

SISTEMI DI MONITORAGGIO PER IL CONTROLLO IN TEMPO REALE DEL RUMORE IN AMBITO URBANO

Andrea Cerniglia (1)

(1) 01dB Italia, Milano

1. Introduzione

Il DM 16 Novembre 2000 stabilisce i criteri tecnici per la predisposizione, da parte delle società e degli Enti gestori di servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento ed abbattimento del rumore prodotto nell'esercizio delle infrastrutture stesse. Un piano efficace non può tuttavia prescindere da accurate misure acustiche, che siano in grado di fornire una completa descrizione della situazione in esame, discriminando le diverse tipologie di sorgenti presenti ed il loro rispettivo contributo al clima acustico complessivo. Il sistema descritto consente, grazie all'impiego di una tecnologia particolarmente innovativa, di caratterizzare acusticamente l'ambiente in modo dettagliato ed efficiente.

2. Descrizione del sistema

Il sistema può essenzialmente essere suddiviso in due parti: l'unità di acquisizione dati posizionata sul territorio, e l'unità centrale di raccolta degli stessi, allocata in una sala computer centralizzata, e comune a più unità di acquisizione periferiche. Alla prima unità è devoluto il compito di acquisizione dei parametri acustici nel punto di misura prescelto, e del loro invio al server centrale di raccolta, mentre la seconda unità è preposta alla ricezione dei dati, alla loro memorizzazione, ed alla pubblicazione degli stessi in tempo reale su una pagina web sia essa pubblica, oppure protetta per l'accesso alle sole persone abilitate. Le diverse unità di acquisizione poste sul territorio, sono collegate all'unità centrale di raccolta dati per mezzo di un canale di trasmissione basato principalmente sulla rete Internet, e di norma ottenuto per mezzo di una connessione wireless di tipo GPRS o, qualora si desideri realizzare anche un canale di trasmissione audio/video, per mezzo di una più veloce connessione Ethernet/DSL. Affiancando all'unità centrale di raccolta dati, un computer dotato di software di previsione acustica, è possibile ottenere anche la pubblicazione automatizzata in Internet ad intervalli regolari, delle mappe acustiche relative all'area in esame, ricalcolate in funzione dei dati che pervengono in continuo dalle diverse unità periferiche sul territorio. La figura 1 mostra lo schema a blocchi del sistema.

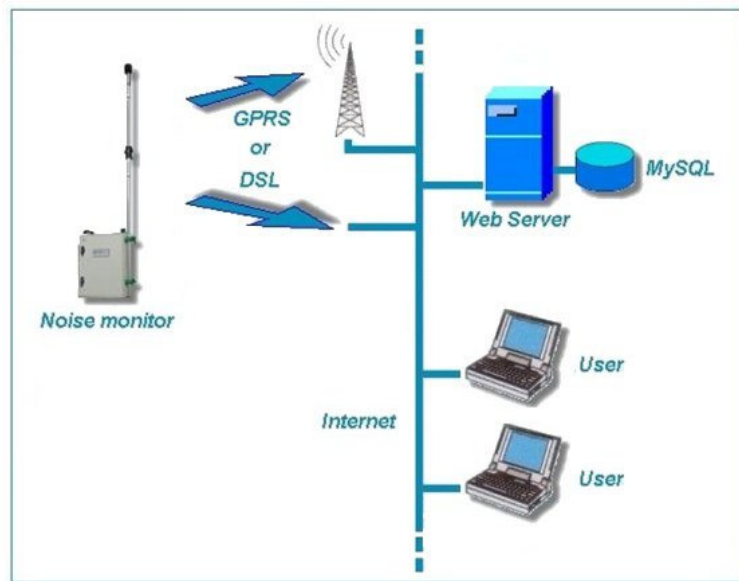


Figura 1 – Schema a blocchi del sistema

La tecnologia impiegata, rispetto a più tradizionali sistemi di monitoraggio acustico, offre alcuni indubbi vantaggi che si traducono in un immediato risparmio di tempo e di mezzi, uniti ad una efficace gestione della rete di monitoraggio. L'impiego di Internet come sistema di trasmissione consente infatti di avere a disposizione, in qualsiasi momento, tutti i dati aggiornati senza la necessità di raccolta degli stessi sul campo, e con la certezza del funzionamento del sistema anch'essa verificabile on-line. La memorizzazione delle informazioni sul server centrale di raccolta consente inoltre di disporre di una memoria virtualmente illimitata per monitoraggi protratti nel tempo, e con acquisizione di parametri particolarmente dettagliati. La pubblicazione dei dati in tempo reale, e la stesura automatizzata dei reports di misura, permettono infine di ottimizzare la gestione delle informazioni acustiche, sia nelle fasi di studio, sia anche alla luce di quanto disposto dalla Direttiva Europea 2002/49/CE in materia di eco-informazione alla popolazione, laddove questa è applicabile.

2.1 Unità di acquisizione dati

L'unità di acquisizione è basata sul fonometro '01dB Solo' collegato ad una unità microfonica per esterni, ed allocato all'interno di un box contenente anche il router per la trasmissione dei dati ed il gruppo di alimentazione del sistema. L'insieme così configurato consente l'invio continuo dei dati per un tempo illimitato nel caso in cui si scelga di impiegare una sorgente di alimentazione esterna, e fino ad otto giorni nel caso di alimentazione per mezzo delle batterie entrocontenute (in quest'ultimo caso il sistema è in grado quindi di funzionare senza necessità di alcun collegamento elettrico esterno per otto giorni consecutivi). L'unità di acquisizione è stata realizzata in due differenti versioni: la prima adatta per monitoraggi su periodo medio-lungo e la seconda, più compatta e sprovvista del sistema di alimentazione esterna, adatta a monitoraggi di poco superiori alla settimana. Nel caso in cui venga utilizzata la connessione DSL in luogo della connessione GPRS, ad esempio per integrare anche la trasmissione audio/video, è necessario impiegare l'unità dotata di alimentazione esterna. Grazie alle porte ausiliarie previste nel router, è inoltre possibile collegare al sistema anche altri trasduttori a supporto della misura acustica, quali un GPS per la determinazione della posizione esatta della centralina (con relativa pubblicazione della mappa territoriale sulla pagina web), oppure un contatraffico, o ancora una centralina per il rilievo

dei parametri metoclimatici. L'unità di acquisizione dati, nella versione adatta a monitoraggi medio-lunghi, è predisposta per il fissaggio del palo portamicrofono estensibile fino a 4 mt di altezza, ed è prevista sia per il montaggio a terra, sia per il montaggio su pali stradali o ringhiere; la versione per monitoraggi di breve periodo prevede invece unicamente il montaggio su palo. La figura 2 mostra l'unità di acquisizione nelle due versioni sopra descritte: a sinistra è rappresentata la versione per monitoraggi medio-lunghi, mentre a destra è rappresentata la versione compatta composta di due box, il primo contenente il fonometro, ed il secondo contenete il router.



Figura 2 – Unità per acquisizioni su lungo e su breve periodo

La figura 3 mostra due diverse installazioni sul campo relative alla centralina per monitoraggi su lungo periodo, la prima con fissaggio su palo di illuminazione stradale, la seconda con montaggio sul tetto di una cabina posta in prossimità di un molo. In entrambe le immagini è possibile distinguere il box ed il palo che sostiene l'unità microfonica per ambiente esterno: quest'ultima può anche essere dotata di preamplificatore microfonico riscaldato per evitare la formazione di condensa sulla membrana del microfono.



Figura 3 – installazione su palo stradale e su cabina in prossimità di un molo

2.1.1 Parametri acquisiti

La scelta dei parametri acquisiti dal sistema è stata operata valutando la necessità di ottenere informazioni sufficienti a descrivere in dettaglio il fenomeno acustico in esame, pur mantenendo entro limiti ragionevoli la quantità di dati memorizzati che, nel caso di monitoraggi su lungo periodo, può diventare facilmente molto grande. Secondo queste considerazioni, e tenuti in conto anche i limiti della comunicazione tramite la rete GPRS, è stato scelto come limite massimo di acquisizione uno spettro in banda di un terzo di ottava (short Leq) ogni secondo, comprensivo del valore globale ponderato 'A'. Con i parametri di acquisizione indicati, risulta possibile identificare agevolmente diverse tipologie di eventi e di sorgenti.

Lo stesso sistema può essere interfacciato con un apposito hardware per vibrazioni in luogo del fonometro: in questo caso la centralina consente di monitorare il valore globale di vibrazioni su tre assi, trasferendo fino a dieci valori al secondo; tra le applicazioni del sistema dedicato alle vibrazioni vi sono il monitoraggio delle stesse dovute alle infrastrutture dei trasporti ed alla cantieristica in genere.

2.1.2 Trasmissione dati

All'interno dell'unità di acquisizione dati è allocato lo speciale router, appositamente progettato per l'applicazione specifica, dedicato ad impostare opportunamente il fonometro, a ricevere da questo i dati acustici rilevati e, previa compressione degli stessi, ad inviarli all'unità centrale di raccolta assieme agli eventuali dati acquisiti a supporto della misura acustica, attraverso la rete GPRS oppure la rete Ethernet/DSL. Al fine di sopperire alle possibili inefficienze del canale di trasmissione (ad esempio per la caduta temporanea della rete GPRS o della connessione DSL), il router è dotato di un buffer in capace di memorizzare temporaneamente al suo interno i dati che non possono essere inviati, per poi riprenderne automaticamente la trasmissione al ripristino del canale trasmissivo. Oltre alle funzioni indicate, il router provvede a mantenere il sincronismo tra l'orologio interno di ogni singola stazione e l'orologio del server di raccolta: grazie a questa funzionalità è quindi possibile confrontare le tracce provenienti da diverse stazioni, avendo la certezza della sincronizzazione delle scale temporali.

2.2 Unità centralizzata di raccolta dati

Tutti i dati inviati dalle diverse unità poste sul territorio vengono simultaneamente ricevuti dall'unità centrale di raccolta degli stessi. Tale unità è basata su una macchina permanentemente connessa ad Internet, equipaggiata di sistema operativo Linux, database MySQL per la memorizzazione delle informazioni raccolte, server web Apache per la pubblicazione dei dati sul web, e linguaggio di scripting PHP per tutte le attività di supporto necessarie. Tra le diverse funzioni a cui l'unità centrale di raccolta dati è preposta, vi è anche la possibilità di provvedere, in modo totalmente automatico, alla creazione quotidiana di reports di misura in formato pdf, ed al loro invio agli indirizzi di posta elettronica delle persone interessate, congiuntamente al file contenente tutti i dati acquisiti nella giornata; i file di dati automaticamente inviati, o manualmente scaricati, possono essere successivamente elaborati con il software appositamente sviluppato per lo scopo.

3. Pubblicazione dei dati

La pubblicazione dei dati di rumore rilevati, eventualmente corredati delle informazioni aggiuntive, avviene in modo continuo e completamente automatico, su una normale pagina web che può essere pubblica e quindi visionabile da chiunque, oppure protetta da password e quindi riservata alle sole persone abilitate alla visione della stessa. Per la visualizzazione dei dati sul web non è necessario installare alcun software specifico in quanto sia la parte testuale, sia la parte grafica, vengono generate come normale codice HTML, visionabile quindi con ogni browser di qualsiasi sistema operativo: per accedere ai dati è sufficiente perciò disporre di qualsivoglia computer connesso ad internet e dotato di browser web. I dati visualizzabili sulla pagina Internet comprendono lo spettro, la storia temporale delle diverse frequenze su basi da 5 minuti a 24 ore, ed il sonogramma.

4. Generazione automatica di mappe acustiche

Grazie alla possibilità di interfacciare il sistema di monitoraggio acustico con un software di previsione sonora capace di scalare in funzione dei dati acquisiti le mappe acustiche parziali pre-calcolate, e di ricombinare le nuove mappe così ottenute per tracciare la mappa acustica complessiva, è possibile pubblicare automaticamente quest'ultima ad intervalli di tempo regolari, aggiornata in funzione dei dati acustici rilevati; per fare questo è necessario che la scelta della posizione dei monitor di rumore sia operata in modo che le misure eseguite siano rappresentative delle diverse sorgenti presenti nell'area in esame. Grazie a questa funzione è possibile quindi ottenere una informazione acustica dettagliata, di immediata comprensione, e costantemente aggiornata, che mostri la situazione dell'area di studio, e che consenta quindi anche la valutazione della distribuzione del rumore in funzione delle diverse ore della giornata, dei diversi giorni della settimana, o dei diversi periodi dell'anno. La figura 4 mostra la pagina web relativa all'installazione presso l'istituto di acustica 'Corbino' del Consiglio Nazionale delle Ricerche a Roma. Nella pagina, visibile all'indirizzo www.citynoise.net, è possibile distinguere la mappa territoriale, la foto della postazione, la mappa acustica, la trasmissione video, ed il grafico relativo alla rumorosità.

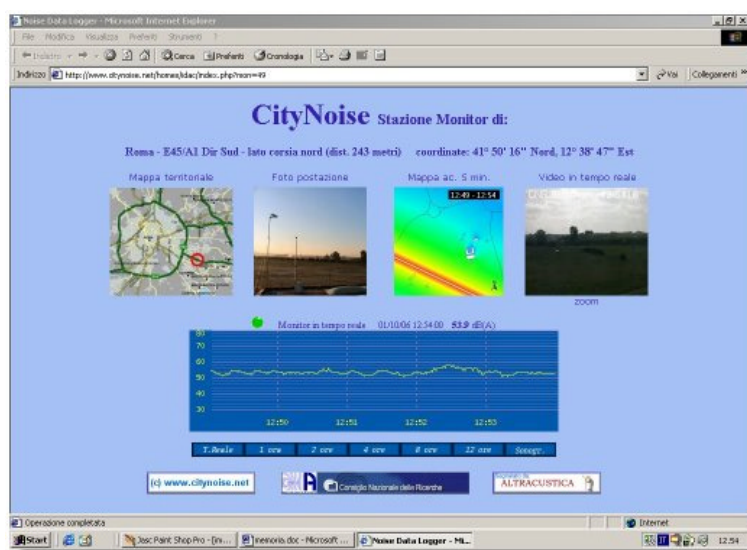


Figura 4 – Pagina web di consultazione (CNR Roma)

5. Amministrazione del sistema

Tutto il sistema può essere amministrato tramite una pagina web protetta, dalla quale vengono impostate le modalità di visualizzazione dei dati, le soglie di allarme (e-mail ed sms), gli indirizzi di posta elettronica delle persone preposte alla ricezione dei reports e dei files di misura. Dalla pagina di amministrazione del sistema è inoltre possibile procedere al download manuale dei dati, per la successiva elaborazione con il software dedicato. La figura 5 mostra una pagina di amministrazione relativa ad un sistema di 5 monitor, di cui quattro in funzione.

#	ID	Info	Recerchi	Prima	Ultima	Ore	Perzi	ult.ora	Coda	State	Esperts	Reboot	Reset
10	Monitor_10	Info	50460	30/09 23:39	01/10 14:01	14	0%	0%	1%		Get	Get	Get
20	Monitor_20	Info	50460	30/09 23:39	01/10 14:01	14	0%	0%	1%		Get	Get	Get
51	Monitor_51	Info	50460	30/09 23:39	01/10 14:01	14	0%	0%	4%		Get	Get	Get
90	Monitor_90	Info	-	-	-	-	-	-	-		Get	Get	Get
90	Monitor_90	Info	50460	30/09 23:39	01/10 14:01	14	0%	0%	1%		Get	Get	Get

Figura 5 – Pagina web di amministrazione

6. Post elaborazione

Il programma di elaborazione dei dati consente di rappresentare gli stessi in diversi formati grafici, e di eseguire vari tipi di post-elaborazione mirati sia all'identificazione dei diversi fenomeni, sia alla creazione di reports riassuntivi secondo i metodi tradizionali. Tra i modi di rappresentazione vi sono lo spettro, la time history di ogni frequenza, il sonogramma. Le post elaborazioni prevedono invece il calcolo dello spettro medio orario, diurno, serale, notturno, il calcolo dello spettro medio su un periodo definito dall'utente, il calcolo dell'analisi statistica distributiva e cumulativa per ogni ora e per ogni frequenza, il riconoscimento degli eventi mediante soglia, ed il calcolo del loro contributo al livello medio complessivo. Sia i dati raccolti, sia le successive elaborazioni, possono essere esportati in formato grafico e testuale per eventuali elaborazioni con altri programmi. La figura 6 mostra un sonogramma relativo al sorvolo di un elicottero, realizzato con il programma di elaborazione. Nel sonogramma è possibile identificare l'effetto doppler dovuto al movimento della sorgente rispetto al punto di rilievo. La parte superiore del grafico mostra la storia temporale del valore overall ponderato 'A', mentre nella parte sinistra dell'immagine è possibile riconoscere lo spettro identificato dalla posizione del mouse sul sonogramma stesso.

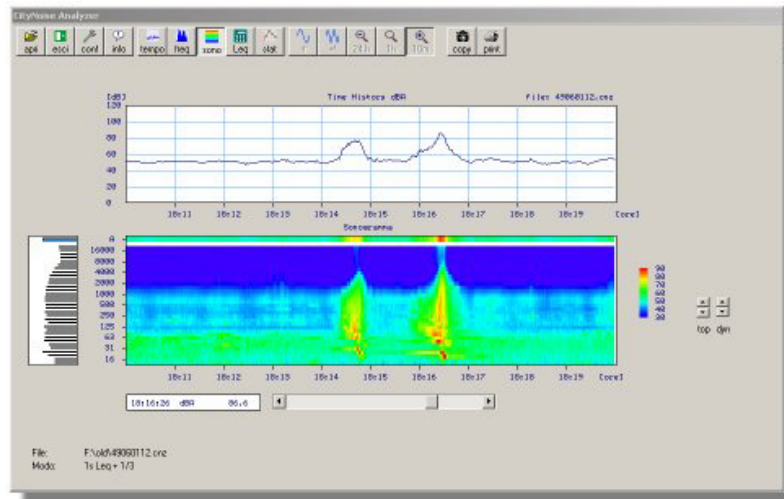


Figura 6 – Sonnogramma realizzato con il software off-line: sorvolo di elicottero

7. Esempi di misura

Grazie alla acquisizione dello spettro in 1/3 di banda di ottava con passo di campionamento di un secondo, il sistema permette l'identificazione di diverse tipologie di sorgenti in modo rapido ed efficiente. La figura 7 mostra il confronto di due sonogrammi relativi a due postazioni di misura distanti tra loro 6 km, durante un temporale. La parte rossa è relativa ad un tuono che giunge prima all'unità di acquisizione rappresentata dal diagramma superiore e, solo successivamente, alla seconda stazione con un livello di rumorosità inferiore. Nella seconda stazione si distingue inoltre la presenza di forte pioggia (area colorata in verde da 250 Hz a 10 kHz), mentre nella prima unità la pioggia risulta essere molto più limitata.

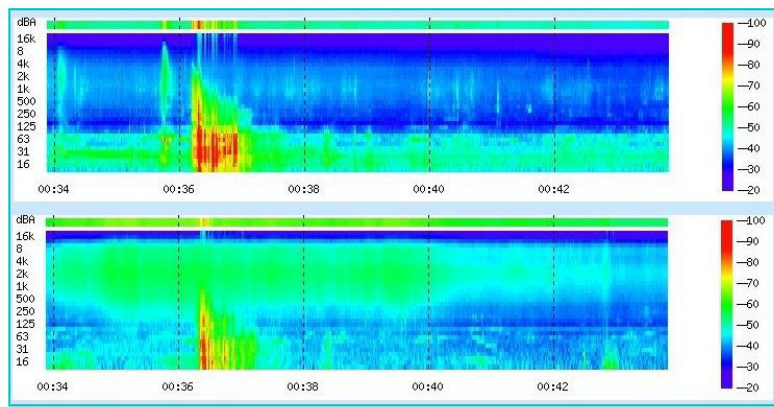


Figura 7 – Sonnogramma relativo ad un temporale captato da due stazioni distanti 6 km

La figura 8 è relativa ad una installazione nei pressi di un passaggio a livello, e mostra la time history (dBA) ed il sonogramma, relativi al passaggio di un convoglio di pendolari alle 5:07 del mattino. Nel sonogramma è possibile riconoscere il suono della

campanella che avvisa dell'imminente passaggio del treno (a sinistra) e, circa tre minuti più tardi, il passaggio del treno stesso (in centro).



Figura 8 – time history e sonogramma di un evento ferroviario di breve durata

La figura 9, sempre relativa al passaggio a livello della figura precedente, mostra invece il passaggio di un convoglio merci (evento lungo circa 4 minuti) con motrice in testa (area rossa all'inizio del passaggio del treno). Nella parte sinistra del grafico, alle 16:04 circa, è possibile individuare il suono della campanella di avviso, anche se mascherata da alcuni passaggi di automobili nella vicina strada.



Figura 9 – time history e sonogramma di un evento ferroviario di lunga durata

La figura 10 mostra il sonogramma relativo ad una installazione in prossimità del campanile di una chiesa parrocchiale. La zona evidenziata ed ingrandita è relativa ai dieci rintocchi delle campane alle ore 10:00 della mattina.



Figura 10 – time history e sonogramma delle campane

7.1 Rilievi di traffico urbano

I vantaggi offerti del sistema descritto in ambito urbano sono, oltre a quelli generali precedentemente citati, relativi alla possibilità di discriminazione di eventi non correlati alla infrastruttura oggetto di studio, al fine di ottenere una misura significativa ai fini di quanto d'interesse. La figura 11 mostra l'andamento temporale del livello equivalente orario ponderato 'A' su 24 giorni di misura, relativo ad una posizione centrale nella città di Firenze, interessata sia da traffico privato, sia da traffico relativo a mezzi di trasporto della locale azienda e di altri gestori. Nel grafico è possibile individuare la periodicità giorno-notte e, con un po' più di attenzione, anche il diverso livello delle ore serali

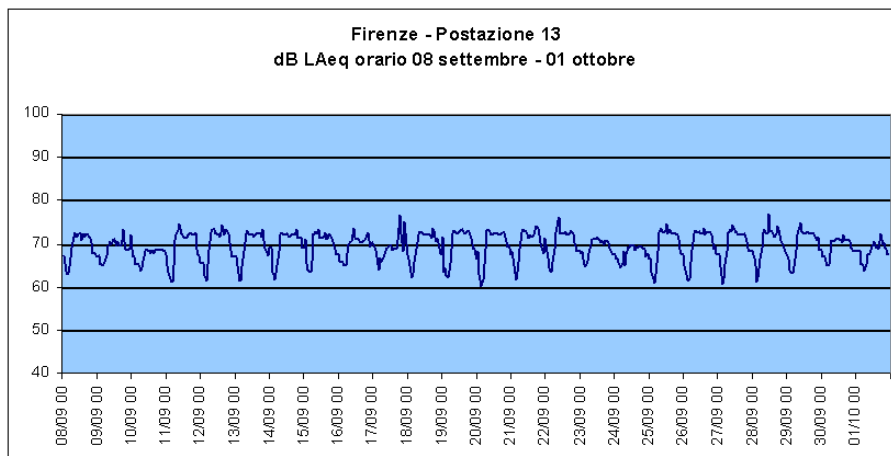


Figura 11 – time history LAeq orario su 24 giorni

Dallo stesso diagramma è inoltre possibile verificare come la rumorosità sia maggiore nei giorni feriali rispetto al sabato (9/9, 16/9, 23/9 e 30/9), e alla domenica (10/09, 17/09, 24/09 e 01/10), giorno in cui risulta essere ancora inferiore. Volendo approfondire la causa dei due picchi 'anomali' relativi a domenica 17, e possibile analizzare in dettaglio la time history oraria afferente i due periodi e rappresentata, per il primo dei due, in figura 12.

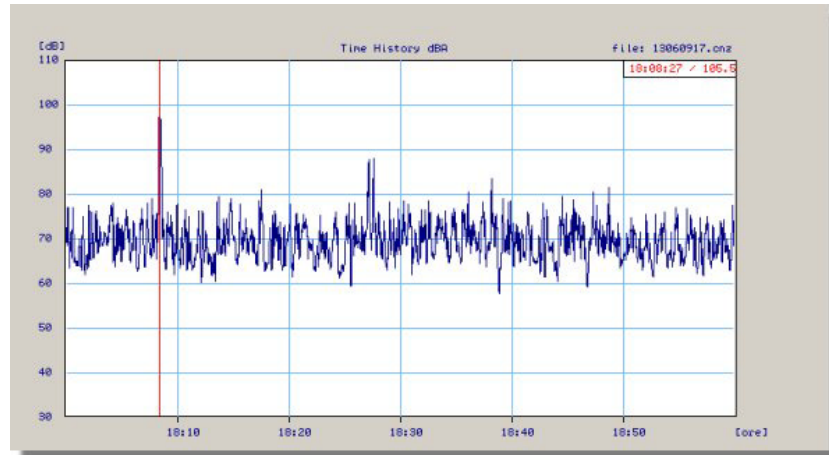


Figura 12 – time history LAeq dalle 18 alle 19 di domenica 17 settembre

Una analisi ancora più dettagliata, eseguita con il sonogramma mostrato in figura 13, permette di identificare meglio la causa dell'evento ad oltre 105 dB che, visto il contenuto spettrale ed il profilo temporale, è da attribuirsi quasi certamente ad una sirena di un mezzo di soccorso.

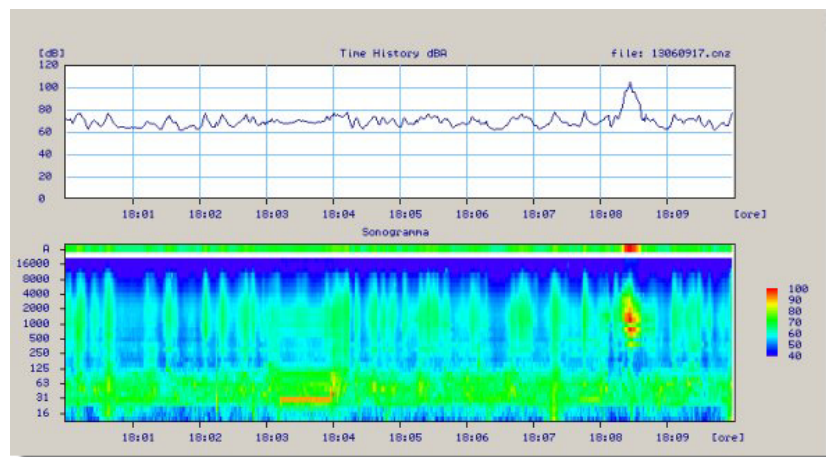


Figura 13 – time history e sonogramma dalle 18.00 alle 18.10 di domenica 17 settembre

La figura 14 mostra la time history LAeq 1 sec. relativa al 25 settembre, per il quale sono stati rilevati anche i passaggi dei mezzi dell' Azienda locale di trasporto (Tab 1).

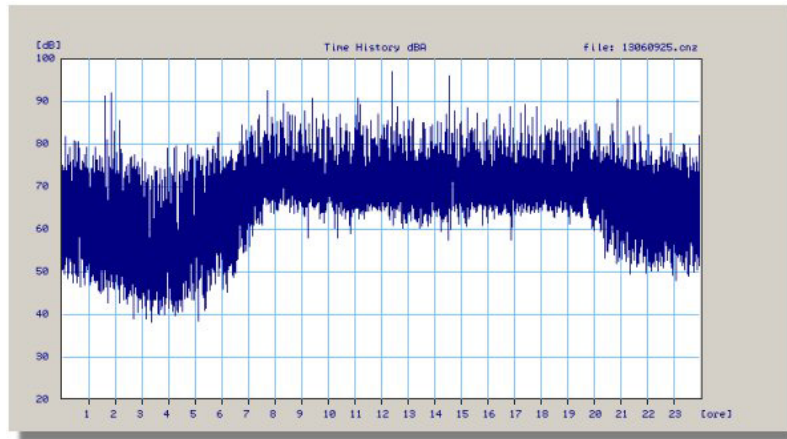


Figura 14 – time history LAeq 1sec giorno 25 settembre

L'ultima colonna di (Tab.1) riporta i valori di LAeq orario rilevati: da una prima analisi non emerge correlazione diretta tra il numero di passaggi orari ed il livello equivalente rilevato. Ciò trova giustificazione nel non esclusivo utilizzo dell'infrastruttura da parte dei mezzi di trasporto dell'Azienda: infatti, come già detto, tale infrastruttura è adibita anche al traffico privato e di autolinee di altri soggetti. Una analisi più dettagliata può prevedere la codificazione dei passaggi delle diverse tipologie di mezzi, ed il conseguente calcolo del contributo di ogni singola tipologia codificata, al livello complessivo.

Tabella 1 – Passaggi postazione 13, giorno 25 settembre

Intervallo	Direzione 'A'	Direzione 'B'	Passaggi Totali	LAeq
05:00 – 05:59	1	1	2	65.5
06:00 – 06:59	11	3	14	68.0
07:00 – 07:59	15	12	27	72.5
08:00 – 08:59	15	15	30	73.6
09:00 - 09:59	14	9	23	72.9
10:00 – 10:59	12	15	27	72.6
11:00 – 11:59	13	12	25	73.0
12:00 - 12:59	14	14	28	74.4
13:00 - 13:59	14	13	27	72.3
14:00 – 14:59	14	15	29	73.4
15:00 - 15:59	13	10	23	72.6
16:00 – 16:59	11	9	20	72.2
17:00 – 17:59	13	14	27	72.3
18:00 – 18:59	12	12	24	72.1
19:00 – 19:59	13	16	29	71.8
20:00 – 20:59	12	11	23	70.9
21:00 – 21:59	4	8	12	68.6
22:00 – 22:59	4	4	8	67.7
23:00 – 23:59	2	3	5	67.6
Totali	207	196	403	---

8. Prospettive e sviluppi futuri

Alcune tipologie di eventi, come ad esempio il passaggio di un treno, di un aereo, o di un mezzo di soccorso, mostrano caratteristiche ripetibili e identificabili, anche in presenza di variazioni di alcuni parametri della sorgente che genera l'evento stesso; ciò rende percorribile un progetto di ricerca per giungere ad un possibile futuro riconoscimento automatico della tipologia di eventi, con conseguente codifica e calcolo del contributo degli stessi.

9. Conclusioni

Il sistema illustrato, oltre ad eliminare completamente i problemi di limitazione di memoria e di scarico periodico dei dati dalle centraline di rilievo, consente una analisi acustica molto dettagliata e, rendendo immediatamente disponibili le informazioni sul web (eventualmente previa validazione degli stessi), si rivela uno strumento efficace sia dal punto di vista della produttività, sia eventualmente da quello della eco-informazione ai cittadini. Oltre alle applicazioni specifiche nel settore delle infrastrutture dei trasporti, il sistema si presta bene anche per applicazioni diverse quali la validazione di modelli acustici, il monitoraggio di industrie, di attività rumorose, di piste motoristiche, e di cantieristica in genere.

10. Bibliografia

- [1] A. Cerniglia, G. Brambilla, P. Verardi, "Real time noise monitoring: un approccio innovativo al monitoraggio acustico ambientale", Atti 33° Convegno Associazione Italiana di Acustica 2006, Ischia
- [2] G. Brambilla, A. Cerniglia, P. Verardi, "New potential of long term real time noise monitoring systems", Euronoise 2006 proceedings, Tampere, Finland
- [3] A. Cerniglia, G. Brambilla, P. Verardi, "Real time noise monitoring publishing", 8th international symposium on transport noise and vibration proceedings", Saint Petersburg, Russia
- [4] A. Cerniglia, G. Amadasi, "Use of web based real time noise data transmission for acoustic investigation and mapping", 13th international congress on sound and vibration proceedings, Vienna, Austria