

VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA ASSOCIATA ALLA MAPPA ACUSTICA DINAMICA DI MILANO

Giovanni Zambon (1), Roberto Benocci (1), Maura Smiraglia (1), H. Eduardo Roman (2)

- 1) Università degli Studi di Milano - Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra
2) Università degli Studi di Milano - Bicocca, Dipartimento di Fisica

SOMMARIO

Il progetto Dynamap si basa sull'ipotesi che i livelli di rumore associati al traffico veicolare urbano abbiano andamenti nel tempo caratteristici, che consentono di individuare raggruppamenti di strade simili in funzione del loro utilizzo. Il metodo in studio permetterà di ottenere delle mappe dinamiche del rumore stradale a partire da rilievi fonometrici continui presso un numero limitato di postazioni rappresentative di ogni raggruppamento. Questa metodologia prevede diverse fasi: l'individuazione degli andamenti tipici dei livelli di rumore associati alle strade; la caratterizzazione delle singole strade mediante un parametro non acustico; l'aggregazione di tutte le strade in gruppi omogenei a ciascuno dei quali corrisponderà una mappa acustica di base; l'individuazione dei siti ottimali in cui posizionare le centraline di monitoraggio; la procedura per aggiornare le mappe acustiche, con una dinamica predefinita, a partire dai livelli misurati. Ciascuna di queste fasi è affetta da un errore specifico. In questo lavoro viene descritto e quantificato l'errore corrispondente a ciascuna fase, consentendo quindi di indicare l'incertezza associata alle mappe acustiche risultanti.

1. Introduzione

Il progetto Dynamap [1, 2], cui la presente memoria si riferisce, ha lo scopo di sviluppare una mappa acustica dinamica dei livelli di rumore ambientale di una porzione della città di Milano (Area 9, l'area pilota selezionata). Il progetto si basa sull'analisi statistica dei profili temporali di rumore da traffico registrati in 93 siti della città. L'analisi ha mostrato che gli andamenti temporali dei livelli orari equivalenti di rumore (LAeq) sulle 24 ore delle strade monitorate possono essere accorpati in due gruppi (cluster) caratteristici [2-5] (vedi Fig. 1).

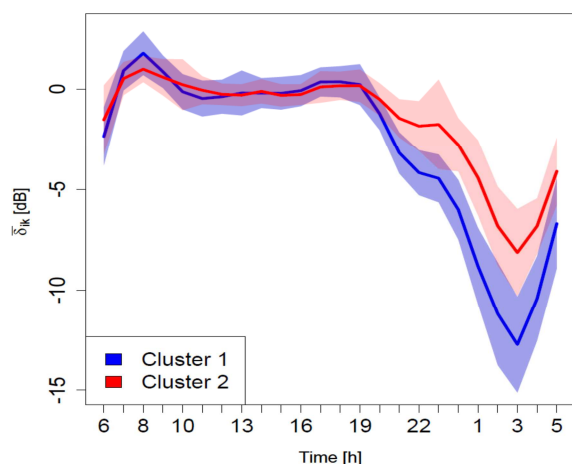


Figura 1 - Profili di rumore medi normalizzati, $\bar{\delta}_{ik}$ [dB], per ciascun cluster con le rispettive bande di incertezza. Nel cluster 1 sono presenti 56 elementi e 37 nel cluster 2.

Tali profili di rumore risultano quindi strettamente legati alle dinamiche veicolari presenti nella rete urbana di Milano.

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 un parametro "non-acustico" che meglio permette l'attribuzione di un arco

non monitorato ad uno dei gruppi ottenuti per mezzo delle strade monitorate. Per ogni strada da mappare, è stato calcolato il parametro non-acustico $x = \text{Log}T_1$, ovvero il logaritmo del flusso di traffico giornaliero nel periodo di 24 ore. Al fine di ottenere le mappe acustiche, è stata, quindi, analizzata la distribuzione del parametro non-acustico per tutti gli archi appartenenti all'Area 9. Successivamente, 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, sono stati selezionati in base al valore del parametro non-acustico x all'interno di ognuno dei 6 gruppi. Le 4 stazioni di registrazione per ogni gruppo g determineranno l'aggiornamento delle mappe acustiche di ognuno dei 6 gruppi.

Una volta avviato Dynamap e raccolti i primi dati acustici, si procederà all'analisi cluster dei profili temporali registrati dalle centraline. Tale analisi fornirà due cluster aventi N_1 centraline nel Cluster 1 e N_2 nel Cluster 2, tale che $N_1 + N_2 = 24$. L'aggiornamento delle mappe di ciascun gruppo g verrà effettuato sulla base di una combinazione dei parametri, β_1 e β_2 , delle due nuove distribuzioni del parametro non-acustico corrispondenti al valor medio \bar{x}_g all'interno di ognuno dei sei gruppi, $\bar{\beta}_1(\bar{x}_g)$ e $\bar{\beta}_2(\bar{x}_g)$. I parametri β_1 e β_2 rappresentano le probabilità che un arco stradale con parametro non-acustico x appartenga rispettivamente al cluster 1 e 2. Per maggiori approfondimenti si rimanda a [5].

2. Stima degli errori nella predizione delle mappe acustiche

In questa sezione ci occupiamo di valutare gli errori statistici intrinseci del presente metodo per la predizione dei livelli equivalenti di rumore di ognuna delle sei mappe acustiche. Per convenienza i sei gruppi g verranno denotati dalle lettere: $g=(A, B, C, D, E, F)$.

Per stimare l'errore totale faremo l'ipotesi che tutti i processi che considereremo siano non correlati. In questo modo, la varianza totale della somma di N processi casuali non correlati,

σ_N^2 , è data dalla somma delle varianze associate ai singoli processi. Nel nostro caso abbiamo individuato quattro processi le cui fluttuazioni (incertezze) statistiche contribuiscono all'errore totale, σ_T^2 , come segue:

$$(1) \quad \sigma_T^2 = \sigma_{pred}^2 + \sigma_{stat}^2 + \sigma_{cp}^2 + \varepsilon_{sample}^2,$$

dove σ_{pred}^2 , rappresenta l'errore di predizione intrinseco del metodo statistico, σ_{stat}^2 la varianza del livello equivalente di rumore misurato dalle stazioni di monitoraggio, σ_{cp}^2 la differente composizione del cluster per i diversi intervalli di tempo e ε_{sample}^2 l'errore associato al campionamento stratificato. Di seguito vengono descritte le varie componenti dell'Eq. (1) separatamente.

2.1 Errore nella predizione del livello equivalente di rumore: σ_{pred}^2

Questo errore rappresenta l'incertezza intrinseca del metodo statistico di attribuzione di un generico arco ad uno dei due cluster di Fig.1. Per stimare questo contributo per ogni gruppo g, calcoliamo gli errori medi, $\bar{\varepsilon}_1^2$ e $\bar{\varepsilon}_2^2$, per le predizioni delle stazioni di monitoraggio dei livelli di rumore per il Cluster 1 e Cluster 2. L'errore sul singolo arco x viene calcolato secondo la formula:

$$(2) \quad \varepsilon^2 = \frac{1}{24} \sum_{h=1}^{24} [\delta_x(h) - \delta_{meas}(h)]^2$$

dove $\delta_x(h) = \beta_1(x) \delta_{C1}(h) + \beta_2(x) \delta_{C2}(h)$ rappresenta il valore predetto e $\delta_{meas}(h)$ il valore misurato. $\delta_{C1}(h)$ e $\delta_{C2}(h)$ sono i valori medi orari dei livelli equivalenti (Fig. 1) per i Cluster 1 e 2 rispettivamente. Noti questi errori possiamo stimare l'errore medio di predizione all'interno di ciascun gruppo mediante la relazione:

$$(3) \quad \sigma_{pred}^2(\bar{x}_g) = \bar{\beta}_1(\bar{x}_g) \bar{\varepsilon}_1^2 + \bar{\beta}_2(\bar{x}_g) \bar{\varepsilon}_2^2,$$

2.2 La varianza statistica delle stazioni di monitoraggio del Cluster 1 e 2: σ_{stat}^2

La varianza è stata calcolata nei tre periodi giornalieri: giorno, sera e notte, entro i quali sono stati usati i seguenti intervalli di integrazione: 5, 15, 60 minuti.

Nel calcolo abbiamo considerato i profili medi di livello di rumore ottenuti dall'analisi cluster delle misure sui 93 siti. Indicando con $\bar{\sigma}_1^2$ e $\bar{\sigma}_2^2$ le varianze mediate sulle 24 ore (sulle tre fasce orarie) rispettivamente per il Cluster 1 e 2, abbiamo per ogni gruppo g la seguente relazione:

$$(4) \quad \sigma_{stat}^2(\bar{x}_g) = \bar{\beta}_1(\bar{x}_g) \bar{\sigma}_1^2 + \bar{\beta}_2(\bar{x}_g) \bar{\sigma}_2^2.$$

2.3 Errore dovuto alle differenti composizione del Cluster per intervalli di integrazione inferiori all'ora: σ_{cp}^2

Le analisi cluster sono basate sui profili orari dei livelli equivalenti di rumore misurati nell'arco di 24 ore. In realtà, gli intervalli di aggiornamento della mappa acustica saranno basati anche su periodi più brevi (5 e 15 minuti) in relazione all'intervallo orario. Da qui l'indagine svolta per capire se la composizione dei cluster (strade) viene alterata cambiando il tempo di integrazione (intervallo di aggiornamento della mappa acustica). Abbiamo pertanto ripetuto il procedimento di clustering per i 5 e 15 minuti e abbiamo confrontato la composizione dei cluster risultanti con il riferimento ad un'ora. Per ogni intervallo temporale $\tau = (5, 15)$ minuti, abbiamo ottenuto il valor medio $\delta_{ms,C1,2(\tau)}(\tau)$ ogni τ minuti e mediato su tutte le strade appartenenti al Cluster 1 e 2 per l'intervallo di tempo τ . Abbiamo calcolato la stessa quantità per l'intervallo orario $\delta_{ms,C1,2(h)}(\tau)$, e ottenuto le differenze quadratiche medie:

$$(5) \quad \sigma_{cp,C1,2}^2(\tau) = \frac{1}{N(\tau)} \sum_{t=1}^{N(\tau)} [\delta_{ms,C1,2(\tau)}(t) - \delta_{ms,C1,2(h)}(t)]^2$$

dove $N(\tau) = 24 (60/\tau)$, è il numero di punti (dati) contenuti in 24 ore. Per calcolare l'errore associato ad ogni gruppo, moltiplichiamo la varianza di ciascun cluster nell'Eq. (5) per il corrispondente valor medio $\bar{\beta}_1(\bar{x}_g)$ e $\bar{\beta}_2(\bar{x}_g)$,

$$(6) \quad \sigma_{cp}^2(\bar{x}_g) = \bar{\beta}_1(\bar{x}_g) \sigma_{cp,C1}^2(\tau) + \bar{\beta}_2(\bar{x}_g) \sigma_{cp,C2}^2(\tau).$$

2.4 Errore associato al campionamento stratificato: ε_{sample}

Nel campionamento spaziale stratificato il campione viene diviso in strati (sotto campioni) in modo da ridurre le varianze nella stima del campione [6]. Dal teorema del limite centrale si ricava che l'accuratezza ε per una corretta stima del valor medio della popolazione risulta essere data da:

$$(7) \quad \varepsilon_{sample_i} \cong \frac{z_\alpha \cdot s}{\sqrt{n_{ci}}} \quad (i=1, 2).$$

dove n_{c1} , n_{c2} sono il numero di misure effettuate per ciascun cluster (192 in totale), s la deviazione standard del campione e $z_\alpha = 1.96$. I risultati mostrano che l'accuratezza media prevista $\bar{\varepsilon}_{sample}$, calcolata nei tre intervalli di tempo T_h ,

$$T_h = [(07:00 - 21:00), (21:00 - 01:00), (01:00 - 07:00)],$$

per i tre tempi di rappresentazione della mappa $\tau = (5, 15, 60)$ minuti, è di 0.37 e 0.33 dB, rispettivamente per il Cluster 1 e 2.

3. Conclusioni

Nella tabella 1 sono riportati i valori di sintesi di tutti i contributi alla formazione dell'incertezza complessiva σ_T associata alla mappa acustica per ogni gruppo g. Come valore di $\bar{\varepsilon}_{sample}$ abbiamo considerato il maggiore tra i due cluster.

Tabella 1 – Valori medi giornalieri degli errori che contribuiscono alla formazione dell'errore totale σ_T [dB].

Error/Group	A	B	C	D	E	F
σ_{pred}	1,47	1,44	1,40	1,37	1,36	1,31
σ_{stat}	1,53	1,47	1,40	1,35	1,32	1,22
σ_{cp}	0,14	0,15	0,17	0,18	0,18	0,20
$\bar{\varepsilon}_{sample}$	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
σ_T	2,16	2,10	2,02	1,97	1,94	1,84

Si osserva che l'errore totale σ_T [dB] risulta essere dell'ordine dei 2 dB per tutti i gruppi g.

4. Bibliografia

- [1] X. Sevillano, J. Claudi Socoró, F. Alías, P. Bellucci, L. Peruzzi, S. Radaelli, P. Coppi, L. Nencini, A. Cerniglia, A. Bisceglie, R. Benocci, G. Zambon, DYNAMAP – Development of low cost sensors networks for real time noise mapping, Noise Mapping, 3, 1, 2016.
- [2] G. Zambon, R. Benocci, G. Brambilla, Cluster categorization of urban roads to optimize their noise monitoring, Environmental Monitoring and Assessment, 188 (1), 26, 1-11, 2016.
- [3] G. Zambon, R. Benocci, G. Brambilla, Statistical road classification applied to stratified spatial sampling of road traffic noise in urban areas, International Journal of Environmental Research, 10 (3), 2016, pp. 411-420.
- [4] M. Smiraglia, R. Benocci, G. Zambon, H. E. Roman, Predicting Hourly Traffic Noise from Traffic Flow Rate Model: Underlying Concepts for the DYNAMAP Project, Noise Mapping, 3, 1, 2016.
- [5] G. Zambon; R. Benocci; A. Bisceglie; H. E. Roman, Milan dynamic noise mapping from few monitoring stations: statistical analysis on road network, Inter-Noise 2016 Hamburg.
- [6] L. Kaufman, P. Rousseeuw, *Finding Groups in Data*, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, 1990.