 10^3$ MKS corrispondente a una superficie dura.

Uso pratico del Mithra

Il Mithra include differenti moduli per la previsione dei livelli di rumore da traffico e per analizzare l'importante parametro della propagazione del suono. Molti strumenti utili sono stati

aggiunti per aiutare l'operatore a predisporre uno schema di protezione acustica. Il modulo interattivo di visualizzazione dei raggi permette di visualizzare i percorsi dei raggi e di fare una analisi dettagliata dei loro contributi. Attraverso l'uso delle sezioni è agevole determinare l'altezza minima di un eventuale schermo di protezione.

Tutti i fenomeni come l'assorbimento dei muri, la perdita per diffrazione e l'effetto del terreno sono caratterizzati in banda d'ottava. Questa informazione può aiutare l'utilizzatore per un appropriato trattamento acustico. I contributi di ciascuna strada e di ciascuna via di traffico possono essere calcolati separatamente.

Più di 400 progetti sono stati studiati mediante questo programma e il confronto fra le previsioni ottenute e le misure in sito ha evidenziato in molte situazioni un buon accordo.

Al fine di migliorare la previsione a grandi distanze è allo studio una nuova versione di questo programma che tiene conto dell'effetto del vento e dei gradienti di temperatura; è in corso di svolgimento la sua validazione.

Applicazione:

“Valutazione dell'impatto da rumore dovuto alla costruzione di una nuova infrastruttura stradale: simulazione e valutazione costi/efficacia degli interventi di risanamento”

Mediante l'uso del Mithra è stata fatta, in occasione di una tesi di laurea del Dipartimento di Analisi Economica e Sociale del Territorio della facoltà di Architettura di Venezia, una valutazione dell'impatto acustico dovuto ad una nuova tangenziale nella zona Nord-Est di Padova; sono stati simulati alcuni interventi di risanamento tra cui barriere ed asfalti fonoassorbenti; infine è stata ipotizzata una valutazione costi-efficacia del piano di risanamento proposto con indicazioni utili alla pianificazione. Mediante l'utilizzo del Mithra è stato possibile valutare ex ante l'efficacia tecnica ed economica delle opere di mitigazione. L'obiettivo generale da raggiungere era l'estrapolazione di un metodo organico di intervento attuabile da un'amministrazione pubblica nel caso di impatti acustici stradali, fornendo nel contempo uno strumento di valutazione utile nei processi decisionali pubblici.

A partire dalla valutazione del rumore sul territorio dovuto alla costruzione della nuova tangenziale, si è provveduto ad associare, ad ogni edificio e piano per piano, i livelli di rumore previsti, utilizzando uno strumento pianificatorio simile al “catasto del rumore” previsto dalla legislazione svizzera. Noti gli abitanti presenti edificio per edificio e piano per piano, nonché i livelli di rumore attuali, è stato previsto il beneficio dovuto all'utilizzo di diverse soluzioni di risanamento sulla popolazione. I parametri presi in considerazione a tal fine sono stati diversi in funzione di differenti criteri di valutazione del disturbo: sono stati prima di tutto valutati gli abitanti che rientrerebbero, dopo l'intervento di risanamento, nei limiti di zona previsti dal DPCM 1991 definendoli “risanati”; seguendo un secondo criterio sono stati presi in considerazione i “disturbati” ossia la percentuale di persone che, secondo le curve di correlazione “livello di rumore/percentuale di disturbati” (per es. Shultz, o Franchini nell'esperienza di Modena), saranno sicuramente disturbate in funzione di un determinato livello di rumore. Seguendo questi due approcci è stata valutata l'efficacia tecnica del risanamento, confrontandola poi con i costi delle varie soluzioni di mitigazione del rumore proposte. Ne sono scaturiti degli indici di valutazione $N = \text{efficacia}/\text{costo}$ tali da fornire un indicatore sintetico da proporre al decisore pubblico.

E' emersa inoltre la necessità di utilizzare, al fine di una corretta pianificazione del rumore ed in vista dei nuovi orientamenti prospettati dalla nuova legge quadro, lo strumento del “catasto del

rumore” unito ad un programma di previsione dell’impatto acustico come il Mithra; si potrebbe così inserire il problema rumore all’interno del PRG comunale, sia nel caso di impatti dovuti a nuove strade sia nel caso di impatti dovuti a sorgenti di rumore di altro tipo (rumore ferroviario, industria ecc.), favorendo una corretta pianificazione delle destinazioni d’uso, fino ad oggi incurante del problema rumore.