

LA MAPPA ACUSTICA DINAMICA DI MILANO DA UN NUMERO LIMITATO DI PUNTI DI MONITORAGGIO. PRIMI RISULTATI

MILAN DYNAMIC NOISE MAPPING FROM FEW MONITORING STATIONS. FIRST RESULTS

Giovanni Zambon *, Roberto Benocci, Alessandro Bisceglie

Università degli Studi di Milano Bicocca

* Indirizzo dell'autore di riferimento - Corresponding author's address:

Piazza della Scienza 1, 20126, Milano, Italy

e-mail: giovanni.zambon@unimib.it

(Ricevuto il 06/07/2015, accettato il 30/09/2016)

RIASSUNTO

Il questa memoria sono riportati i primi risultati del progetto Dynamap relativi all'area pilota di Milano. Il progetto sviluppa un approccio alla rappresentazione del rumore derivante da traffico stradale che consenta una mappatura acustica dinamica attraverso la scalatura di mappe precalcolate mediante un collegamento diretto con un numero limitato di stazioni di monitoraggio. La possibilità di controllare la mappa acustica di una rete stradale estesa mediante pochi punti di controllo si attua mediante una necessaria aggregazione degli archi stradali in gruppi omogenei.

ABSTRACT

This memory reports the first results of Dynamap project related to the Milan pilot area. The project develops an approach to represent road traffic noise with the outcome of a dynamic noise mapping achieved through the scaling of precalculated maps; scaling is based upon a direct connection to a limited number of noise monitoring stations. The possibility of controlling the acoustic map of an extended road network by means of a few monitoring sites is implemented through a preliminary aggregation of road stretches into homogeneous groups.

parole chiave: mappatura acustica; rumore da traffico stradale; analisi cluster; campionamento spaziale.

keywords: noise map; road traffic noise; cluster analysis; spatial sampling.

1. Introduzione

Il rumore da traffico veicolare è oggetto da anni di numerosi studi volti a indagarne l'impatto sul territorio e sulla popolazione [1-6]. Inizialmente, il rumore ambientale è stato studiato utilizzando un campionamento sistematico, ovvero selezionando punti di misura mediante la sovrapposizione di griglie su una mappa [2, 7]. Tuttavia, questo approccio si è dimostrato lungo e dispendioso per le amministrazioni stradali e le autorità locali o centrali, oltre a fornire mappe imprecise. In generale, il rumore emesso da una strada dipende dai suoi volumi di traffico, dalla funzione nel contesto urbano, e da caratteristiche quali larghezza, presenza di superfici riflettenti o altri ostacoli, tipo di pavimentazione, ecc.

Gli algoritmi di simulazione acustici, implementati all'interno di software, permettono di stimare le emissioni e la propagazione del rumore su una area vasta, a partire da alcune informazioni statiche relative alle sorgenti sonore mediate su lungo periodo e all'ambiente di propagazione. Il progetto Dynamap ha lo scopo di sviluppare un approccio che consenta una mappatura acustica dinamica, in grado cioè di fornire livelli di rumore ambientale aggiornati, in tempo reale, attraverso la scalatura di mappe acustiche precalcolate mediante un collegamento diretto con un numero limitato di stazioni di monitoraggio. La possibilità di controllare la mappa acustica di una rete stradale estesa mediante pochi punti di controllo si attua mediante una necessaria aggregazione degli archi stradali in gruppi omogenei (mediante una procedura di cluster analysis). Per una migliore descrizione del comportamento acustico della rete stradale di Milano, si è adottato un metodo di aggregazione basato sulla similarità degli andamenti dei livelli orari equivalenti di rumore (L_{Aeq}) sulle 24 ore. Tali profili di rumore, una volta normalizzati, rappresentano uno strumento di aggregazione delle strade strettamente legato alle dinamiche veicolari, permettendo quindi una più reale descrizione della rete. Per ottenere la mappa acustica dinamica di una vasta area urbana è necessario che tutti gli archi da mappare siano assegnati a un gruppo. A tale scopo, poiché solo di poche strade si conoscono i livelli sonori, è stato selezionato il parametro non acustico che meglio permette l'attribuzione di un arco non monitorato ad uno dei gruppi ottenuti per mezzo delle strade monitorate. In base al valore del parametro non acustico saranno infine selezionati gli archi stradali presso i quali verranno installati i sistemi di monitoraggio utilizzati per rappresentare l'intera rete stradale.

2. Analisi statistica dei profili acustici

Il dataset considerato nel presente lavoro comprende i risultati di una campagna di monitoraggio condotta nella città di Milano ed è costituito da 93 andamenti giornalieri di livelli equivalenti orari misurati, appartenenti a 8 tipologie funzionali di strade (da A a F e sotto-gruppi, secondo il Nuovo Codice della Strada). Tutti i dati sono riferiti a giorni feriali, in assenza di pioggia come prescritto dal D.M. Ambiente 16/3/1998, e sono stati processati in modo da comprendere unicamente il contributo sonoro da traffico veicolare [11].

A causa della non omogeneità dei profili, legata alle condizioni di misura sito-specifiche quali la distanza dalla sorgente o la presenza di conformazioni urbanistiche differenti, è stato necessario normalizzare ogni i -esimo livello equivalente orario L_{Aeqij} della j -esima serie temporale per garantirne la confrontabilità.

La normalizzazione è stata condotta rispetto al livello equivalente del periodo di riferimento diurno L_{Aeqdj} secondo la seguente espressione:

$$(1) \quad \delta_{ij} = L_{Aeqh_{ij}} - L_{Aeqd_j} \quad (i = 1 \text{ h}, \dots, 24 \text{ h}; j = 1, \dots, 93) \quad [\text{dB}]$$

In Fig. 1 si riporta un esempio di normalizzazione di un profilo orario di 24 ore.

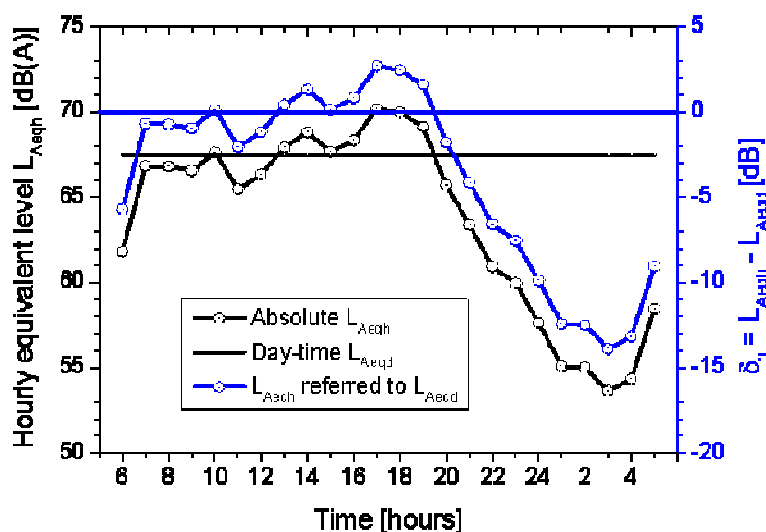


Figura 1- Esempio di normalizzazione del profilo temporale giornaliero di rumore
- Example of the normalization of a 24 h noise profile.

Questa procedura consente di evidenziare, quindi, le dinamiche del traffico proprie della strada in considerazione indipendentemente dal volume.

Per i siti ove erano presenti monitoraggi di più giornate, la serie temporale considerata è stata calcolata come mediana dei valori di δ_{ij} . La mediana è stata scelta perché meno influenzata dalla presenza di outliers.

L'approccio di raggruppamento degli archi basato sulle classi funzionali non consente una discriminazione degli effettivi "comportamenti acustici" sostenuti dalle diverse arterie stradali, come emerge analizzando la distribuzione dei profili acustici di strade appartenenti alle classi D, E, F del territorio comunale milanese. Nella Fig. 2, infatti, si nota come tali profili presentino ampi intervalli orari in cui risultano sovrapposti. Si è deciso quindi di analizzare i monitoraggi continui di 24 ore (andamenti di livelli equivalenti orari normalizzati), sulla base di similarità statistiche mediante una analisi di cluster.

In altre parole, l'obiettivo è quello di modificare l'approccio al campionamento stratificato del rumore da traffico urbano, basato sulla classificazione legislativa delle strade, definendo una nuova stratificazione basata su una categorizzazione in cluster, come proposto in precedenti studi [8-11]. A questo scopo, sono state applicate tecniche di clusterizzazione non controllate (unsupervised clustering algorithms) per raggruppare i profili di 24 ore di livello equivalente orario normalizzato, δ_{ij} , che risultano essere statisticamente simili.

Nel caso in esame sono stati applicati i seguenti algoritmi:

- aggregazione gerarchica, usando l'algoritmo di Ward [12];
- algoritmo K-means [13];
- Partitioning Around Medoids (PAM) [14];
- Expectation Maximization algoritmo implementato nel "mclust" package [15,16].

I risultati ottenuti mediante il software open source “R”, [17], assegnano le migliori performance di clusterizzazione alla soluzione a 2 cluster, ottenuti con tecnica di clustering gerarchico (algoritmo di Ward).

La Fig. 3 mostra i profili dei valori medi normalizzati $\bar{\delta}$ e la corrispondente deviazione standard per ciascun cluster.

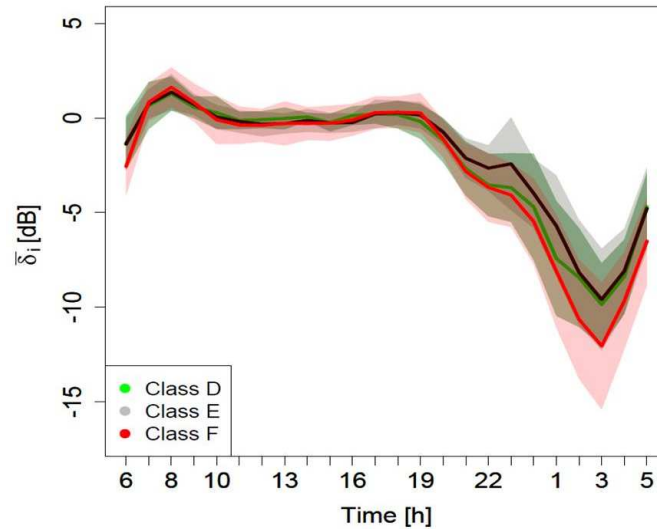


Figura 2 - Profili di rumore medi normalizzati, $\bar{\delta}$, dei siti monitorati raggruppati per classi funzionali con bande di incertezza - 24 h mean normalized level profiles, $\bar{\delta}$, of the monitored sites with uncertainty ($\pm\sigma$) grouped by functional classes.

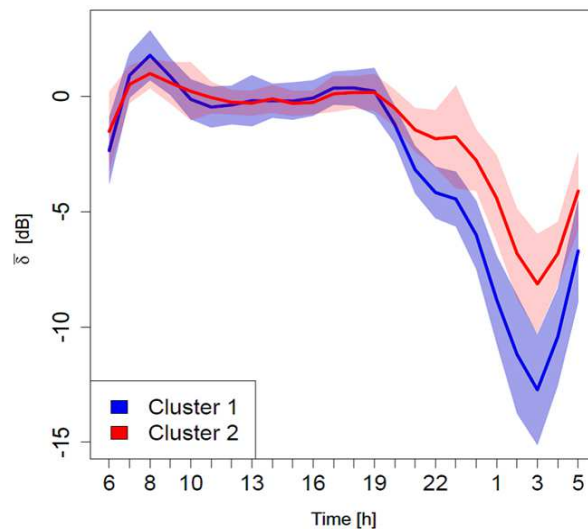


Figura 3 - Profili di rumore medi normalizzati, $\bar{\delta}$, per ciascun cluster con rispettive bande di incertezza ($\pm\sigma$) - Mean normalized cluster profiles, $\bar{\delta}$ and the corresponding uncertainty ($\pm\sigma$).

3. Analisi di profili temporali con diversa discretizzazione temporale

Un aspetto importante in tema di mappature dinamiche riguarda la definizione del minore intervallo di tempo con cui la mappa può essere aggiornata senza una perdita significativa di informazione rispetto al dato di riferimento (livello equivalente orario). A questo scopo, dai dati originali sono stati ricalcolati cinque nuovi profili di rumore con risoluzione temporale di 30, 20, 15, 10, 5 minuti. Ogni profilo è stato analizzato statisticamente; la figura 4 riporta i risultati dei valori medi $\bar{\delta}$, rispettivamente per il cluster 1 e per il cluster 2.

I profili a “bassa” e ad “alta” risoluzione temporale presentano andamenti piuttosto simili, con alcune eccezioni specialmente nel periodo notturno.

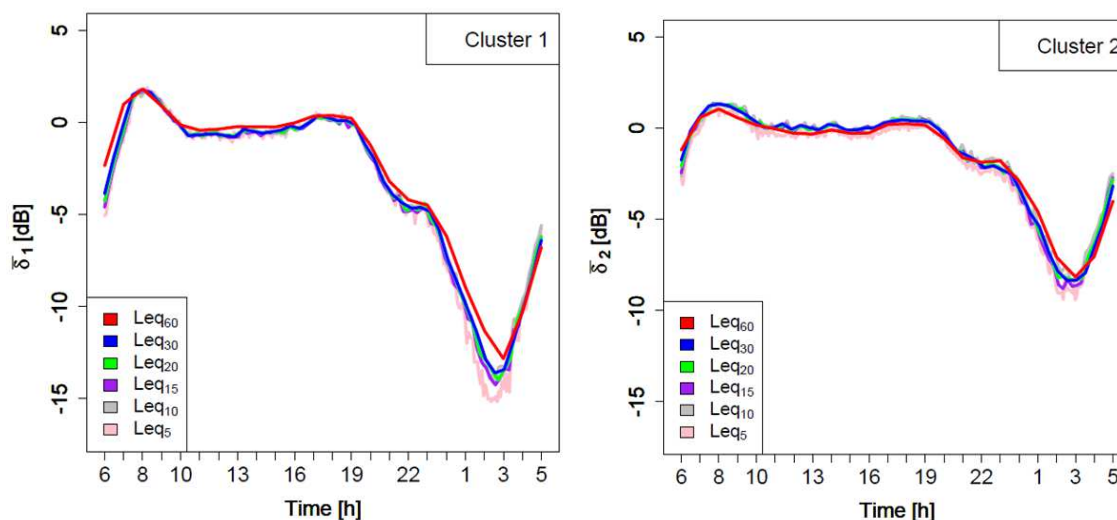


Figura 4 - Confronto tra profili medi, $\bar{\delta}_1$ (cluster 1) e $\bar{\delta}_2$ (cluster 2) con differenti discretizzazioni temporali - Comparison between mean profiles, $\bar{\delta}_1$ (cluster 1) and $\bar{\delta}_2$ (cluster 2) for different temporal discretization.

La figura 5 riporta la deviazione standard associata al cluster 1 e al cluster 2, in funzione del tempo. Durante il periodo diurno la discretizzazione temporale di 60 minuti mostra valori di circa 1 dB, che crescono a 2-3 dB nel periodo notturno. Gli altri intervalli di discretizzazione presentano valori di deviazione standard σ di circa 2 dB nel diurno, mentre nel notturno si passa da valori di 3-4 dB per i 30 minuti fino a 4-6 dB per i 5 minuti. L’alta variabilità del rumore da traffico tende ad amplificarsi durante la notte, specialmente con intervalli di integrazione brevi.

Sempre la figura 5 fornisce indicazioni sulla possibile scelta dell’intervallo di rappresentazione della mappa dinamica allo scopo di contenere i valori di incertezza al di sotto di un limite prefissato.

Sulla base di questi risultati, e anche considerando la maggior necessità di osservare le dinamiche del traffico durante il periodo diurno, il tempo di aggiornamento sarà diversificato nei diversi periodi della giornata secondo la seguente suddivisione:

- 07h-21h;
- 21h-01h;
- 01h-07h.

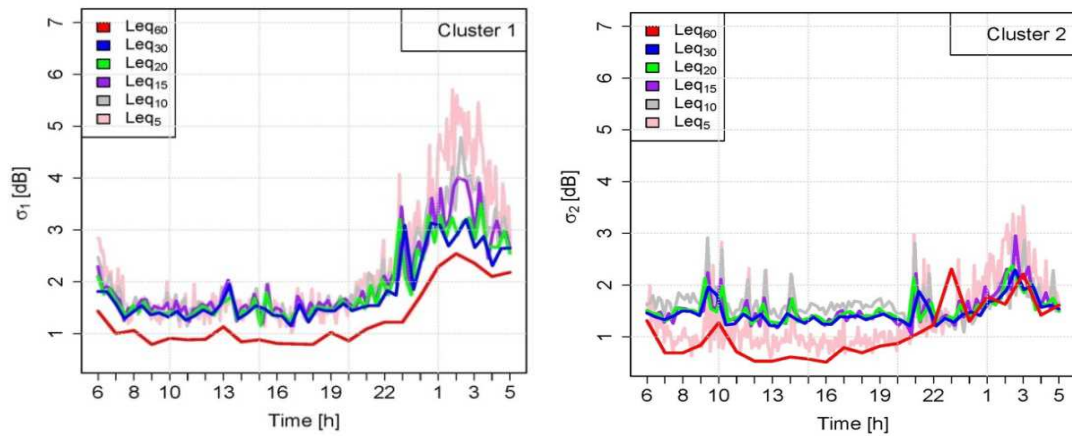


Figura 5 - Deviazione standard (σ) in funzione del tempo per i cluster 1 e 2 e differenti discretizzazioni temporali - Standard deviation (σ) as a function of time for cluster 1 and 2 and different temporal discretization.

In figura 6 sono riportate le deviazioni standard medie come funzione del tempo di integrazione e per i tre intervalli di tempo sopra elencati. Si può chiaramente riconoscere come per l'intervallo di tempo 07 h-21 h sia ragionevole utilizzare un tempo di aggiornamento della mappa acustica di 5 min. Infatti, tale intervallo presenta una deviazione standard inferiore a 1.5 dB, confrontabile con un tempo di integrazione di 60 min. Per l'intervallo 21h-01h, un tempo di aggiornamento di 15 minuti sembra rappresentare un buon compromesso tra brevità del tempo di integrazione e accuratezza. Per l'intervallo notturno, il tempo di integrazione può essere portato a un'ora. Questa scelta ha il vantaggio di mantenere l'incertezza abbastanza costante nell'arco della giornata (inferiore a $\sigma=1.5$ dB con "variabilità" $\Delta\sigma=0.3$ dB per il periodo diurno, $\sigma=2.1$ dB e $\Delta\sigma=0.5$ dB per il periodo serale e $\sigma=2.1$ dB e $\Delta\sigma=0.4$ dB per il notturno) agendo sul tempo di integrazione.

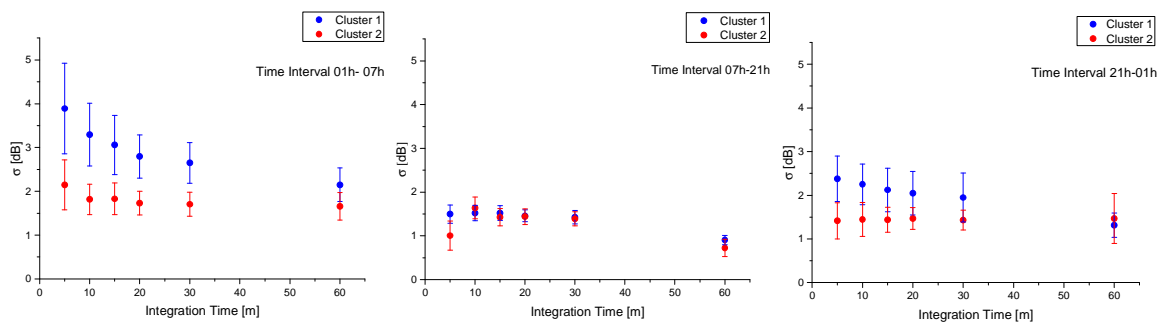


Figura 6 - Deviazione standard media, σ , [dB] in funzione del tempo di integrazione e per diversi intervalli giornalieri - Mean standard deviations, σ , [dB] as a function of integration time for the different time intervals.

4. Associazione degli archi stradali dell'intera rete ai profili acustici

La distribuzione dei profili in gruppi ottenuta con la *cluster analysis* applicata al campione di strade monitorate è strettamente correlata all'effettivo utilizzo della strada e corrisponde a una reale descrizione delle dinamiche viabilistiche urbane. Questo risultato però può essere direttamente utilizzabile solo se collegato a un parametro (parametro non-acustico) che determini l'associazione di ogni arco stradale (non facente parte del campione monitorato) con uno dei due cluster. La scelta del parametro non acustico dovrà essere effettuata tra le grandezze il cui valore è noto per l'intera popolazione di strade urbane e dovrà essere quello che meglio discrimina i due cluster.

Un insieme di dati estesi all'intera rete stradale e connessi alle dinamiche acustiche è rappresentato dai flussi veicolari circolanti. AMAT ha messo a disposizione un modello di simulazione della rete stradale, definito tecnicamente come "macromodello di assegnazione statica all'equilibrio", che consiste nell'assegnazione agli archi di un grafo, che rappresenta schematicamente la rete stradale di Milano e di 39 comuni dell'hinterland, di flussi di traffico definiti mediante apposite matrici origine/destinazione. Ad ogni tratto stradale, compreso tra due incroci o nodi, viene pertanto fatto corrispondere un arco del grafo, a cui il modello assegna le seguenti informazioni:

- flusso orario per 24 ore;
- caratterizzazione traffico per tipologia veicoli;
- capacità massima oraria.

Il parametro non acustico può essere scelto considerando una funzione dei flussi veicolari circolanti relativi a due o più ore della giornata. Per la definizione del parametro X è stato considerato il valore del logaritmo del flusso veicolare $F_{i,j}$, a orari differenti ($i, j = 1h, \dots, 24h$), sommati secondo la seguente formula:

$$(2) \quad X = \sqrt{(\log F_i)^2 + (\log F_j)^2}$$

dove F_i e F_j sono i flussi alle ore i e j .

In alternativa può essere considerato come parametro non acustico il logaritmo di T_d (flusso del traffico giornaliero nel periodo diurno, 06-22), di T_n (flusso del traffico notturno, 22-06), le loro combinazioni e il logaritmo del flusso giornaliero totale T_t .

Per orientare la scelta del parametro non-acustico più affidabile, sono state utilizzate le curve ROC (Receiver Operating Characteristic [18]) ovvero degli schemi grafici impiegati per un classificatore binario. L'indicatore relativo all'"Area Sotto la Curva" (Area Under the Curve, AUC) equivale alla probabilità che il risultato del test effettuato su un elemento estratto a caso dal gruppo di strade con parametro non-acustico superiore alla soglia appartenga al cluster designato. Nella tabella 1 sono riportati i valori di soglia e di "Area sotto la Curva" per ciascun parametro non-acustico.

I risultati migliori sono stati ottenuti per $\log T_n$ e sue combinazioni. Tuttavia, il calcolo di T_n a partire dai dati forniti dal modello di simulazione del traffico sopracitato risulta affetto da un'elevata incertezza, poiché per le strade minori, talvolta, il valore del flusso veicolare per alcune ore notturne può risultare molto basso o nullo, o comunque poco attendibile. Per questo motivo si è optato per la scelta di $\log T_t$ quale parametro non acustico.

Tabella 1 - Valore di soglia del classificatore binario e corrispondente “Area Sotto la Curva” - Threshold values of the binary classifier and corresponding AUC.

<i>Parametro non acustico</i>	<i>Valore di soglia</i>	<i>Area sotto la curva (AUC) %</i>
$X = \log T_t$	4.45	79.6
$X = \log T_d$	4.42	79.1
$X = \log T_n$	3.21	81.3
$X = \sqrt{(\log F_{8-9})^2 + (\log F_{21-22})^2}$	4.16	78.9
$X = \sqrt{(\log F_{8-9})^2 + (\log F_{18-19})^2}$	4.69	77.5
$X = \sqrt{(\log F_{8-9})^2 + (\log F_{3-4})^2}$	3.65	79.2
$X = \sqrt{(\log F_{8-9})^2 + (\log F_{21-22})^2 + (\log T_n)^2}$	6.20	79.1
$X = \sqrt{(\log F_{8-9})^2 + (\log T_n)^2}$	4.47	80.1

5. Modellizzazione acustica e della viabilità in aree urbane

Lo studio della propagazione del rumore nell’ambito urbano della città di Milano sarà ottenuto mediante l’impiego di un modello di simulazione che implementa lo standard di calcolo europeo per il rumore da traffico veicolare (NMPB). La realizzazione del modello acustico in base al quale ottenere le mappe base è in corso di svolgimento ad opera di AMAT e Comune di Milano. Le informazioni relative al tracciato degli archi stradali, all’orografia del suolo e alla morfologia dell’edificato, ovvero tutte le caratteristiche di tipo statico, saranno ricavate dal sistema informativo territoriale del Comune di Milano.

La caratterizzazione acustica delle sorgenti sonore nel modello di calcolo si basa invece sui dati ottenuti mediante il modello di distribuzione del traffico, implementato da AMAT.

Il dato del flusso veicolare è il dato di input nel modello che consente il calcolo della potenza sonora emessa da ciascun arco della rete, secondo l’algoritmo NMPB.

All’interno del progetto Dynamap, questa informazione sarà introdotta per la produzione della mappa acustica di base, assumendo come input per l’intera rete un dato di flusso veicolare (flusso orario) ad un tempo x sincronizzato con l’acquisizione del livello sonoro dal sistema di monitoraggio low-cost. L’aggiornamento dei livelli della mappa nel tempo seguirà quindi i livelli sperimentali acquisiti (per ciascun cluster e integrati nell’intervallo di aggiornamento definito) dai sensori.

Alcuni parametri, tuttavia, inducono una variazione nella produzione o propagazione del rumore, e di conseguenza nella modellizzazione acustica, indipendente dai livelli sonori sperimentali acquisiti:

È stata pertanto condotta una analisi di sensitività del modello acustico con lo scopo di determinare la funzione di risposta nel calcolo dei livelli sonori rispetto al variare di alcuni parametri (la cui variazione è indipendente dai livelli sonori emessi dalla sorgente). Tipicamente, in ambito urbano, questi parametri sono rappresentati da:

- condizioni di traffico, ovvero scorrevolezza del flusso veicolare (che può essere definito: continuo, accelerato, decelerato, interrotto);
- velocità media di percorrenza;
- composizione del traffico (percentuale di mezzi pesanti).

I risultati ottenuti possono indirizzare il modellista nella definizione di differenti mappe base dell’ambiente urbano, che prendano in considerazione l’occorrenza di

condizioni di traffico particolari in alcune arterie (o porzioni di arteria, in prossimità di incroci) durante determinati intervalli della giornata, come ad esempio la presenza di traffico interrotto (congestionato) nelle ore di punta. La mappa base “alternativa” relativa alla presenza di traffico interrotto o congestionato sarà realizzata sulla base di uno studio del rapporto tra flusso veicolare orario (stimato) e capacità massima della strada. Prima della fase di avvio operativo della mappatura dinamica, l’affidabilità di tale mappa sarà valutata mediante una apposita campagna di rilievi sperimentali.

6. Individuazione dei siti di monitoraggio

L’individuazione dei siti di collocazione della rete di monitoraggio a supporto della mappatura dinamica viene ottenuta attraverso la discretizzazione del parametro non acustico X e l’aggregazione degli archi stradali negli intervalli discreti individuati.

A questo scopo, il parametro non acustico, $X = \log(T_t)$ è stato calcolato su tutti gli archi stradali, circa 2000, afferenti all’area pilota (Zona 9) nel comune di Milano. La distribuzione di tale parametro è stata confrontata con la funzione di probabilità, $P(x)$, ottenuta dalle misure nei 93 siti di monitoraggio del database iniziale (vedi Fig. 7).

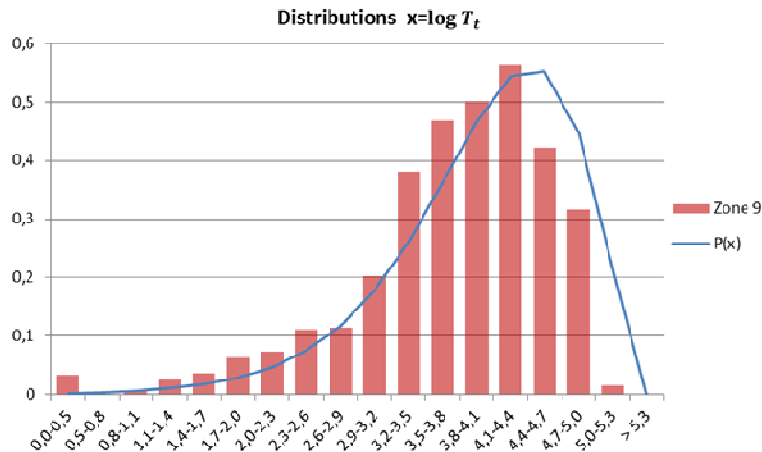


Figura 7 - Distribuzione delle frequenze del parametro X per tutte le strade dell’area pilota (istogramma) e funzione di probabilità (curva blu) per il campione di strade monitorate - Frequency distribution of parameter X (histogram) for the roads of the whole pilot area and probability function (blue line) for the sample of monitored roads.

Come si osserva dalla figura 7, la distribuzione di X per le 93 misure sperimentali presenta lo stesso andamento della distribuzione di X relativa agli archi che appartengono all’intera Zona 9. Questo risultato conferma che le stazioni di monitoraggio scelte presentano dei valori del parametro X che coprono il range di valori di X della zona per cui deve essere predetto il comportamento acustico da traffico veicolare.

Da questa distribuzione sono stati ricavati 6 intervalli equamente popolati di X , come riportato nel grafico a torta in figura 8.

Ad ogni gruppo di valori di X sarà associata una mappa acustica, aggiornata in tempo reale misurando l’andamento dei livelli sonori in un numero limitato di stazioni selezionate all’interno del medesimo gruppo.

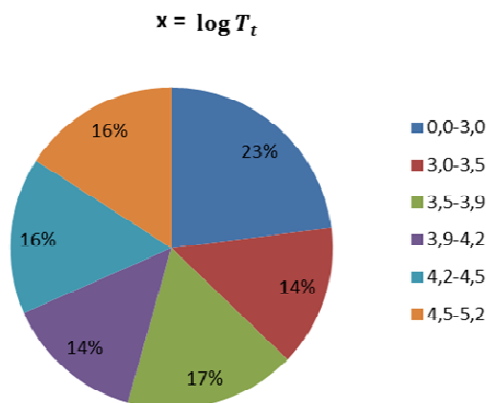


Figura 8 - I sei gruppi di valori del parametro $X = \log T_T$ - The six groups of the parameter $X = \log T_T$.

La localizzazione ottimale dei siti di monitoraggio low-cost per l'attuazione del progetto Dynamap, all'interno della Zona 9 di Milano, si basa sui flussi di traffico orari per ogni arco di strada, desunti dal modello di simulazione del traffico già citato in precedenza

All'interno di ogni gruppo è stato calcolato il flusso di traffico orario medio nell'arco delle 24 ore. Per ogni strada appartenente ad un gruppo, è stata poi calcolata la deviazione standard media (mediata sulle 24 ore) rispetto al valore medio del gruppo di riferimento. Per ciascuno dei 6 gruppi, tutti gli archi stradali sono quindi stati ordinati in un elenco con deviazione standard crescente, ovvero dal più "vicino" alla media al più "lontano". Le posizioni di monitoraggio per il progetto Dynamap dovranno essere selezionate tra quelle col miglior ranking all'interno di ciascun gruppo.

Conclusioni

In questa memoria vengono descritti alcuni passaggi chiave per la realizzazione di una mappa dinamica del rumore stradale dell'agglomerato di Milano. La possibilità di ottenere informazioni sul rumore in tempo reale permette di ottenere una descrizione più approfondita e dettagliata dei livelli di rumore in corrispondenza dei recettori sensibili e di conseguenza permette d'intervenire tempestivamente a livello puntuale e successivamente di verificare gli effetti di questi interventi quasi in tempo reale.

Dato il gran numero di strade presenti nella città di Milano, per ottenere la relativa mappa acustica è necessario un approccio di tipo statistico nel quale le strade che hanno flussi veicolari simili e quindi trend di rumore simili, siano raggruppate. Questo approccio presenta il vantaggio di ottimizzare il campionamento spaziale stratificato (da classi funzionali a cluster) aumentandone l'efficienza, ovvero, permette di descrivere la popolazione (strade appartenenti ad una certa classe) con un numero campionario inferiore (punti di monitoraggio) a parità di errore. Al fine di ricavare questi gruppi (cluster), è stata eseguita una vasta campagna di misurazione. Dai dati orari dei livelli di rumore rilevati, è stata applicata una cluster analysis e le strade monitorate sono state classificate in due gruppi (cluster 1 e 2). In funzione dell'errore associato, sono stati verificati i tempi ottimali di aggiornamento delle mappe: ogni 5 minuti nell'intervallo di

tempo che va dalle 07 alle 21, ogni 15 minuti nell'intervallo di tempo che va dalle 21 alle 01 ore, ogni 60 minuti per il periodo notturno dalle 01 alle 07.

Successivamente, per ogni strada da mappare, è stato calcolato un parametro non acustico ($X = \log T_i$) per consentire l'associazione degli archi dell'intera rete ai profili dei due cluster individuati. Al fine di ottenere le mappe acustiche, è stata analizzata la distribuzione del parametro non-acustico $P(X)$ per tutti gli archi appartenenti alla zona 9 (l'area pilota selezionata) e ne è stata verificata la sovrapposizione con la distribuzione $P(X)$ relativa ai soli archi in cui era stato eseguito il monitoraggio. L'intervallo totale dei valori di X è stato diviso in sei intervalli o gruppi, ciascuno contenente un numero simile di strade.

Gli archi stradali dove posizionare le stazioni di monitoraggio, per un totale di 24, saranno selezionati in base al valore del parametro non acustico X all'interno di ognuno dei 6 gruppi. Le stazioni di monitoraggio, contemporaneamente, determineranno l'aggiornamento delle mappe acustiche di ognuno dei 6 gruppi.

Conclusions

This paper describes the main steps for the realization of a dynamic map of road noise produced in the agglomeration of Milan.

The possibility of obtaining real time information about noise trend allows to get a more detailed description of the noise levels in correspondence of receivers and consequently allows to intervene promptly and locally and subsequently to verify the effects of these interventions in a short time.

Given the large number of roads located in the city of Milan, a statistical approach is required to group together roads that have similar vehicular flows and therefore similar noise trend. So an extensive measurement campaign was performed in order to derive these groups and finally achieve the urban noise map. Starting from hourly noise levels detected, a cluster analysis has been applied and the monitored roads have been classified into two groups (clusters 1 and 2).

The optimal temporal discretization a noise map can be updated without losing significant information has been verified in different time intervals: every five minutes during the interval ranging from 07 to 21, every 15 from 21 to 01 hours, every 60 minutes during the night period from 01 to 07.

Then, a non-acoustic parameter has been computed for each road of the network, so to link them to the profiles of the two clusters identified. In order to obtain the noise maps, the distribution of the non-acoustic parameter $P(X)$ was analyzed for all the arcs belonging to zone 9 (the selected pilot area) and the overlap with the distribution $P(X)$ relative to the monitored roads was verified. The total range of values of X has been divided into six intervals or groups, each containing a similar number of roads.

A total number of 24 The roads where to place the 24 monitoring stations will be selected according to the value of the non-acoustic parameter X within each of the 6 groups. The noise levels detected by the monitoring stations, at the same time, will determine the update of the noise maps of the 6 groups.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato parzialmente finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del progetto LIFE13 ENV/IT/001254 DYNAMAP.

Bibliografia

- [1] Fidel, S. (1978). Nationwide urban noise survey. *J. Acoust. Soc. Am.*, 64, pp. 198-206.
- [2] Brown, A.L., Lam, K.C. (1987). Urban noise surveys. *Appl. Acoust.*, 20, pp. 23-39.
- [3] Kumar, K., Jain, V.K. (1994). A study of noise in various modes of transports in Delhi. *Appl. Acoust.*, 43, pp. 57-56.
- [4] Miedema, H.M.E., Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 104, pp. 3432-3445.
- [5] Garcia, A., Faus, L.J. (1991). Statistical analysis of noise levels in urban areas. *Appl. Acoust.*, 34, pp. 227-247.
- [6] Fields, J.M. (1993). Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *J. Acoust. Soc. Am.*, 93, pp. 2753-2763.
- [7] Barrigon, J.M., Gomez, V., Mendez, J., Vilchez, R., Trujillo, J. (2005). A categorization method applied to the study of urban road traffic noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 117, pp. 2844-2852.
- [8] Brambilla, G., Gallo, V. (2010). Andamenti dei livelli L_{Aeq} orari nelle 24 ore del rumore urbano e indicazioni per il campionamento spaziale stratificato. Atti del 37° Convegno Nazionale AIA, Siracusa, 26-28 Maggio. AIA.
- [9] Angelini, F., Bisceglie, A., Brambilla, G., Gallo, V., Zambon, G. (2012). Campionamento spaziale stratificato per il rumore da traffico stradale: un'applicazione alla rete viaria di Milano. Atti del 39° Convegno Nazionale AIA, Roma, 4-6 Luglio. AIA.
- [10] Zambon, G., Benocci, R., Bisceglie, A. (2015). Development of optimized algorithms for the classification of networks of road stretches into homogeneous clusters in urban areas. Proceeding of 22nd ICSV, Florence, 12-16 July. IIAV.
- [11] Smiraglia, M., Benocci, R., Zambon, G., Roman, H.E. (2016). Predicting Hourly Traffic Noise from Traffic Flux Model: Underlying Concepts for the DynaMap Project, Noise Mapping.
- [12] Ward, J.H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.*, 58(301), pp. 236-244.
- [13] Hartigan, J.A., Wong, M.A. (1979). A K-means clustering algorithm. *Appl. Stat.*, 28(1), pp. 100-108.
- [14] Kaufman, L., Rousseeuw, P. (1990). *Finding Groups in Data*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Fraley, C., Raftery, A.E., Murphy, T.B., Scrucca, L. (2012). *Mclust version 4 for R: Normal Mixture Modeling for Model-Based Clustering, Classification, and Density Estimation*. Tech. Rep. No. 597. Department of Statistics, University of Washington, USA
- [16] Fraley, C., Raftery, A.E. (2002). Model-based clustering, discriminant analysis and density estimation. *J. Am. Stat. Assoc.*, 97(458), pp. 611-631.
- [17] R Development Core Team (2011). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: the R Foundation for Statistical Computing. (Available online at: <http://www.R-project.org/>).
- [18] Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recogn. Lett.* 27, pp. 861-874.
- [19] Zambon, G., Benocci, R., Brambilla, G. (2016). Cluster categorization of urban roads to optimize their noise monitoring. *Environmental monitoring and assessment*, 188 (1), pp. 1-11.