

## **DYNAMAP: un nuovo approccio alla mappatura acustica in tempo reale**

Giovanni Zambon, Fabio Angelini, Roberto Benocci, Alessandro Bisceglie

*Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio e di Scienze della Terra, Università di Milano Bicocca, piazza della Scienza 1, 20126 Milano*

Simone Radaelli, Paola Coppi

*AMAT S.r.l., via Grazia Deledda 9/A, 20127 Milano*

Patrizia Bellucci, Annalisa Giovannetti, Raffaella Grecco, Laura Peruzzi

*ANAS S.p.A., via della Stazione di Cesano 331, 00123 Cesano di Roma (Roma)*

### **Sommario**

La mappatura acustica in tempo reale consiste nell'aggiornamento continuo di mappe base, pre-calcolate con l'ausilio di software di modellazione tradizionali, attraverso i dati forniti da una rete di sensori microfonic. Le mappe acustiche di base relative ad una particolare sorgente sonora presente nell'area da mappare sono modulate in maniera scalare in funzione delle informazioni raccolte dai sensori installati e successivamente sommate per formare la mappa acustica globale. Ad oggi l'applicazione dei sistemi di mappatura in tempo reale del rumore è limitata ad aree molto ristrette, a causa dell'elevato costo delle stazioni di monitoraggio e dei lunghi tempi di esecuzione e gestione del sistema. Il progetto Dynamap (DYNAMIC Acoustic Mapping), co-finanziato nell'ambito del programma LIFE 2013, propone un nuovo approccio alla mappatura acustica in tempo reale, attraverso la definizione di un metodo statistico per l'ottimizzazione della scelta dei siti di monitoraggio e l'automatizzazione del processo di mappatura grazie all'utilizzo di sensori a basso costo che misurano direttamente il livello di pressione sonora generato dalla sorgente in corrispondenza di punti significativi della rete stradale. Nel presente articolo saranno mostrati i risultati preliminari ottenuti su un'area campione della città di Milano.

### **Introduzione**

Il progetto DYNAMAP si propone di realizzare un sistema prototipale in grado di eseguire la mappatura acustica della rete stradale in tempo reale, tramite l'installazione di dispositivi intelligenti per rilevare la rumorosità generata dalle infrastrutture stradali. Il progetto si inserisce nell'ambito delle attività di mappatura acustica e pianificazione degli interventi di mitigazione sonora previsti dalla Direttiva Europea 2002/49/CE sul rumore ambientale (END). Tale direttiva contempla l'aggiornamento quinquennale delle mappe acustiche e dei piani di azione, per valutare l'impatto prodotto ai ricettori a seguito di modificazioni delle condizioni ambientali (principalmente traffico, mobilità e sviluppo urbanistico) che possano essere intervenute nel periodo di riferimento. La reiterazione delle attività di mappatura, in maniera tradizionale, comporta l'acquisizione dei dati integrativi occorrenti per stimare le variazioni occorse nel periodo di riferimento e la rielaborazione delle informazioni raccolte. Tali operazioni necessitano di tempi e costi non trascurabili, che incidono in maniera significativa sui bilanci delle amministrazioni responsabili.

Per facilitare l'aggiornamento delle mappe di rumore e ridurre l'impatto economico, il processo di mappatura può essere automatizzato attraverso lo sviluppo di un sistema integrato per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati, in grado di rilevare in tempo reale l'impatto acustico prodotto dalle diverse sorgenti sonore. Il sistema prevede l'utilizzo di sensori a basso costo che misurano direttamente il livello di pressione sonora generato dalla sorgente in corrispondenza di punti significativi della rete stradale e di un software di gestione, elaborazione e rappresentazione dei dati acquisiti basato su una piattaforma general purpose di tipo GIS per l'aggiornamento delle mappe in tempo reale. Sebbene questo approccio sia molto promettente nelle aree in cui le sorgenti di rumore sono ben identificate, come quelle vicino a strade principali, in scenari complessi, come gli ambiti urbani, occorre effettuare ulteriori valutazioni per verificare l'effettiva applicabilità della soluzione.

Per dimostrare la fattibilità delle mappe dinamiche in tempo reale, il progetto prevede di realizzare due impianti dimostrativi in alcune aree pilota situate nelle città di Roma e Milano, rappresentative dei principali scenari di traffico urbani ed extraurbani.

## Obiettivi

I principali obiettivi del progetto sono:

- automatizzare il processo di mappatura del rumore utilizzando le informazioni rilevate da una rete di monitoraggio a basso costo;
- sviluppare sensori a basso costo e dispositivi di comunicazione per raccogliere le informazioni necessarie per aggiornare le mappe di rumore in tempo reale;
- implementare e testare il sistema in due siti con caratteristiche diverse: un agglomerato urbano ed una strada principale;
- dimostrare che il processo di automazione porterà ad una significativa riduzione delle risorse necessarie per aggiornare le mappe acustiche (tempi, costi e personale dedicato);
- migliorare e facilitare l'informazione al pubblico attraverso diversi livelli di accesso al sistema;
- verificare la possibilità di migliorare il sistema attraverso l'inserimento di ulteriori sensori in grado di fornire informazioni aggiuntive su altri parametri ambientali in modo dinamico, quali la qualità dell'aria, le condizioni meteorologiche, ecc.

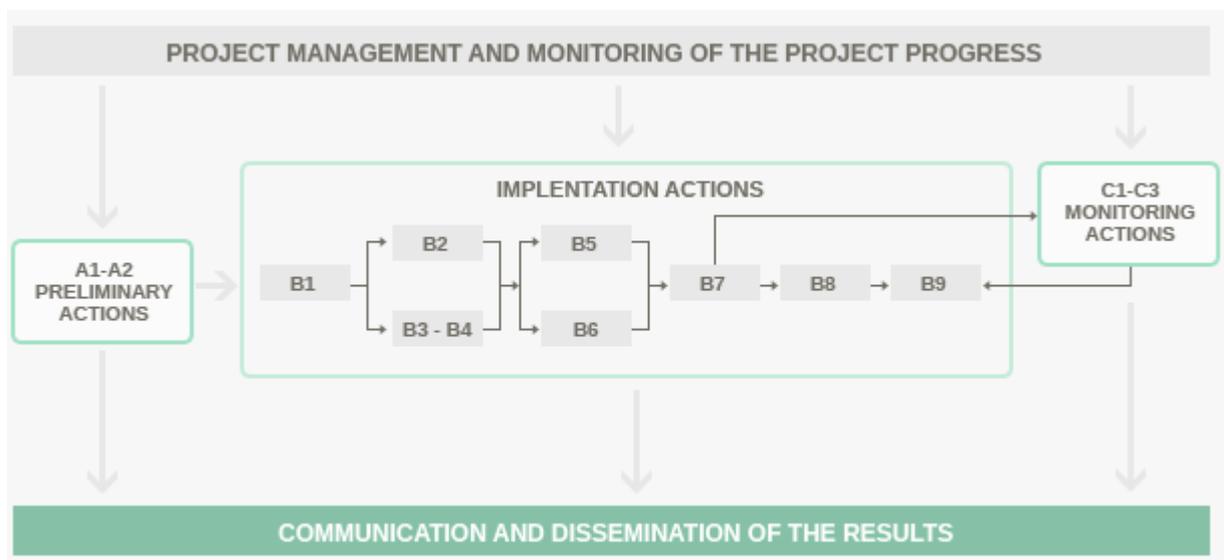


Figura 1. Le quattordici azioni del progetto

## Struttura del progetto

Il progetto prevede quattro fasi principali:

1. sviluppo di sensori a basso costo e di strumenti per la gestione, l'elaborazione e la rappresentazione in tempo reale di mappe acustiche su piattaforma GIS;
2. progettazione e realizzazione di due sistemi dimostrativi nelle città di Milano e Roma. Il primo coprirà una parte significativa dell'agglomerato di Milano, mentre il secondo sarà posizionato lungo il Grande Raccordo Anulare di Roma (Autostrada A90);
3. monitoraggio dei suddetti sistemi per almeno un anno per verificare criticità, analizzare i problemi ed i malfunzionamenti che potrebbero verificarsi durante il periodo di prova. I risultati dei test saranno poi utilizzati per proporre aggiornamenti del sistema ed estendere la sua applicazione ad altri parametri ambientali;
4. redazione di linee guida per la progettazione e la realizzazione della mappatura acustica in tempo reale.

Queste quattro fasi saranno attuate attraverso 14 azioni principali (Fig. 1):

- 2 azioni preliminari (A1-A2) che prevedono una panoramica sullo stato dell'arte in materia di mappatura acustica in tempo reale e l'individuazione delle aree pilota da utilizzare per l'implementazione dei sistemi dimostrativi.
- 9 azioni d'implementazione (B1-B9) che contemplano il dimensionamento della rete di monitoraggio, lo sviluppo hardware e software, l'implementazione e test del sistema nelle aree pilota, la redazione della linea guida alla mappatura del rumore in tempo reale.
- 3 azioni di monitoraggio (C1-C3) che includono la valutazione della risposta del pubblico e delle capacità dell'utente nella consultazione e gestione del sistema, l'analisi dei costi e dei benefici, l'individuazione delle future applicazioni del sistema.

In aggiunta il progetto prevede cinque ulteriori azioni, dedicate alla gestione del progetto ed alla disseminazione dei risultati. Le azioni saranno realizzate da sette beneficiari tra gestori stradali (ANAS, gestore delle strade statali italiane), enti locali (Comune di Milano e AMAT), università (Università di Milano "Bicocca" e Università di Barcellona "La Salle"), aziende private (ACCON e BLU WAVE).

Ad ANAS è assegnato il compito di coordinare il progetto, fornire competenze gestionali e risorse per implementare il sistema su una strada principale, monitorare la risposta del pubblico e la capacità dell'utente nella consultazione e gestione del sistema in collaborazione con AMAT e Comune di Milano. Il Comune di Milano ed AMAT hanno l'onere di coordinare le azioni di disseminazione e fornire le risorse per la realizzazione del sistema nella città di Milano, mentre le università di Milano e Barcellona si occuperanno principalmente degli aspetti tecnico-scientifici, quali il dimensionamento della rete di monitoraggio, lo sviluppo di algoritmi di elaborazione, il test del sistema e l'elaborazione delle linee guida. BLU WAVE e ACCON forniranno le competenze necessarie per lo sviluppo dei sistemi hardware e software e provvederanno alla loro installazione e manutenzione.

### **Azione preliminare A2**

L'Azione A2 riguarda l'analisi delle reti stradali e la localizzazione delle aree in cui saranno implementati i sistemi dimostrativi. La fattibilità della mappatura acustica in tempo reale sarà dimostrata attraverso l'applicazione di un caso studio in due diverse tipologie di siti.

L'azione prevede la definizione della metodologia e delle procedure da applicare per la selezione delle aree pilota. In particolare, l'individuazione dell'area pilota nel contesto urbano della città di Milano è stata condotta attraverso un'analisi multicriteria applicata alle nove zone di decentramento del Comune di Milano.

La procedura consiste in un sistema di classificazione basato su dei punteggi da assegnare alle diverse aree territoriali. I punteggi sono attribuiti in funzione di alcuni parametri opportunamente pesati che includono alcune caratteristiche legate al territorio, alla mobilità, alla disponibilità di sistemi di monitoraggio del rumore, della qualità dell'aria e delle condizioni meteorologiche, al grado di inquinamento acustico dell'area, alla presenza di sorgenti di rumore concorsuali e all'accesso ai canali di comunicazione. La procedura è stata elaborata in ambiente GIS sui dati disponibili presso le banche dati dell'Amministrazione Comunale ritenuti utili al progetto. I punteggi sono ponderati in funzione del grado di importanza delle variabili analizzate sulla base delle specifiche di progetto; il punteggio totale di ogni zona viene infine ottenuto sommando tutti i valori parziali. L'output della procedura è una graduatoria che mostra il punteggio associato a ciascuna area. Il procedimento è stato applicato a nove aree territoriali, corrispondenti alle zone di decentramento del Comune di Milano (vedi Figura 2).

L'applicazione di tale procedura ha evidenziato che la zona di decentramento 9 è quella che maggiormente soddisfa i criteri di selezione ed è stata pertanto individuata come area pilota urbana per il progetto Dynamap. La zona di decentramento 9 è situata nella porzione nord di Milano ed ha una popolazione di approssimativamente 180.000 abitanti, di cui circa 40.000 esposti a livelli di  $L_{den}$  superiori a 70 dB(A).

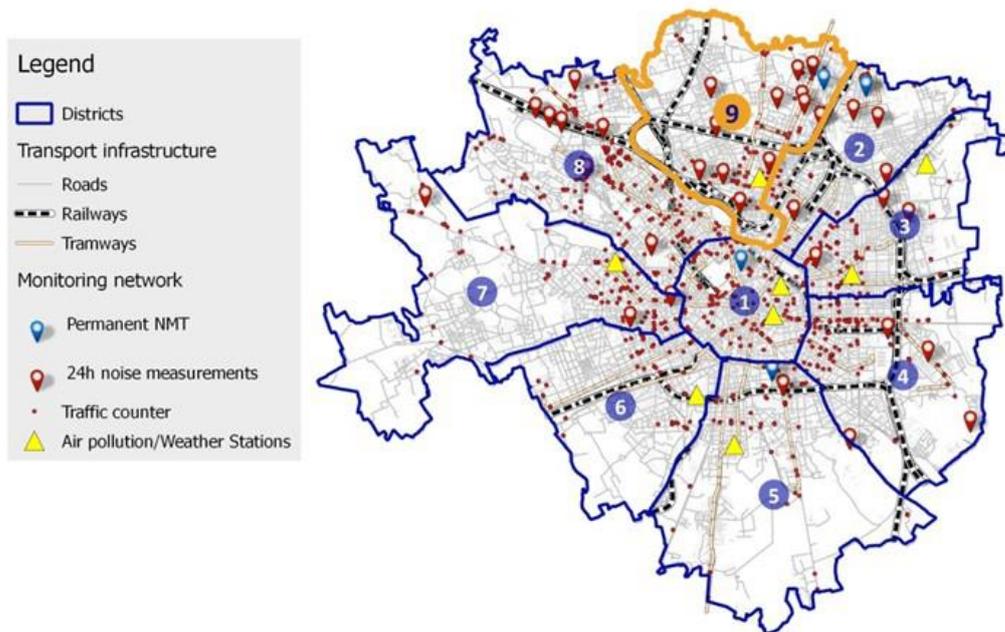


Figura 2. Parametri utilizzati per la classificazione delle nove zone di decentramento.

L'area pilota extraurbana di Roma è composta, invece, da diversi siti di prova distribuiti lungo il Grande Raccordo Anulare che circonda la città. I siti di prova rispecchiano le situazioni ambientali maggiormente rappresentative dei principali scenari suburbani:

- A. Strada singola, in assenza di sorgenti concorsuali;
- B. Strade parallele o in attraversamento alla strada principale;
- C. Ferrovie parallele o in attraversamento alla strada principale;
- D. Scenari complessi che includono connessioni multiple.

Per la selezione dei siti di prova è stato predisposto un applicativo in ambiente GIS in grado di raccogliere ed elaborare in maniera automatica le informazioni relative alle 67 aree critiche identificate dal Piano di Azione ANAS, durante il primo ed il secondo ciclo della END.

L'applicativo ha fornito in uscita quattro graduatorie, una per ogni scenario, basate sui punteggi attribuiti ad una serie di informazioni, che includono tra i vari parametri analizzati, l'indice di priorità associato alle singole aree critiche, calcolato in funzione del livello di rumore stimato e della popolazione esposta, la presenza di altre sorgenti di rumore, la disponibilità di dispositivi aggiuntivi, la comunicazione e la connessione alle rete elettrica. L'applicativo è stato implementato in ambiente GIS attraverso un algoritmo che si articola in cinque fasi:

- Fase 1: preparazione degli strati informativi necessari per l'applicazione della procedura;
- Fase 2: filtraggio delle aree critiche in cui non è disponibile il collegamento alla rete elettrica;
- Fase 3: selezione delle aree critiche con stazioni di monitoraggio del traffico;
- Fase 4: individuazione delle aree critiche con sorgenti di rumore concorsuali;
- Fase 5: classificazione dei siti.

Il numero finale dei siti di prova sarà definito al termine dell'azione B1, dedicata al dimensionamento della rete di monitoraggio, sulla base della quantità di sensori stimati necessari per calibrare ed aggiornare le mappe. Si prevede di installare un minimo di 25 sensori.

## Azione d'implementazione B1 (dimensionamento della rete di monitoraggio)

L'azione B1 è incentrata sull'analisi delle caratteristiche funzionali ed acustiche delle reti stradali di Milano e Roma, al fine di individuare ed ottimizzare il numero di sensori occorrenti per l'aggiornamento delle mappe in tempo reale. Il processo di ottimizzazione presuppone, in particolare, di raggruppare le strade con caratteristiche simili all'interno di uno stesso cluster e di ricondurre il comportamento delle strade contenute in ciascun cluster a quello di alcune tratte di riferimento che saranno equipaggiate con i sensori.

La classificazione funzionale delle strade, tuttavia, di solito non rispecchia il loro effettivo utilizzo, che generalmente dipende dall'attività della strada, dal suo uso nel contesto urbano, dalla sua larghezza, dalla presenza di superfici riflettenti e di ostacoli, dal tipo di pavimentazione, ecc. Per ottenere una più fedele descrizione dell'andamento temporale del rumore in scenari complessi, come quello della rete della mobilità della città di Milano, è stato individuato un metodo di aggregazione dei risultati, basato su analogie tra i livelli orari equivalenti LAeqh monitorati 24 ore su 24.

Il processo di aggregazione è stato ottenuto mediante l'applicazione di un algoritmo di clustering gerarchico applicato a 58 diversi rilievi giornalieri di rumore. La Figura 3 mostra i profili medi dell'andamento temporale di rumore nelle 24 ore, e la corrispondente deviazione standard, nei casi di raggruppamento delle strade in due (a sinistra), tre (al centro) e quattro (a destra) cluster.

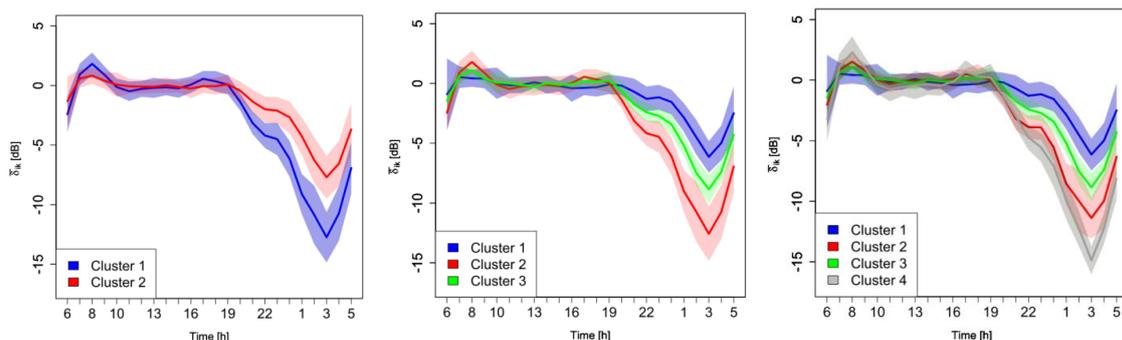


Figura 3. Profili medi,  $\bar{\delta}_{K_i}$ , e corrispondenti deviazioni standard, nei casi di due (a sinistra), tre (al centro) e quattro (a destra) cluster.

Aumentando il numero di cluster, la discriminazione diventa più evidente. Questo risultato, tuttavia, è poco utile se confrontato con i parametri non acustici che descrivono i gruppi ottenuti. Considerando come parametro non acustico il flusso veicolare nell'ora di punta, l'istogramma e la densità di probabilità visualizzati in Figura 4 evidenziano che solo nel caso di due cluster (a sinistra), i risultati sono chiaramente identificabili e non sovrapponibili. Negli altri casi (al centro e a destra in Figura 4) sono presenti sovrapposizioni su una vasta gamma di flussi di traffico, il che rende ogni distinzione tra cluster estremamente difficile.

La Figura 5 mostra i diagrammi a blocchi ottenuti dall'analisi dei parametri non acustici nel caso di raggruppamento delle strade in due cluster. Questi includono, oltre al flusso veicolare nell'ora di punta, il flusso minimo notturno, il flusso equivalente nelle ore di punta, il traffico equivalente medio giornaliero (MDT), il rapporto tra la capacità della strada e il traffico giornaliero medio e, infine, la differenza tra il flusso nell'ora di punta (Rh) e il flusso nell'intervallo orario 15-16 h.

I risultati mostrano che solo nei primi due diagrammi, relativi al flusso veicolare nell'ora di punta e al flusso minimo notturno, non si verificano sovrapposizioni e quindi tali parametri possono essere utilizzati per individuare la soglia di discriminazione tra le due classi. In particolare, tale soglia può essere posta pari ad 2000 veicoli/ora, nel caso in cui si consideri il flusso nell'ora di punta, per cui le strade con volumi di traffico inferiori a 2000 veicoli/ora possono essere associate al cluster 1, mentre quelle con volumi maggiori di 2000

veicoli / ora al cluster 2. Il valore di soglia notturno relativo al flusso veicolare minimo è, invece, di circa 40 veicoli/ora.

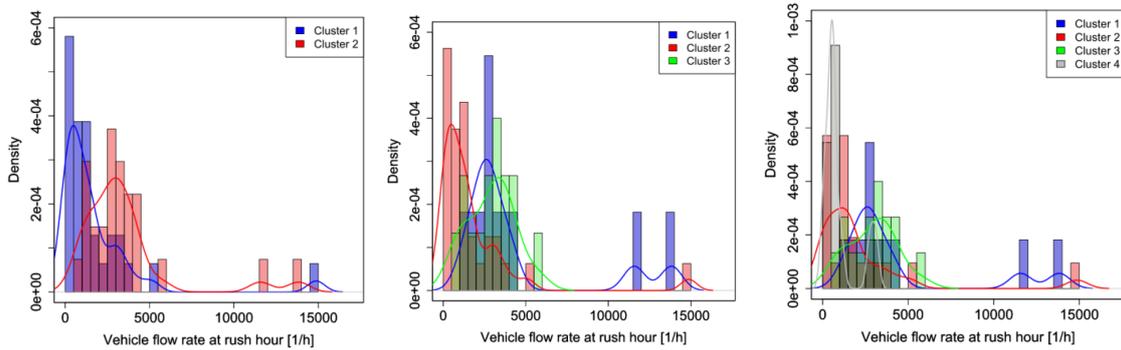


Figura 4. Istogramma e densità di probabilità in funzione del flusso veicolare nelle ore di punta nei casi di due (a sinistra), tre (al centro) e quattro (a destra) cluster.

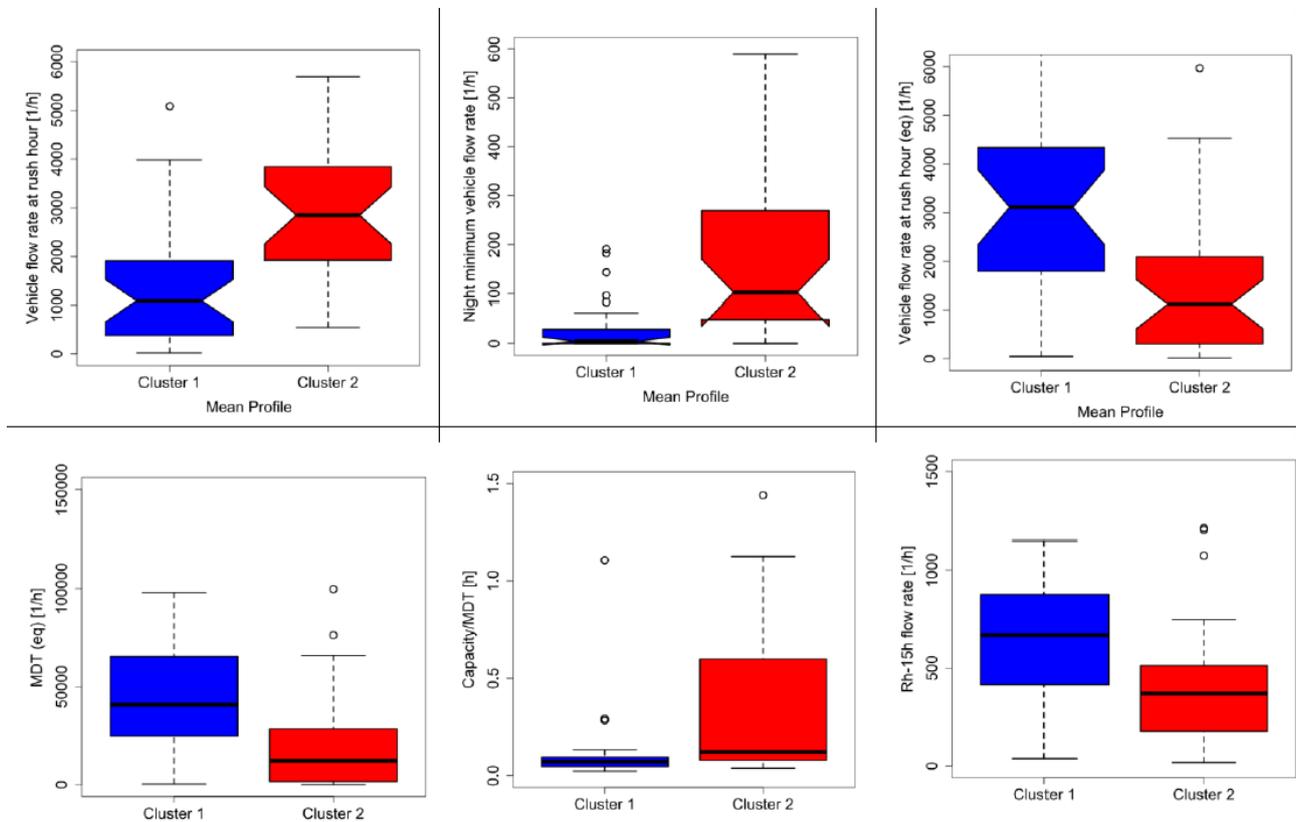


Figura 5. Diagramma a blocchi dei diversi parametri non acustici analizzati relativi al caso di due cluster.

## Conclusioni

In questo lavoro è stata presentata la struttura generale del progetto Dynamap e sono stati mostrati i primi risultati ottenuti in un'area campione. In particolare sono stati identificati i cluster che meglio rappresentano le strade dell'agglomerato di Milano e i parametri non acustici che descrivono con più accuratezza le strade appartenenti a ciascuno dei cluster identificati. Sono state espone le procedure ed i criteri di scelta delle aree pilota situate nelle città di Roma e Milano, rappresentative dei principali scenari di traffico urbani ed extraurbani.

Di seguito sono elencati i principali risultati che ci si attende di conseguire con il progetto:

- sviluppo di sensori a basso costo - Il progetto comprende lo sviluppo di sensori a basso costo per il rilevamento dei livelli di rumore generati dalle sorgenti sonore presenti nelle aree da mappare;
- sviluppo di uno strumento software per la mappatura acustica dinamica - i dati provenienti dai sensori verranno inviati ad un sistema di gestione dati, attraverso un applicativo software dedicato alla gestione ed elaborazione dei dati in tempo reale;
- realizzazione di due sistemi dimostrativi - il sistema sarà installato e testato in due siti diversi, di cui il primo dislocato all'interno dell'agglomerato di Milano ed il secondo lungo il Gande Raccordo Anulare di Roma;
- risultati dei test del sistema nelle due aree pilota - il sistema sarà testato per un anno al fine di valutare la sua affidabilità, individuare e risolvere i problemi, determinare la sua accuratezza e calcolare l'incertezza associata alle mappe acustiche;
- potenziamento del sistema con ulteriori sensori – sarà analizzata e verificata la possibilità di potenziare il sistema con ulteriori sensori in grado di aggiornare le mappe dinamiche con informazioni aggiuntive, quali la qualità dell'aria, le condizioni meteorologiche, ecc.;
- risultati dei test sulla risposta del pubblico e la capacità dell'utente nella consultazione e gestione del sistema – lo strumento software sarà strutturato con diversi livelli di accesso ai dati in base ai privilegi assegnati agli utenti autorizzati. Lo strumento sarà testato per verificare la risposta del pubblico e la capacità dell'utente nella consultazione e gestione del Sistema;
- disseminazione - il progetto prevede una vasta campagna di divulgazione basata su canali di comunicazione tradizionali e web, quali conferenze, seminari, workshop, un sito Internet dedicato, social network, applicazioni per smart device e forum.

## Ringraziamenti

Questa ricerca è stata parzialmente finanziata dalla Commissione Europea nell'ambito del progetto LIFE13 ENV/IT/001254 Dynamap.

## Bibliografia

- [1] J. H. Ward, *Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function*, Journal of the American Statistical Association 58, 236–244, 1963.
- [2] J. M. Barrigon, V. Gomez, J. Mendez, R. Vilchez, J. Trujillo, *A categorization method applied to the study of urban road traffic noise*, J. Acoust. Soc. Am., 117, 2844-2852, 2005.
- [3] F. Angelini, A. Bisceglie, G. Brambilla, V. Gallo, G. Zambon, *Campionamento spaziale stratificato per il rumore da traffico stradale: un'applicazione alla rete viaria di Milano*, Atti AIA 2012, Roma, 2012.
- [4] P. Bellucci, N. Corbo, D. Fernandez, A. Giovannetti, *Applicazione di procedure GIS per lo screening della rete stradale ANAS – 12° Conferenza Italiana Utenti ESRI*, Roma 27-28 Maggio 2009.