CONTESTO OPERATIVO:SISTEMI DI MONITORAGGIO DEL RUMORE

Sub- ACTION A1.2

Allegato 2 dell'Abacus sul contesto operativo per le zone a bassa emissione di rumore

Life MONNA

Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction And management

LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA
Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction And management

Technical Report - A1.2 Contesto operativo:sistemi di monitoraggio del rumore

Deliverable	**Contesto operativo:sistemi di monitoraggio del rumore Allegato 2 dell'Abacus sul contesto operativo per le zone a bassa emissione di rumore**
Action/Sub-action	Action A1 - Operational context for Noise Low Emission Zones (LEZ) detection and management Sub-action A1.2 - Operational context: Noise Monitoring Systems
Authors	Rosalba Silvaggio, Salvatore Curcuruto, Enrico Mazzocchi, Giuseppe Marsico
Status	Versione finale

Beneficiary:	ISPRA
Contact person:	Rosalba Silvaggio
E-mail:	rosalba.silvaggio@isprambiente.it
Project web-site	-

Indice

1. Introduzione 2
2. Contesto operativo: sistemi standard di monitoraggio del rumore 5
3. Contesto operativo: esperienze e procedure relative ai sistemi di monitoraggio del rumore *smart* e *low-cost* 6
3.1 DREAMSys 6
3.2 Reti di monitoraggio *smart* – Università di Ghent 9
3.3 SENSEable Pisa 11
3.4 LIFE DYNAMAP project 13
3.5 Barcelona Noise Monitoring Network 15
3.7 Sistema di monitoraggio acustico *low-cost* basato su dispositivi *smartphone* – ARPA Piemonte 18
3.8 Progetti di monitoraggio partecipativi 21
3.8.1 Smart citizens project 21
3.8.2 NoiseWatch 21
3.8.3 Noisetube 22
3.8.4 CITI-SENSE 22
4. Requisiti prevalenti, vantaggi e limiti delle reti di monitoraggio del rumore *smart* e *low-cost* 23
5. Bibliografia 26

1. Introduzione

Il progetto LIFE MONZA

L'introduzione di Low Emission Zones (Zone a basse emissioni), aree urbane soggette a limitazioni di traffico stradale con lo scopo di garantire il rispetto dei valori limite degli inquinanti atmosferici, stabilite dalla Direttiva Europea relativa alla qualità dell'aria ambiente (2008/50/CE), è un'azione diffusa e consolidata nell'amministrazione delle città e gli impatti sul miglioramento della qualità dell'aria sono stati ampiamente analizzati, mentre gli effetti ed i benefici riguardanti l'inquinamento acustico non sono stati affrontati in maniera esaustiva. Attualmente, il rumore è uno dei maggiori problemi ambientali in Europa, con stimati effetti sulla salute, e il traffico stradale è la sorgente dominante, con una stima di 125 milioni di persone[1] esposte a livelli di rumore superiori a 55 dB L_{den}[2]. Allo stato attuale, vi è la mancanza di un processo di gestione globale e integrato in merito alle Low Emission Zones (LEZ), aree di bassa emissione di inquinanti. La definizione, i criteri per l'analisi e le modalità di gestione di una Low Emission Zone non sono ancora chiaramente definiti e condivisi. Il progetto LIFE MONZA (Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction And management - LIFE15 ENV/ IT/000586) affronta questi problemi. Il primo obiettivo del progetto è quello di introdurre un metodo facilmente replicabile in altri contesti, con relative linee guida, per l'identificazione e la gestione della Noise Low Emission Zone (Noise LEZ), una zona urbana soggetta a limitazioni di traffico, i cui impatti e benefici per quanto riguarda i problemi di rumore verranno analizzati e testati nell'area pilota della città di Monza, situata nel Nord Italia. Il secondo obiettivo riguarda le *top-down measures*, azioni intraprese dal comune in grado di trasformare l'area pilota in una Noise LEZ permanente, riguardanti la gestione del traffico, la sostituzione delle pavimentazioni stradali e l'introduzione di due attraversamenti pedonali. Il terzo obiettivo è quello di ridurre i livelli medi di rumore nell'area pilota del quartiere Libertà, con effetti complementari positivi anche sulla qualità dell'aria e benefici sulle condizioni di benessere degli abitanti. Il quarto obiettivo è quello di coinvolgere le persone in un sistema di gestione attiva relativo a scelte di vita più sostenibili, con effetti sulla riduzione del rumore, sul miglioramento della qualità dell'aria e sulle condizioni di benessere, negli ambienti di vita e di lavoro. Al fine di incoraggiare il coinvolgimento della comunità locale e di rafforzare il dialogo tra i cittadini e gli enti pubblici, saranno svolte molte attività, quali incontri nelle scuole elementari e superiori, per accrescere la consapevolezza sugli effetti del rumore, concorsi di idee per la creazione del logo della Noise LEZ dell'area pilota, questionari sulla qualità della vita e la percezione del rumore. Sarà sviluppata una applicazione per telefoni cellulari per gestire le azioni sostenibili svolte volontariamente dalla popolazione residente nell'area e misurare i benefici e i cambiamenti concreti nello stile di vita delle persone. Al fine di contribuire all'implementazione delle direttive europee, evitando duplicazioni e sovrapposizioni, l'individuazione delle potenziali sinergie esistenti tra le tematiche relative all'inquinamento acustico e alla qualità dell'aria sarà effettuata durante il progetto. La metodologia contribuirà all'attuazione della direttiva 2002/49/CE, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (Environmental Noise Directive - END), che introduce i piani di azione sul rumore, destinati a gestire gli impatti dovuti all'inquinamento acustico ambientale. La END non fornisce una definizione delle Low Emission Zones (LEZs) in relazione al rumore, e non sono considerate come azioni da intraprendere nell'ambito della redazione dei piani d'azione. L'allegato V della direttiva, recante i requisiti minimi per la redazione dei piani d'azione, suggerisce alcune tipologie di azioni che le autorità competenti dovrebbero prendere in considerazione, quali la pianificazione del traffico e la pianificazione del territorio, ambiti ai quali legittimamente appartiene la definizione e gestione delle Noise LEZ. I risultati del progetto, che definisce i criteri per la definizione e gestione delle Noise LEZs, con relative linee guida, contribuiranno a definire ulteriori tipologie di azioni da adottare nell'ambito dei piani d'azione introdotti dalla direttiva.

[1] Noise in Europe 2014. EEA Report- No 10/2014 European Environment Agency
[2] Lden: day-evening-night Level

Action A1 – Contesto operativo per l'introduzione e la gestione delle *Noise Low Emission Zones (LEZ)*

L'Action A1 è strutturata in cinque sotto-azioni e prevede una revisione dello stato dell'arte sui requisiti legislativi e tecnici riguardanti la Noise Low Emission Zone (Zona a bassa emissione di rumore), sui più aggiornati sistemi di monitoraggio del rumore e della qualità dell'aria, sugli appositi indicatori di salute riguardanti gli effetti dovuti al rumore e all'inquinamento atmosferico e sui possibili interventi da adottare nelle Noise LEZs e la loro efficacia in merito alla qualità dell'aria, all'inquinamento acustico e alla salute.

Il beneficiario responsabile per l'attuazione dell'azione è ISPRA. L'azione è divisa in 5 sotto-azioni, ciascuna coordinata da un beneficiario associato:

A1.1 Legal and Environmental framework for Noise LEZ introduction - MONZA

A1.2 Operational context: Noise Monitoring Systems - ISPRA

A1.3 Operational context: Air Quality Monitoring Systems - ISPRA

A1.4 Operational context: Health indicators - UNIFI

A1.5 Operational context: interventions and expected effects on air quality, noise and health – VIENROSE

Il documento finale previsto dall'azione A1 è un abaco che disegna il contesto operativo riguardante la Noise Low Emission Zone, strutturato in cinque sezioni dedicate a questi temi: quadro giuridico e ambientale per l'introduzione della Noise LEZ; contesto operativo: sistema di monitoraggio del rumore; contesto operativo: sistema di monitoraggio della qualità dell'aria; contesto operativo: indicatori di salute; contesto operativo: gli interventi e gli effetti attesi su qualità dell'aria, rumore e salute.

Sub-action A1.2 – *Contesto Operativo: sistemi di monitoraggio del rumore*

La sub-action A1.2 richiede un aggiornamento delle più avanzate soluzioni *smart* di monitoraggio del rumore, riportate in questo documento. Il progetto LIFE MONZA prevede una fase di monitoraggio acustico nell'area pilota, eseguito sia con metodi standard, utilizzando fonometri di Classe I di precisione, sia mediante lo sviluppo e l'utilizzo di un sistema di monitoraggio *smart* e *low-cost*.

Il sistema prototipale per il monitoraggio del rumore *smart* e *low-cost* sarà sviluppato (Action B.3 *Prototype of monitoring system for Noise LEZ design - data analysis techniques definition*) per essere utilizzato come unità di monitoraggio continuo negli scenari ex ante ed ex post gli interventi previsti per l'introduzione della Noise LEZ. L'analisi dello stato dell'arte sui sistemi di monitoraggio del rumore *smart* e *low-cost*, utili a supportare la realizzazione del prototipo, è stata effettuata da ISPRA ed è presentata nel presente documento, mentre l'Università di Firenze si occuperà della progettazione del sistema e VIE En.Ro.Se. convaliderà e testerà il network di sensori.

L'inquinamento acustico sta destando una preoccupazione crescente, in Europa. Alcuni dei messaggi chiave e dei dati forniti dal rapporto *Noise in Europe 2014* mettono in evidenza che il rumore ambientale provoca almeno 10.000 casi di morte prematura in Europa ogni anno, quasi 20 milioni di adulti sono soggetti a fastidio da rumore e ulteriori 8 milioni soffrono di disturbi del sonno. Inoltre, più di 900.000 casi di ipertensione e 43.000 ricoveri ospedalieri in Europa sono causati ogni anno dal rumore ambientale. La direttiva 2002/49/CE, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale [3] (Environmental Noise Directive – END) richiede la valutazione del numero di persone esposte al rumore ambientale; la redazione di mappe acustiche strategiche; l'elaborazione di piani d'azione per la prevenzione e la riduzione del rumore ambientale ove necessario e per la tutela della qualità acustica; la necessità di garantire l'informazione del pubblico sul rumore ambientale e i suoi effetti.

[3] http://ec.europa.eu/environment/noise/directive_en.htm

Per quanto riguarda la determinazione del rumore, vi è la necessità di confrontare i dati delle mappe acustiche strategiche, ma la mancanza di metodi di valutazione comuni provoca incongruenze significative nei dati resi disponibili dagli Stati membri e nelle informazioni relative alle due fasi di attuazione della direttiva. La Commissione Europea ha organizzato il progetto Common Noise aSSessment methOdS project (CNOSSOS-EU), definendo metodi di valutazione comuni riguardanti le infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali e le attività industriali, al fine di consentire la comparazione dei risultati all'interno della Comunità Europea. L'applicazione dei metodi di CNOSSOS sarà obbligatoria per il reporting round fissato per il 2022.
L'inquinamento acustico è causato da una grande quantità di sorgenti e ci sono molti metodi, standardizzati, in grado di determinare l'impatto, condivisi a livello internazionale e resi obbligatori dalle legislazioni nazionali. Gli standard internazionali e nazionali forniscono i requisiti, le specifiche, le linee guida e le relazioni tecniche in grado di garantire l'affidabilità e la qualità dei risultati. Le specifiche tecniche dei differenti sistemi di monitoraggio del rumore e la comparabilità dei risultati sono attualmente problemi sui quali si concentra l'attenzione.
A livello europeo, FONOMOC[4], FOcus group On NOise MOnitoring Cities, ha lo scopo di scambiare conoscenze ed esperienze riguardanti il monitoraggio del rumore nelle città. Si tratta di un sottogruppo del gruppo di lavoro Noise EUROCITIES, il network delle principali città europee. Il gruppo lavora sull'individuazione dei punti critici nelle attività di determinazione del rumore e sugli sviluppi e le innovazioni dei sistemi di monitoraggio.
Alcuni argomenti discussi nelle riunioni sono legati ai sistemi per l'identificazione delle sorgenti di rumore, al monitoraggio e alla mappatura del rumore ambientale in tempo reale, alle reti di sensori del rumore, all'utilizzo degli smartphone con applicazioni per la valutazione del rumore, alle misure eseguite con gli smartphone equipaggiati con un microfono MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) a basso costo.
Il metodo tradizionale di monitoraggio del rumore ambientale impiega tempi di misura a breve e a lungo termine, richiedendo l'utilizzo di apparecchiature costose per le misurazioni e la gestione dei dati, mentre sono stati sviluppati nuovi metodi di monitoraggio del rumore, in grado di consentire una riduzione dei costi, misure di tempo lunghi e una buona qualità dei dati.
I recenti sviluppi dei microfoni a basso costo e dei dispositivi informatici, insieme con la disponibilità di risorse web, danno la possibilità di creare reti di dispositivi di misurazione del rumore, definendo un *"approccio intelligente e a basso costo del monitoraggio del rumore" ("smart low-cost sound monitoring approach")*, che è stato applicato soprattutto in contesti urbani, consentendo, in particolare a livello locale, una caratterizzazione acustica delle aree.
Salvaguardando gli standard tradizionali relativi alle tecniche e ai metodi di monitoraggio del rumore, obbligatori per legge, i sistemi di monitoraggio *smart*, dotati di sensori a basso costo, sembrano essere competitivi, in alcune situazioni e in determinate condizioni.
Le dimensioni territoriali delle aree urbane, quali le aree a basse emissioni di rumore (Noise LEZs), dovrebbero essere particolarmente appropriate per le applicazioni di reti di sensori *smart* e *low-cost* e il progetto LIFE MONZA, avviando attività di monitoraggio del rumore nell'area pilota sia con il metodo tradizionale, sia con sistema di monitoraggio *smart* e *low-cost*, mediante un prototipo a basso costo che sarà sviluppato durante il progetto, potrà fornire un contributo, analizzando l'efficienza del sistema di monitoraggio *smart* e *low-cost* e consentendo il confronto dei dati.
Nel presente documento è presentata l'analisi delle esperienze e delle procedure sviluppate in Europa, in merito ai sistemi di monitoraggio del rumore *smart* e *low-cost*, al fine di aggiornare le informazioni per la definizione del contesto operativo relativo ai problemi del monitoraggio del rumore e anche per fornire supporto allo sviluppo del prototipo previsto dalla Action B.3. Schede tecniche contenenti le principali informazioni riguardanti l'analisi condotta sono riportate nel documento *Abacus on operational context on Noise Low Emission Zone*.

[4] https://workinggroupnoise.com/fonomoc/

2. Contesto operativo: sistemi standard di monitoraggio del rumore

Nel presente documento è presentata l'analisi dei sistemi di monitoraggio del rumore intelligenti e a basso costo (*smart and low-cost*), le esperienze condotte e le procedure sviluppate, ma, in primo luogo, sono di seguito brevemente descritte le principali caratteristiche relative ai sistemi di monitoraggio standard del rumore.

La necessità delle misure nel campo del rumore ambientale ha portato a sviluppare una standardizzazione tecnica anche riguardo ai dispositivi normalmente impiegati nei sistemi di monitoraggio, la cui architettura dipende dal tipo di sorgente in esame e dal tempo di misura richiesta. In generale, sono considerati due tipi di monitoraggio del rumore:

- misure di breve durata (spot), mediante fonometri;
- monitoraggio a lungo termine, effettuato con stazione fissa costituita da cabinet, alimentatore e fonometro.

Il microfono è il trasduttore che trasforma la pressione meccanica in segnali elettrici. Nel campo della metrologia, sono comunemente utilizzati microfoni a condensatore: questi dispositivi sono basati sulla variazione di tensione ai capi di un condensatore avente una delle due armature fisse e l'altra costituita dalla membrana stessa del microfono, entrambe dotate di una certa quantità di carica elettrica. Essendo costante la carica, le variazioni della distanza tra le piastre dovute alla vibrazione della membrana provocano una variazione della tensione elettrica ai capi del condensatore. I cosiddetti "microfoni a elettrete" (*electret microphones*) sono forniti di un materiale dielettrico che mantiene all'interno la carica elettrica e quindi il microfono non deve essere alimentato dall’esterno. Le caratteristiche fondamentali di un microfono sono le seguenti:

- sensibilità: tensione elettrica in mV generata dal livello di pressione sonora pari a 1 Pa;
- dinamica: differenza tra il livello massimo di pressione sonora e livello equivalente di rumore di fondo;
- variazione della sensibilità con la frequenza (larghezza di banda);
- variazione della sensibilità con l'angolo di incidenza: ci sono microfoni aventi una risposta in frequenza lineare in campo libero e altri con le stesse caratteristiche per condizioni di campo diffuso.

I fonometri permettono di elaborare i segnali elettrici generati dal microfono, in modo da ottenere i valori numerici dei descrittori tipici usati nel campo del rumore ambientale. I fonometri fondamentalmente funzionano come segue:

- ponderazione di frequenza
- calcolo del valore Root Mean Square (RMS);
- ponderazione temporale del valore RMS mediante una costante di tempo esponenziale (cioè Fast, Slow, Impulse)
- media nel tempo del valore RMS per il calcolo del livello di pressione sonora equivalente Leq.

Attualmente, nel campo delle specifiche dei fonometri, il riferimento tecnico più importante è dato dalla norma IEC 61672 che fornisce limiti di tolleranza per la risposta in frequenza del dispositivo, rumore auto-generato e linearità.

Sono definite due classi principali di strumenti di precisione, con le relative specifiche:

- Classe I: massimo errore di linearità di ± 1,1 dB per circa 1 kHz, il campo di funzionamento lineare deve essere di almeno 60 dB e le deviazioni di ampiezza lineari non devono superare ± 0,6 dB.
- Classe II: massimo errore di linearità di ± 1,4 dB per circa 1 kHz, il campo di funzionamento lineare deve essere di almeno 60 dB e le deviazioni di ampiezza lineari non devono superare ± 0,8 dB.

La Classe I (di precisione) deve essere impiegata per misure accurate del suono in laboratorio e in campo, mentre la Classe II (General Purpose) potrebbe essere utilizzata per misure generali in campo.

3. Contesto operativo: esperienze e procedure relative ai sistemi di monitoraggio del rumore *smart* e *low-cost*

La crescente disponibilità di dispositivi di elaborazione e microfoni a basso costo e di connettività wireless permette di sviluppare diversi tipi di sistemi, con caratteristiche intelligenti e a basso costo, in grado di rilevare, analizzare e trasmettere dati sul rumore. I sistemi *smart* e *low-cost* consentono un monitoraggio acustico diffuso e continuo, definendo, in una scala territoriale adeguata, quali le aree urbane, una rete in grado di garantire dati di misurazione di alta qualità.
E' possibile classificare i sistemi in base a diverse caratteristiche, come la tipologia di rete, le procedure di trasmissione dei dati, il tipo di microfono, ecc. Ci sono reti di sensori basati su microcontrollore, come molti dei comuni sistemi di monitoraggio del rumore conformi alla classe I dello standard IEC 61672 e, inoltre, ci sono reti formate da mini pc a basso costo, dotati di una scheda audio, con funzionalità Wi-Fi (o GPRS/3G/4G) e un software di analisi del segnale in grado di elaborare i dati provenienti dalle schede audio, utilizzando microfoni a basso costo, come i MEMS.
Facendo riferimento ai tipi di microfoni e al loro sviluppo nel corso degli anni, che ha consentito una disponibilità a basso costo, garantendo prestazioni elevate, è possibile considerare i microfoni prepolarizzati a condensatore (microfono ad elettrete), che sono stati sviluppati a partire dal 1960, e i microfoni MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems), introdotti all'inizio del 2000. Entrambi sono accessibili a basso costo e potrebbero essere utilizzati secondo i requisiti dello standard IEC 61672, in classe I o II, a seconda delle specifiche tecniche dei dispositivi. Non c'è ancora un largo impiego di MEMS per misure in ambiente esterno, in particolare per la loro mancanza di stabilità nel tempo, a causa degli effetti deteriorativi dovute alle condizioni atmosferiche. Vi è un crescente interesse verso questo tipo di dispositivi, dal momento che le prestazioni dei MEMS sembrano essere competitive rispetto ai microfoni utilizzati in strumenti di classe I, a determinate condizioni, soprattutto a livelli di rumorosità molto bassi. I sensori caratterizzati da maggiori e migliori caratteristiche sono continuamente in via di sviluppo, mentre quelli vecchi divengono obsoleti in un periodo molto breve.
Le esperienze sui sistemi di monitoraggio del rumore *smart* e *low-cost*, svolte in Europa, sono di seguito presentate, focalizzando l'attenzione sulle procedure, le caratteristiche tecniche, le specifiche dei microfoni, le aree pilota in cui è stato implementato il sistema, i descrittori acustici utilizzati e i risultati. Un breve cenno è dedicato ai progetti di monitoraggio partecipativi *(participatory monitoring projects)*, relativi alla raccolta e condivisione dei dati, al fine di consentire la partecipazione del pubblico e aumentare la consapevolezza sulle questioni ambientali.

3.1 DREAMSys

DREAMSys[5] (Distributed Remote Environmental Array & Monitoring System) è un progetto per lo sviluppo di un nuovo sistema di monitoraggio e mappatura del rumore ambientale che utilizza un nuovo tipo di si sensori. Il team è costituito da organizzazioni di ricerca e tecnologiche, da costruttori ed esperti di rumore ambientale e il progetto è sovvenzionato dal Technology Strategy Board, un ente pubblico direttivo e non-governativo guidato dalle aziende, istituito dal governo britannico, al fine di supportare le attività di ricerca e tecnologia innovative, per la crescita economica e il miglioramento della qualità della vita nel Regno Unito. Il sistema è stato sviluppato da un gruppo industriale[6], guidato da NPL (National Physical Laboratory[7]). Al fine di dare un contributo all'implementazione della direttiva 2002/49/CE, in particolare al processo di mappatura

[5] http://projects.npl.co.uk/dreamsys/
[6] QinetiQ Ltd, Hoare Lea Acoustics and Castle Group Ltd.
[7] http://www.npl.co.uk/

del rumore, è stata sviluppata e testata una serie di unità di monitoraggio del rumore ambientale a basso costo, utilizzando la trasmissione wireless dei dati di misura. I dati di monitoraggio possono essere utilizzati per la mappatura acustica, utilizzando il software su misura sviluppato. Un punto chiave del processo è l'uso di microfoni MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) a basso costo, che permettono a un gran numero di stazioni di monitoraggio di lavorare simultaneamente. La crescita notevole dei prodotti elettronici portatili di consumo, come telefoni cellulari e computer portatili, ha stimolato lo sviluppo di microfoni MEMS negli ultimi anni. Il sistema può essere utilizzato per la mappatura acustica strategica, la redazione dei piani di azione, la determinazione del rumore ambientale e nei luoghi di lavoro, permettendo una misurazione distribuita su larga scala. Il progetto, avviato nel 2007 e concluso nel 2010, ha sviluppato un sistema che è stato testato in laboratorio e mediante misure in situ.
Il progetto Dreamsys sviluppa microfoni ad elevato rendimento, adatti ad acquisire dati di misura del rumore, in ogni condizione atmosferica e alimentati da batterie ricaricabili al fine di funzionare per più di due settimane.
Le specifiche per microfoni MEMS sono riportate nella seguente tabella, come il livello minimo rilevabile di pressione sonora, la banda di frequenza acustica e la gamma dinamica.
Gli obiettivi principali sono i livelli minimi di pressione sonora rilevabili, considerando che il livello 40 dB(A) è visto come attuabile, mentre 20 dB(A) è considerato il valore ideale; la banda di frequenza acustica varia da 20Hz a 20kHz e la gamma dinamica è di 70 dB. E' anche considerato ideale avere una misura di temperatura con scostamenti minori di 1 °C.

Tabella 1: Specifiche dei microfoni MEMS utilizzati nei sensori di misura del rumore ambientale di Dreamsys. Rif. [4]

Specifiche MEMS	
Gamma dinamica acustica	70 dB
Minimo livello di pressione rilevabile	40 dB(A) potrebbe essere attuabile 30 dB(A) sarebbe utile 20 dB(A) sarebbe ideale
Massimo livello di pressione rilevabile	110 dB(A)
Banda di frequenza acustica	20 Hz - 20 kHz
Frequenza di risonanza della membrana meccanica	> 30 kHz
Precisione della misura di temperatura su circuito integrato	< 1 °C
Tensione di esercizio	3.3 V
Corrente di esercizio	pochi mA
Intervallo di tensione analogica	≈ 1 V
Dimensioni del circuito stampato	<10mm x <10 mm
Forma del circuito stampato PCB	Ottimizzato per evitare effetti di diffrazione

I risultati del progetto sono la produzione di microfoni MEMS con le specifiche di qualità di misura, adatti per uso esterno; lo sviluppo di una vasta gamma di sensori wireless (Dreamsys) e software di analisi; l'applicazione del sistema in luoghi diversi e lo sviluppo di linee guida sulle migliori pratiche.
Il prototipo e l'architettura del sistema sono indicate nelle seguenti figure.

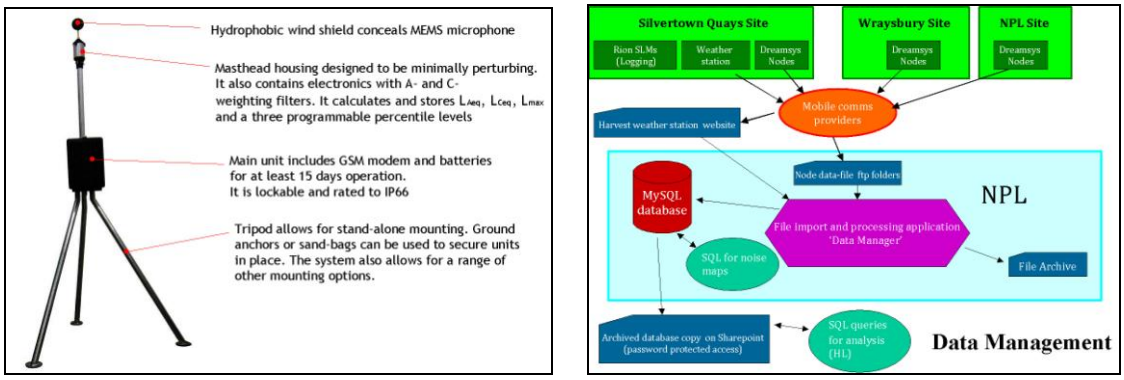


Figure 1-2. A sinistra, prototipo e a destra, l'architettura del sistema. Rif. [5]

Sono state analizzate le caratteristiche delle distribuzioni statistiche tipiche della sensibilità di risposta in pressione dei 100 microfoni campione, e sono stati testati anche gli effetti dello schermo antivento, l'effetto del diametro del sostegno, il rumore intrinseco e la temperatura.
Con lo scopo di valutare l'approccio distribuito delle misure, sono stati identificati quattro siti di prova, nei quali il metodo Dreamsys è stato applicato, con i risultati di seguito riportati.
Il sito di NPL (National Physical Laboratory, Teddington, UK) è stato il primo caso di studio per valutare le prestazioni delle nuove attrezzature. Sette unità sono state impiegate, indagando le configurazioni di montaggio, la calibrazione e il monitoraggio dell'affidabilità. E' stato anche eseguito un confronto tra le apparecchiature standard conformi ai fonometri di Classe 1 e il sistema di monitoraggio Dreamsys. Nelle figure 3 e 4 sono riportate due opzioni di montaggio, presso la sede NPL a sinistra e presso la riserva Wraysbury, a destra.

Figure 3-4 – A sinistra, strumenti di misura DREAMSys installati presso NPL e, a destra, soluzione di montaggio degli strumenti di misura presso Wraysbury Reservoir. Rif. [6]

La zona è caratterizzata dalla presenza di diversi tipi di sorgente: parte del sito si trova vicino a una strada trafficata, altre parti sono vicini a un parco e a campi sportivi e tutta l'area è lungo la rotta di decollo dell'aeroporto di Heathrow. Un'altra posizione è Wraysbury Reservoir (Staines, UK), caratterizzata dalla presenza di rumore, un alto grado di esposizione agli agenti atmosferici, la presenza di fauna selvatica. La Figura 4 mostra una soluzione di montaggio utilizzata. Il sito è vicino all'aeroporto di Heathrow e all'autostrada principale. Il sistema di monitoraggio ha considerato 6 unità schierate a Wraysbury per un periodo di 3 settimane nel giugno 2009.
Sono state effettuate misure di rumore distribuite in occasione del Festival Square a Edimburgo per studiare la relazione tra la percezione del suono e il livello fisico del rumore. La campagna di monitoraggio ha considerato alcune unità integrate con l'ambiente circostante (ad esempio, montati in cespugli o attaccati alle ringhiere e altri elementi), mentre un minor numero di sensori è stato montato su treppiedi in area aperta. Le ragioni di questa scelta sono dovute all'esigenza di coprire l'intera area della piazza e anche per testare la reazione delle persone alle apparecchiature, che si è rivelata generalmente positiva.

Le misurazioni sono state effettuate per 3 giorni consecutivi nel mese di ottobre 2009, con la strumentazione rimossa dalla piazza durante la notte, composta da 8 unità, 6 ai confini e due nella piazza. La quarta area era Silvertown Quays, area non accessibile al pubblico, che si trova lungo la rotta di decollo del London City Airport e, nonostante questo, l'area è stata selezionata per lo sviluppo residenziale. E' anche vicina alla Docklands Light Railway, una strada principale con la presenza di attività commerciali. Utilizzando la disposizione treppiede, 39 unità sono state dispiegate nella zona.
I descrittori acustici utilizzati dalle unità Dreamsys sono sia i livelli continui equivalenti di pressione sonora ponderati A e C (LAeq, LAeq), per un periodo temporale predefinito di 10 minuti. Inoltre, sono stati considerati parametri statistici, come il livello massimo ponderato A e tre livelli percentili (L_{A10}; L_{A50}, L_{A90}). Il sistema di misurazione tipico è composto da 5 a 100 unità. I dati delle campagne di monitoraggio svolte nei diversi siti sono stati utilizzati per la redazione delle mappe acustiche delle aree e i risultati, per Wraysbury Reservoir, sono in linea con le previsioni, confermando la qualità dei dati per un tempo di misurazione adeguato. Anche considerando la zona Silvertown Quays, nonostante la presenza di diversi ed importanti sorgenti di rumore, i dati delle unità situate in prossimità della rotta di sorvolo degli aeromobili sono coerenti con le previsioni.
Ulteriori test e misurazioni sono stati effettuati durante il progetto e, successivamente, la ricerca sulle reti di monitoraggio del rumore a basso costo, basate su applicazioni MEMS, è continuata, in particolare da NPL, principalmente sulla valutazione delle prestazioni e della stabilità e sullo sviluppo di un sistema di microfoni auto-calibranti.

3.2 Reti di monitoraggio *smart* – Università di Ghent

Il gruppo di ricerca Waves[8] (wireless, acoustics, environment and expert systems) dell'Università di Ghent lavora su reti di monitoraggio *smart* e le sue competenze sono focalizzate sulle seguenti attività: applicazione di modelli per *machine listening* e *auditory cognition* in rilevatori di suono *smart* e reti di sensori acustici; sviluppo di reti su larga scala di stazioni di monitoraggio sonoro a Ghent, Anversa, Bruxelles, Rotterdam e Parigi; misurazioni sonore mobili, che correlando i dati GPS consentono di mappare le aree più grandi con buona risoluzione spaziale; sviluppo di tecniche di mappatura dinamica del rumore. Sono stati svolti molti progetti di ricerca ed è stata creata una società spin-off[9] per lo sviluppo della soluzione della rete di sensori intelligenti. Sono impiegati sistemi *smart* di monitoraggio per misure di rumore che consentono il calcolo dei principali parametri per le analisi del *soundscape*, per il riconoscimento del suono, per la localizzazione delle sorgenti, per la mappatura acustica, fissa e anche in configurazione dinamica.
Un progetto di monitoraggio *smart* è stata effettuato nella zona del porto di Rotterdam, nel 2013, finalizzato alla rilevazione degli eventi sonori e alla loro caratterizzazione. E' stata avviata una campagna di misura con 12 dispositivi *smart* di misurazione del rumore, in collaborazione con un sondaggio online su eventi sonori e sulla qualità del sonno. Dispositivi di calcolo e microfoni a basso costo, uniti alla la trasmissione wireless, consentono di utilizzare un gran numero di stazioni di monitoraggio da distribuire nell'area urbana, definendo una rete ben strutturata e densa, in grado di fornire ulteriori dettagli circa le sorgenti di rumore e gli eventi.
Inoltre, la caratterizzazione acustica del territorio, a livello locale, permette un'identificazione più efficace delle scelte politiche da adottare nell'ambito dell'inquinamento acustico. Il progetto realizzato a Rotterdam si propone di studiare una combinazione efficace di misure oggettive e percezione soggettiva, espressa dalle persone in un sondaggio on-line, al fine di individuare eventi sonori e stimare gli effetti sul benessere e sulla salute. L'area, 1,18 km^2 di estensione, si trova a Rotterdam, nella zona del porto, abitata da circa 4.500 abitanti. Il sistema di monitoraggio adottato è

[8] http://www.wica.intec.ugent.be/
[9] http://asasense.com/

basato su 12 sensori economicamente vantaggiosi, posti sulle facciate degli edifici, adottati volontariamente dai proprietari. I sensori sono costituiti da un singolo computer di bordo, dotato di una scheda CF, una scheda audio, una scheda Ethernet e un microfono, all'interno di una scatola stagna. I sensori sono in grado di essere adottati e utilizzati dagli abitanti della zona. I sensori sono *plug-and-measure*, cioè il dispositivo è collegato direttamente a Internet e non ci sono pulsanti né display (Figura 5). Se collegato, il sensore inizia e continua a misurare i livelli di banda di 1/3 di ottava, con una risoluzione temporale di 125 ms. I livelli sono inviati all'infrastruttura server, a Ghent, per essere elaborati. I sensori hanno anche la possibilità di registrare e trasmettere contributi audio brevi e salvare dati internamente. I dati sono stati elaborati e gestiti e i risultati memorizzati in un database (Figura 6).

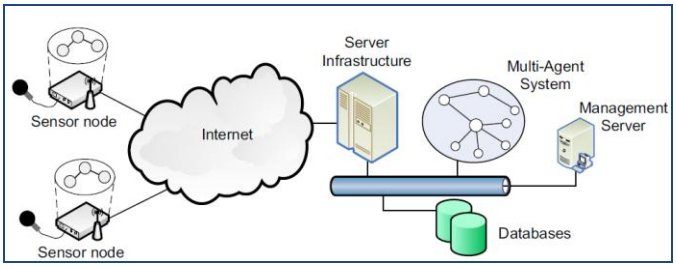


Figure 5-6. A sinistra, un sensore, posto su un davanzale di un edificio e, sulla destra, lo schema dell'architettura di rete di sensori *smart* del monitoraggio sonoro. Rif. [10]

I parametri acustici, calcolati su una base di 15 minuti, sono il $L_{Aeq,15\ minutes}$ e la deviazione standard del livello, i livelli percentili (L_{A90}, L_{A50}, L_{A10}, L_{A01}), il numero di eventi sonori, gli indicatori per la struttura temporale del suono, gli indicatori psicoacustici (loudness, sharpness), gli indicatori spettrali come il centro di gravità dello spettro medio di 15 minuti, la presenza di componenti tonali e gli indicatori aggregati. Il processo di riconoscimento del suono è stato anche sviluppato e testato. Gli indicatori M_{60} e M_{70} contano il numero di volte che il livello sonoro ponderato A supera il valore soglia di, rispettivamente, 60 dB(A) e 70 dB(A), mentre l'indicatore N_{cn} conta il numero di volte che il valore istantaneo di livello sonoro ponderato A supera L_{A50} con almeno 3 dB per almeno 3 secondi, al fine di rilevare gli eventi sonori dal livello del fondo.
L'approccio di monitoraggio a lungo termine, su area diffusa, utilizzando 12 sensori, permette di analizzare la zona, nelle condizioni in continuo ed in tempo reale, consentendo la caratterizzazione acustica, in dettaglio, della zona. Nella tabella 2 sono riassunte le specifiche tecniche[10] dei sensori.
Il gruppo di ricerca ha sviluppato anche un approccio per la mappatura dinamica del rumore che si basa sulla emissione della sorgente sonora e sul modello di propagazione. E' stato sviluppato e testato un metodo di calcolo delle mappe acustiche dinamiche che utilizza misure sonore fisse e mobili. La crescente disponibilità di dispositivi a basso costo ha portato all'uso di reti distribuite di misura del suono che possono essere applicate per creare una mappatura acustica dinamica in tempo reale, al fine di validare la precisione dei sistemi di controllo tradizionali. Inoltre, le reti di sensori acustici consentono di migliorare la precisione spaziale e temporale dei calcoli. Sia le misure fisse che quelle mobili estendono la risoluzione spaziale della mappatura acustica, come quelle mobili consentono di completare l'area di studio, permettendo una migliore caratterizzazione della distribuzione spaziale delle sorgenti sonore.

[10] B. De Coensel, D. Botteldooren. Smart sound monitoring for sound event detection and characterization. In Proceedings of the 43rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise), Melbourne, Australia (2014).

Tabella 2: Specifiche tecniche dei sensori. Elaborata sulla base delle informazioni disponibili nel rif. [10]

Specifiche tecniche dei sensori	
Misure di rumore a breve/lungo termine	Misure di rumore a lungo termine
Sistemi di monitoraggio incorporati nel pc / Unità con microcontrollori e processori digitali di segnale	Sistemi di monitoraggio incorporati nel pc
Risoluzione temporale	125 ms
Indicatori acustici	$L_{Aeq,15\ minutes;}$ L_{A90}, L_{A50}, L_{A10}, $L_{A01;}$ numero di eventi sonori (M_{60}, M_{70}, $N_{cn)}$ indicatori per la struttura temporale del suono, indicatori psicoacustici (loudness, sharpness), indicatori spettrali come il baricentro della media spettrale su 15 minuti, presenza di componenti tonali e indicatori aggregati.
Dati spettrali	1/3 d'ottava
Altri	
Resistenza alle intemperie	Involucro impermeabile
Connettività	Connesso a internet - approccio *plug-and-measure*
Possibilità di registrazione audio	Frammenti di registrazione audio
Area pilota di implementazione	
Urbana/Suburbana	urbana
Scala territoriale	1,18 km^2
Numero di nodi sensori	12

3.3 SENSEable Pisa

Al fine di promuovere la partecipazione dei cittadini sulle tematiche relative all'inquinamento acustico, come richiesto dalla direttiva europea 2002/49/CE, nella città di Pisa è stato creato un sistema di monitoraggio sperimentale per la mappatura acustica, chiamato SENSEable Pisa, lanciato da una organizzazione non-profit chiamata *DustLab*. Il progetto pilota ha mirato a sviluppare un prototipo di rete di sensori a Pisa, sulla base del principio *Città in Tempo Reale (Real Time City)*, per la raccolta e l'analisi dei dati da utilizzare nei processi di pianificazione urbana.
SENSEable Pisa è iniziato nel gennaio 2011 e il sistema utilizza sensori di rumore wireless prototipali a basso costo, sulla base di un riutilizzo di componenti di elettronica di vecchi personal computer, installati nella casa dei cittadini (figura 7), con l'obiettivo di condividere le misure di rumore in una comunità virtuale.

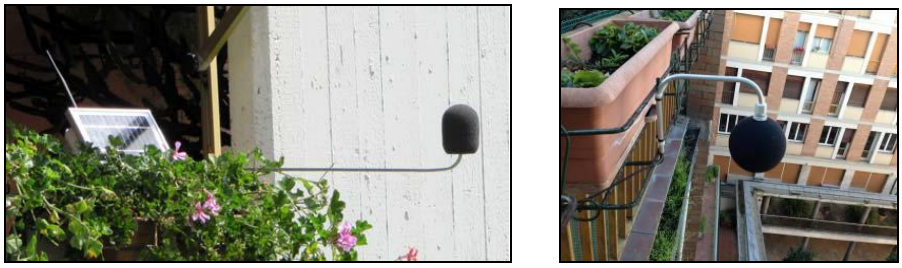


Figure 7-8. A sinistra, trasmettitore Zigbee con pannello solare e microfono installato su un balcone (2011). Rif. [12]; sulla destra, microfono di una stazione di monitoraggio per la valutazione di rumore antropico. Rif. [14]

I livelli di rumore misurati in facciata all'edificio sono mostrati in tempo reale nel sito web[11] del progetto e anche sui social network Facebook e Twitter per informare i partecipanti ed i followers, mentre tutti i dati storici del rumore sono raccolti in un server remoto centrale.
Otto sensori sono stati installati in case di cittadini volontari per registrare il rumore in diverse zone di Pisa e per inviare i dati al server centrale. Un primo nuovo aspetto del progetto è consistito nell'applicazione di una tecnologia di rete di sensori per fornire misure a basso costo affidabili in tempo reale, con elevato risoluzione spaziale e senza necessità di cablaggi. Quindi il sistema di monitoraggio risultante era tale da possedere caratteristiche superiori alle stazioni di monitoraggio convenzionali.
È possibile installare più sensori per il rilevamento di agenti fisici sulla stessa piattaforma di trasmissione e anche rilevare dati relativi a diversi inquinanti. Il sistema così strutturato consente di:

- verificare le emissioni di rumore da eventi temporanei (siti del progetto, spettacoli, ecc.);
- valutare gli effetti a lungo termine legati alla adozione di nuove tecnologie di riduzione del rumore (auto elettriche, asfalto e facciate fonoassorbenti, ecc);
- monitorare in tempo reale i recettori sensibili (scuole, ospedali);
- intervenire tempestivamente sui problemi di rumore, da parte delle autorità competenti.

Inoltre, il sistema permette di coinvolgere i cittadini, sia utilizzando le reti sociali, come strumento per la diffusione del progetto, sia raccogliendo feedback e commenti su questioni critiche relative al rumore in città anche per il posizionamento della stazione di rilevamento wireless. Questo metodo di progettazione, chiamato *crowdsourcing*, potrebbe dare un contributo all'attuazione della direttiva 2002/49/CE, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale, in merito alla richiesta partecipazione dei cittadini al processo di definizione del piano di azione.
Attualmente, in merito alle caratteristiche tecniche, i dispositivi sono basati sulla tecnologia a microcontrollore e i dati registrati vengono inviati dal sistema di trasmissione wireless (protocollo di trasmissione "ZigBee") a un server remoto e raccolti in un database.
Il rumore è misurato da microfoni, *low-cost*, di ¼ di pollice, dotati di copertura impermeabile e collegati ad un circuito preamplificatore con banco di filtri analogici.
Il sistema ha una gamma dinamica di 70 dB(A); l'intervallo di misura risultante è stato utilizzato per lavorare in modo ottimale tra 30 dB(A) e 100 dB(A).
Il sistema acquisisce i livelli sonori in dB(A) su base temporale di un secondo. I livelli di Leq medi mensili sono stati calcolati e i dati relativi ad eventi sonori occasionali, quali pioggia e vento, sono stati rimossi. Le informazioni meteo sono stati acquisite da una stazione meteorologica, su periodi temporali di cinque minuti. Le caratteristiche dei nodi sensori sono riportate in Tabella 3.
I valori medi di rumore rispettivamente degli indicatori L_{den} e L_{night} relativi ai mesi di giugno e luglio e nei luoghi precedentemente identificati sono riportati nella Tabella 4. I valori sono stati confrontati con quelli della mappatura strategica di Pisa.

Tabella 3: Caratteristiche dei sensori. Elaborazione sulla base delle informazioni disponibili al Rif. [12]

Caratteristiche dei sensori	
Gamma dinamica	70 dB (A)
Base temporale di acquisizione	1 sec
Microfono	Microfoni a ¼ di pollice a basso costo
Sistema di trasmissione wireless	Protocollo di trasmissione "ZigBee"
Filtri digitali	Banda passa alto-basso, ponderazione A
Riconoscimento degli eventi	Sì
Indicatori (livello equivalente)	LAeq. Lden, Lnight
Altro	Copertura impermeabile; Dati meteo basati su periodi di minuti

[11] http://www.senseable.it/

La Tabella 4 mostra come i dati ottenuti dal sistema SENSEable Pisa, riportati nella colonna *Sense*, sono del tutto confrontabili con i dati della mappatura acustica strategica della città pubblicate sul sito di SIRA (colonna "*Sira*"), la piattaforma informativa istituzionale regionale dei dati della mappatura acustica. Le differenze riscontrabili sono dovute alla morfologia o al rumore antropico delle aree urbane.

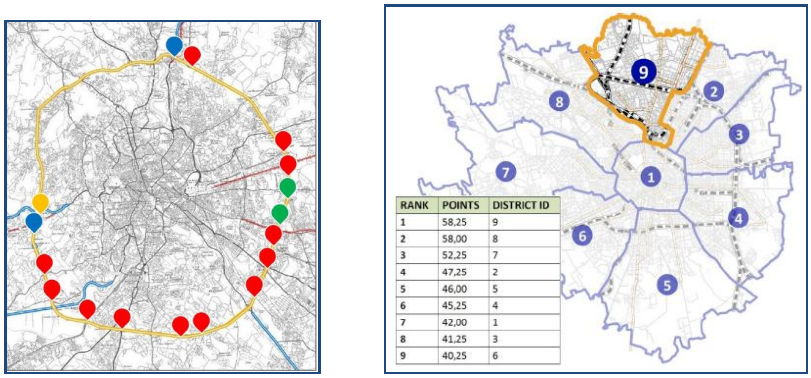
Tabella 4. Dati SENSEable Pisa. Livelli medi del rumore day e night per i primi cinque sensori durante i mesi di giugno e luglio 2011 e confronto con i dati della mappatura acustica strategica della città pubblicato sul sito di SIRA. Rif. [12]

Sensore	*Lden Sense*	*Lden Sira*	*Lnight Sense*	*Lnight Sira*
1	70,2	70,1	62,2	61,3
2	64,8	66,1	56,6	56,1
3	65,6	65,9	57,7	56,1
4	68,8	65,8	60,8	56,8
5	79,7	60,5	74,1	51,0

SENSEable Pisa è un sistema conforme ai requisiti della direttiva sul rumore ambientale 2002/49/CE, che consente l'acquisizione dei dati in tempo reale e ad alta risoluzione spaziale, e capace di consentire il coinvolgimento del pubblico.
Successivamente, la rete SENSEable è stata applicata in uno studio sulla valutazione degli effetti del rumore antropico sulla salute dei cittadini, nel centro storico di Pisa. Sono state identificate aree urbane acusticamente omogenee e sono stati installate sei stazioni nelle case dei cittadini.

3.4 LIFE DYNAMAP project

DYNAMAP (*Developing of low cost sensors networks for real time noise mapping*) è un progetto LIFE+ volto a sviluppare un sistema dinamico di mappatura acustica, in grado di rappresentare in tempo reale l'impatto acustico generato dalle infrastrutture stradali. L'obiettivo principale è quello di facilitare e ridurre il costo degli aggiornamenti delle mappature acustiche, previste dalla Direttiva Europea 2002/49/CE. Per raggiungere tale scopo il progetto prevede lo sviluppo di un sistema automatico di monitoraggio, basato su sensori ad alta qualità e a basso costo e di uno strumento software implementato su una piattaforma GIS, applicati e testati in due aree pilota situate sul Grande Raccordo Anulare di Roma e nell'agglomerato di Milano. Il progetto è iniziato nel 2014 e si concluderà nel 2019.
Ulteriori obiettivi del progetto riguardano la dimostrazione che il processo di mappatura dinamica è in grado di garantire una significativa riduzione delle risorse necessarie per aggiornare le mappe acustiche, in termini di tempo, di costi e personale dedicato; riguardano inoltre il miglioramento delle informazioni al pubblico, fornendo differenti livelli di accesso al sistema; riguardano la disponibilità di fornire ulteriori informazioni sulle condizioni meteorologiche e su altre tematiche ambientali, quali la qualità dell'aria.
Il Sistema DYNAMAP sarà testato in due aree pilota, quali esempi di zone appartenenti ad un agglomerato e ad una principale infrastruttura stradale, come definiti dalla END. La prima area pilota è una parte significativa della città di Milano, situata nel nord Italia, che presenta molti scenari urbani complessi, e la seconda area pilota (Figure 9,10) si trova a Roma, lungo il raccordo anulare A90, un’importante strada che circonda l'agglomerato romano.



RANK	POINTS	DISTRICT ID
1	58,25	9
2	58,00	8
3	52,25	7
4	47,25	2
5	46,00	5
6	45,25	4
7	42,00	1
8	41,25	3
9	40,25	6

Figure 9-10. A sinistra, l'area pilota di Roma, lungo il raccordo anulare A90 e le aree critiche indicate con colori diversi. Sulla destra, l'area pilota di Milano, con i risultati del processo di selezione. Rif. [15]

Il sistema sarà composto da sensori a basso costo che misurano i livelli di pressione sonora emessa dalle sorgenti di rumore e da uno strumento software basato su una piattaforma GIS per aggiornare in tempo reale le mappe di rumore. Sarà anche sviluppato un metodo per l'identificazione di eventi anomali diversi dal rumore causato dall'infrastruttura stradale (ANED).
Lo schema funzionale (Figura 11) è costituito da stazioni di monitoraggio che rilevano i livelli di rumore e ospitano l'algoritmo ANED, in grado di rimuovere gli eventi anomali. Le stazioni forniranno un output con una frequenza temporale di un secondo. I dati saranno inviati ad un server centrale, utilizzando la comunicazione dati wireless GPRS o 3G, per essere analizzati, trattati e utilizzati per le mappe acustiche.

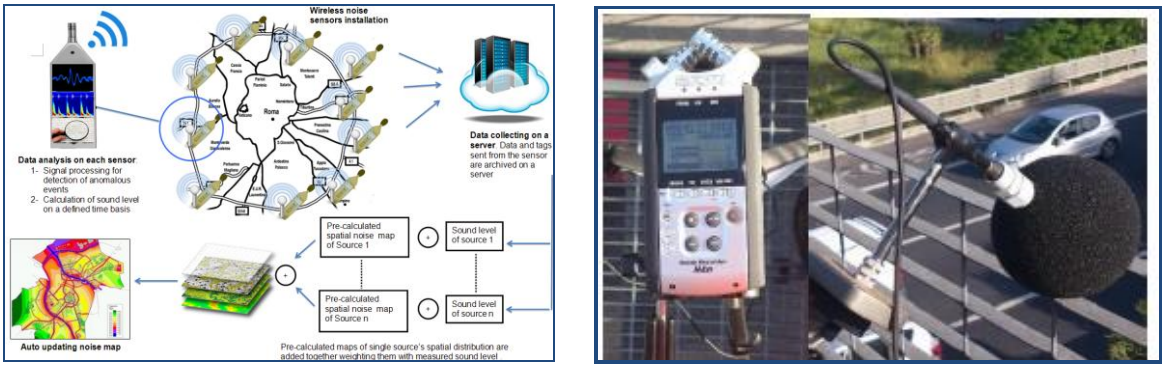


Figure 11-12. A sinistra, schema funzionale del sistema DYNAMAP. Sulla destra, un dispositivo di misurazione a basso costo utilizzato per la campagna di monitoraggio acustico. Rif. [15]

Sono state condotte campagne di monitoraggio di rumore ambientale nel maggio 2015 nelle aree pilota, implementando due versioni dimostrative dei sistemi, al fine di acquisire dati rappresentativi sulle condizioni del traffico e per testare l'algoritmo ANED. Le misure sono state effettuate utilizzando un sensore a basso costo sviluppato da Bluewave (Figura 12) e un fonometro di Classe 1 (Bruel & Kjaer 2250), con l'intenzione di convalidare i dati di uscita del sensore a basso costo.
Il prototipo della rete di sensori utilizza *embedded computers*, che consentono l'accesso remoto per l'esecuzione di adeguati script per l'elaborazione audio e permettono, inoltre, di elaborare i dati all'interno del sensore, utilizzando l'algoritmo ANED, inviando in tal modo al server centrale informazioni preventivamente selezionate e maggiormente accurate. Un insieme di specifiche tecniche di base per la stazione di monitoraggio è stato definito e riportato in Tabella 5. Le stazioni di monitoraggio del rumore saranno sottoposte ad una calibrazione periodica, analizzando i cambiamenti di risposta in frequenza nel corso degli anni. È prevista inoltre la memorizzazione

periodica dello spettro a banda stretta, riferito al periodo diurno, al fine di valutare i valori e le loro variazioni nel tempo, del livello di rumore elettrico della catena di misura.

Tabella 5. Specifiche di base per le stazioni di monitoraggio. Rif. [15-18-19]

Specifiche di base delle stazioni di monitoraggio	
Intervallo di linearità in banda larga	40-100 dB(A)
Intervallo di lavoro	35-115 dB
Descrittore del rumore	Leq(A), tempo base di 1 sec.
Others	Possibilità di registrazione audio
	archiviazione interna dei dati calcolati
	connessione VPN
	connessione GPRS/3G/WiFi

Focalizzando l'attenzione sui sensori a basso costo, nell'ambito del progetto è stata avviata una valutazione delle prestazioni dei microfoni nel corso del tempo, al fine di individuare i segnali capaci di indicare le specifiche della catena di misura che non risultano conformi alla norma IEC 61672. Lo scopo è stato quello di analizzare i cambiamenti avvenuti in seguito all'esposizione ad agenti fisici e chimici che possono essere riscontrati in condizioni urbane e suburbane.
La prova è stata effettuata misurando la distribuzione del rumore elettrico di fondo e la risposta in frequenza in diverse condizioni di stress, all'interno di una camera a spruzzi di sale, utilizzando un gruppo di quattro Knowles MEMS e quattro microfoni a elettrete Panasonic.
I risultati mostrano che i microfoni MEMS hanno una migliore stabilità agli spruzzi di sale. Dopo il processo di invecchiamento artificiale, la risposta in frequenza MEMS non presenta variazioni rilevanti. Solo un microfono presenta 0,3 di differenza nella banda delle alte frequenze. I microfoni a elettrete presentano scostamenti appartenenti all'intervallo 0,25 dB (per la regione a bassa frequenza) - 0,75 dB (per la maggior parte dello spettro).

3.5 Barcelona Noise Monitoring Network

Nel corso degli ultimi anni Barcellona ha lavorato duramente per essere una delle città più *smart* del mondo e sta promuovendo l'uso di soluzioni innovative per la gestione dei suoi servizi e risorse per migliorare la qualità della vita dei suoi cittadini.
Il comune ha iniziato a costruire una rete di monitoraggio del rumore con strumentazione di misura di Classe I nel 2006 e, al fine di aumentare il numero di punti di misura, nel 2012 ha iniziato ad utilizzare i sensori di rumore.
Uno dei progetti di Smart City è la dislocazione strategica di *Sentilo*, ossia una piattaforma di gestione di dati e sensori che consente alla città di diventare *smart*, efficiente e migliorare la sostenibilità ambientale. Il sistema *Sentilo* è stato progettato per creare un collegamento tra i sensori, gli attuatori e le applicazioni per la gestione dei servizi urbani. La rete di monitoraggio del rumore Barcellona *(Barcelona Noise Monitoring Network)* è costituito da una rete principale di misuratori di rumore Classe I e da una rete complementare di sensori audio. La rete (Figura 13) è strutturata in due reti indipendenti che comunicano a diversi livelli: rete principale e rete complementare. La differenza essenziale tra loro è la qualità delle misure in termini di caratteristiche e di costi e anche gli scopi e gli utilizzi finali sono diversi.

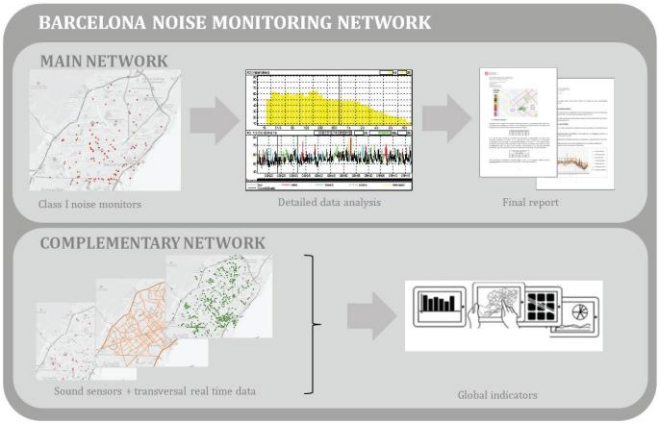


Figura 13. Rete di monitoraggio del rumore - struttura di base. Rif.: [22]

La rete principale si compone di 25 rilevatori di rumore in Classe I, in punti di misura fissi e mobili, che diverranno 31 punti nel futuro. I principali obiettivi della rete sono quelli di stimare i livelli di rumore nelle aree critiche, valutare la riduzione del rumore dovuta alla realizzazione dei piani di risanamento, aggiornare la mappa del rumore ed identificare le sorgenti di rumore.
Le caratteristiche tecniche della rete di monitoraggio sono riportate nella seguente Tabella 6.

Tabella 6. Rete principale: caratteristiche tecniche degli strumenti di misura del rumore in Classe I. Rif: [22]

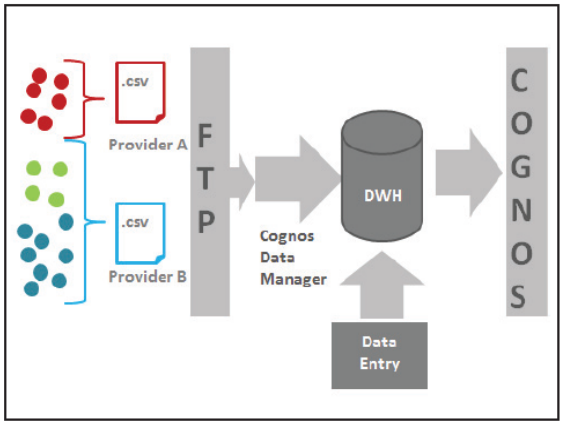
Caratteristiche tecniche degli strumenti di misura in Classe I	
Omologazione	CEI-61672 Certificazione in Classe I
Tempo d'integrazione	1 secondo
Indicatori acustici	LAeq; LCeq; LZeq; LAIeq; LAFMAX; 1/3 spettro d'ottava; 10 Hz – 20kHz
Tolleranza	CEI-61672 Classe I
Range di misura	23-137 dB(A)
Calibrazione e verifica	La calibrazione del sensore deve essere effettuata in situ utilizzando un calibratore acustico che soddisfi i requisiti di cui alla norma IEC 60942
Altro	Resistente agli agenti atmosferici 19h batteria (tempo di carica: 5 h) Connettività 3G Registrazione dell'audio

Lo sviluppo della rete complementare a sensori è iniziato nel 2012. I sensori sonori sono stati installati in due cantieri di lavorazione e sono stati testati due tipi di sensori a basso costo, con risultati non positivi. Nel 2014 il Dipartimento sul controllo del rumore ha definito le specifiche tecniche minime dei sensori sonori (Tabella 7) ed è stato realizzato un sistema di controllo in grado di verificare la qualità delle misurazioni di rumore prima dell'installazione dei sensori nelle aree urbane.

Tabella 7. Caratteristiche tecniche minime dei sensori sonori. Rif.: [22]

Caratteristiche tecniche minime dei sensori sonori	
Omologazione	-
Tempo d'integrazione	1-15 minuti
Indicatori acustici	LAeq
Tolleranza	LAeq ±2 dB(A)
Range di misura	40-100 dB(A)
Calibrazione e verifica	La calibrazione del sensore deve essere effettuata in situ utilizzando un calibratore acustico che soddisfi i requisiti di cui alla norma IEC 60942
Altro	Resistente agli agenti atmosferici LAN/ Connettività 3G

L'obiettivo di questa rete di monitoraggio a basso costo, inizialmente formata da 11 sensori e integrata nella piattaforma di *Sentilo*, è quello di aumentare il numero di punti di misura al fine di rilevare le variazioni di rumore ambientale. Per quanto riguarda la trasmissione di dati, sono stati sviluppati due diversi tipi di protocolli, uno per la rete principale con rilevatori in Classe I e l'altro per la rete complementare con sensori a basso costo. Riguardo alla rete principale, al fine di unificare la gestione dei dati e l'invio di informazioni, tutti i *providers* utilizzano lo stesso *template* file (.csv) creato dal Dipartimento sul controllo del rumore del Comune di Barcellona. I dati sono stati memorizzati, su base giornaliera, in un server FTP e vengono caricati nel sistema COGNOS (Figura 14). L'utente può inserire extra-dati al sistema dalla piattaforma inserimento dati.



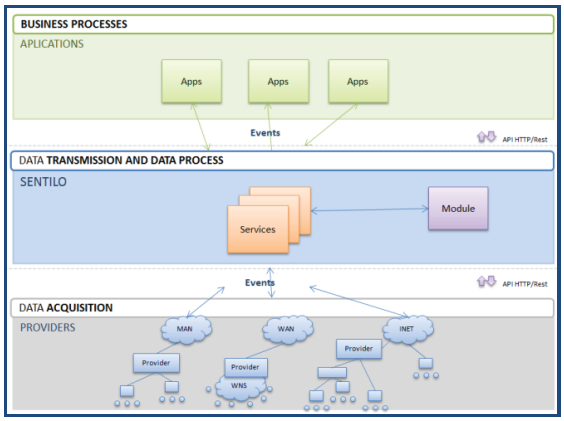


Figure 14-15. A sinistra, rete principale per la trasmissione dei dati. Sulla destra, la struttura *Sentilo*. Rif.: [22]

La rete complementare di sensori è una parte della rete della *City Sensors Network* che utilizza *Sentilo* come piattaforma in grado di collegare sensori e attuatori e gestire applicazioni e servizi urbani (Figura 15). *Sentilo* è uno strumento progettato per le città che vogliono controllare il dislocamento di sensori e attuatori in modo centralizzato e comune. La piattaforma è *open source* e non ha costi di licenza. Barcellona, al fine di gestire i problemi di rumore, utilizza due diverse interfacce di comunicazione: IBM *Cognos Query Studio*, usato per fare una dettagliata analisi dei dati, e una piattaforma corporativa chiamata *Situation Room*, utilizzata per ottenere una visione d'insieme dello stato della città in tempo reale (Figura 16) e per integrare e condividere le informazioni sulla città e sui suoi servizi.

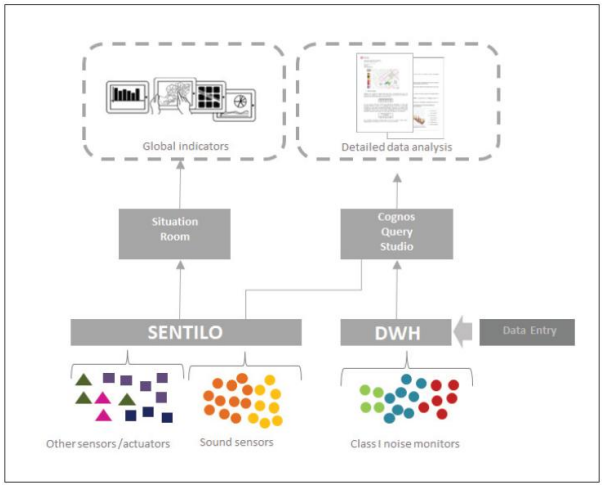


Figura 16. Gestione e interfaccia per il reporting. Rif.: [22]

Cognos Query Studio permette l'analisi dei dati provenienti da entrambe le reti monitoraggio del rumore, la principale con sensori di Classe I e quella complementare con l'altro tipo di sensori (*sound-sensors*). La piattaforma *Situation Room* permette solo la gestione dei dati dai *sound-sensors*, ma consente anche di collegare questi dati con le informazioni provenienti da altre fonti, permettendone il riconoscimento in tempo reale.

3.7 Sistema di monitoraggio acustico *low-cost* basato su dispositivi *smartphone* – ARPA Piemonte

Molti studi riguardano l'uso di smartphones equipaggiati con rilevatori di rumore e numerose sono le applicazioni mobili che permettono di misurare il rumore mediante gli smartphone. Sono stati condotti vari test di confronto sull'accuratezza dei dati ottenuti tramite applicazioni per smartphone e quelli realizzati mediante rilevatori di rumore in Classe I, utilizzando vari tipi di dispositivi.
Gli studi suggeriscono che l'utilizzo di alcune applicazioni potrebbe essere adatto e appropriato per alcune tipologie di misure di rumore. Di seguito sono riportate le esperienze condotte dall'Agenzia Ambientale Regionale del Piemonte (ARPA Piemonte) su questi temi.
L'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Regione Piemonte, al fine di studiare l'accuratezza delle misure di rumore ambientale effettuate mediante gli smartphone e vagliare la possibilità di utilizzare dispositivi a basso costo, ha effettuato due diversi tipi di test, confrontando le misure realizzate con cinque diversi smartphones[12] (Android e iOS) con le misure condotte mediante fonometro in Classe I, in camera anecoica e realizzando, per più di tre mesi, un monitoraggio del rumore ambientale a lungo termine, utilizzando sia smarthphone e sia un fonometro in Classe I. Successivamente, è stato sviluppato un sistema di monitoraggio di rumore *low-cost* prototipale basato su dispositivi smartphone, successivamente utilizzato, in collaborazione con il Comune di Torino, nell'are di San Salvario, al fine di valutare il livello di rumore causato dal fenomeno della *movida*. Considerando i *tests* effettuati, il primo è stato eseguito in una camera anecoica, confrontando dati di uscita di cinque differenti smartphones e applicazioni, valutando la risposta al rumore bianco a diversi livelli di pressione sonora. I misuratori di rumore sviluppati basandosi su Android sono stati forniti con l'applicazione, gratuita, *Noise Meter*[13] disponibile su Google Play.

[12] Samsung @chat GT-B5330 (Android v.4.0.4); Samsung Advance GT-I9070P (Android v.2.3.6); HTC Desire 601 (Android v.4.4.2); iPhone 4S (iOS v.8.0.2); iPhone 5S (iOS v.8.1.3
[13] Versione 2.8.1

Le caratteristiche tecniche sono elencate come di seguito:

- Frequenza di campionamento regolabile: 8000, 11025, 22050, 44100, 48000 Hz;
- 1 dB steps gain, nel range -40 ÷ +40 dB;
- Periodo di integrazione da 1 secondo a 10 minuti;
- rilevamento eventi;
- Filtri digitali: passa basso-alto, ponderazione A;
- Acquisizione dei dati: picco, minimo, massimo, media aritmetica, la media energetica (livello equivalente).

I dati possono essere salvati in un file di testo e lo spettro di frequenza non può essere sviluppato. E' stata utilizzata una applicazione a pagamento chiamata *Noise Immission Analyzer* per iOS[14], ma attualmente, non risulta più disponibile. Non consente di salvare i dati di rumore in un file di testo, né misurare livelli di frequenza.

Le caratteristiche[15] sono elencate come di seguito:

- Frequenza di campionamento: 44100 Hz;
- Calibrazione con un segnale noto;
- Filtri digitali: ponderazione A-B-C-lineare, fast, slow;;
- Acquisizione dei dati: minimo, massimo, media energetica (livello equivalente);
- File audio registrazione fino a 20 secondi.

La prova di laboratorio è stata condotta confrontando la risposta al rumore bianco, a diversi valori di SPL, degli smartphone e di un fonometro di Classe 1 ed utilizzando diversi microfoni: il microfono interno degli smartphone, i microfoni delle cuffie originali e un microfono MicW, collegato allo smartphone. Nella figura 17 sono riportati i risultati ottenuti utilizzando il microfono interno degli smartphone[16]. Dai grafici si rilevano risposte uguali per i cinque smartphones, nell'intervallo 45-80 dB (A), con differenze di 2-3 dB. Il risultato dei telefoni iOS è 1 dB sotto di differenza fino a 110 dB (A). La figura 18 mostra i risultati ottenuti utilizzando i microfoni delle cuffie originali[17]. Nella gamma 60-80 dB (A) le risposte sono piuttosto uguali per tutti i dispositivi, e nella gamma 40-85 vi è una deviazione di 2-3 dB per l'IOS e il Samsung Advance. Nella Figura 19 i risultati utilizzando un microfono MicW[18], inserito nello smartphone. Gli smartphones iOS mostrano buoni risultati, rispetto ai dati di output dei fonometri professionali di Classe I, nell'intervallo 40-110 dB (A), mentre il telefono HTC per l'intervallo 55-110 dB (A)[19].

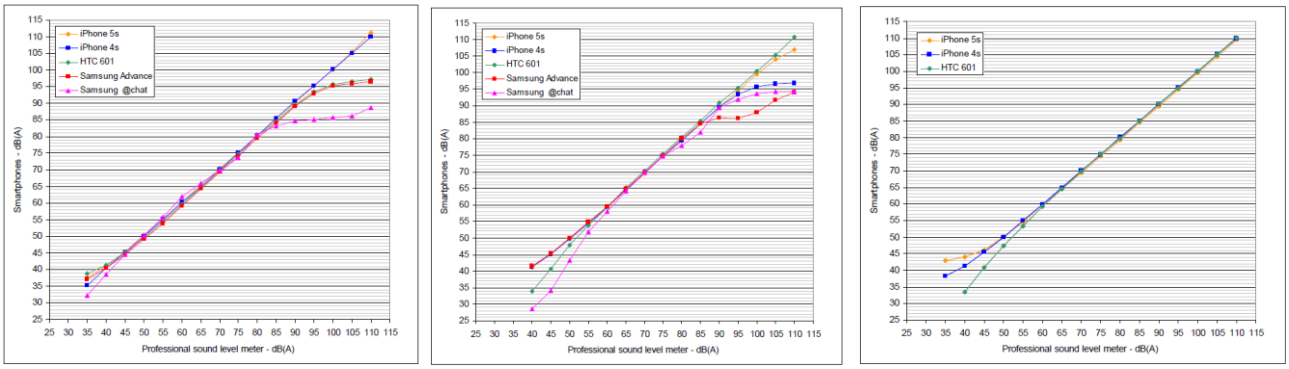


Figure 17-18-19. A sinistra, risultati del confronto utilizzando il microfono interno degli smartphone; la figura centrale mostra i risultati utilizzando le cuffie originali degli smartphones. Sulla destra, il confronto con il microfono MicW collegato agli smartphones. Rif.: [23]

E' stato condotto un ulteriore test comparativo per la valutazione della risposta in frequenza utilizzando smartphone Samsung Advance e misurando i toni puri nell'intervallo 50-10.000 Hz , ad

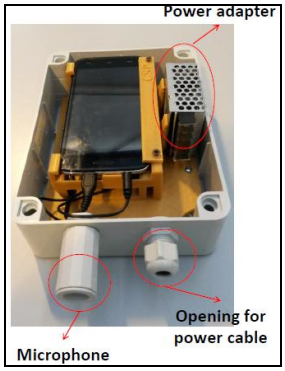
[14] Sviluppato da WaveScape Technologies GmbH (http://www.wavescape-technologies.com/)
[15] Versione 2.0.1
[16] I cellulari erano calibrati a 70 dB(A); il guadagno per i dispositivi Android era settato a 10 dB per HTC, 9 dB per Samsung Advance e 6 dB per Samsung @chat.
[17] Il guadagno per i cellulari Android era settato a 47 dB per HTC, 14 dB per Samsung Advance e15 dB per Samsung @chat.
[18] i436 Omni Mic model (http://www.mic-w.com/)
[19] Il guadagno dell'HTC è stato settato a 45,5 dB. Il test non è stato effettuato per smartphones Samsung.

intensità variabile, ed un fonometro in Classe I. I dati ottenuti, confrontando i livelli globali di rumore equivalenti, dato che il *Noise Meter* non consente lo spettro di frequenza, evidenziano buone risposte nella gamma di frequenza 160-5000 Hz, fino a 80 dB(A) di livello. La seconda prova, riguardante il monitoraggio del traffico su strada, è stata effettuata per 100 giorni, utilizzando uno smartphone Samsung Advance, con microfono posto nelle cuffie, e un fonometro di Classe 1. La deviazione standard delle differenze tra i due strumenti è sempre minore di 1 dB. In Tabella 8 sono riportati i valori medi, minimi, massimi e la deviazione standard delle differenze per i due strumenti utilizzati. I dati si basano su serie di LAeq 5 minuti, calcolati per il periodo di monitoraggio di 104 giorni.

Tabella 8. Analisi statistica della differenza tra le due misure (5 minuti LAeq per 104 giorni). Rif.: [23]

Tempo di riferimento	**LAeq fonometro classe I – LAeq smartphone dB(A)**		
	Giorno	Sera	Notte
Minimo	-3.3	-1.9	-1.6
Medio	-0.5	0.3	-0.1
Massimo	1.6	2.5	1.3
Deviazione std.	0.8	0.7	0.5

Le prove di laboratorio mostrano una buona linearità per tutti gli smartphones nell'intervallo 45-80 dB (A); la misura a lungo termine ha anche dato buoni risultati, con una deviazione standard tra i livelli misurati inferiore a 1 dB. Sulla base di questi risultati, ulteriori esperienze sono state effettuate, relative ad un rilevatore acustico *low-cost self-built*, utilizzando microfoni digitali MEMS e un'applicazione per Android *self-built*. L'applicazione gratuita e disponibile *OpeNoise Meter*, in ambiente Android, per smartphones e per rilevatori a basso costo, è stata sviluppata[20]. *OpeNoise Meter*, disponibile gratuitamente su Google Play, permette in tempo reale misure del livello di pressione sonora ponderato A; i livelli minimi e massimi; terza d'ottava e analisi FFT; log di archiviazione di file; impostazione del tempo di campionamento; impostazione del guadagno. Ulteriori test di laboratorio sono stati condotti ed i risultati confermano la buona linearità per tutti gli smartphones nella gamma 45-80 dB (A), esteso a 35-105 dB (A) per alcuni dispositivi; la risposta in frequenza lineare per tutti gli smartphone è 200 Hz-5kHz (45-80 dB (A)), estesa a 100-8000 Hz per alcuni dispositivi.



Figures 20-21. Hardware set-up per le misure di rumore ambientale, utilizzando gli smartphones. Rif.: [24]

E' stato sviluppato un set-up hardware per misure di rumore in esterno e sono stati effettuati prove *in situ* (figure 20-21). Sono state installate sei stazioni di misura nella zona di San Salvario a Torino, al fine di inviare i dati in tempo reale alla piattaforma regionale *Smartdatanet*[21], sviluppando così una rete di monitoraggio del rumore *smart* e *low-cost*..

[20] Team composed by ARPA, Politecnico di Torino and Istituto Superiore Mario Boella.
[21] www.smartdatanet.it

3.8 Progetti di monitoraggio partecipativi

Questo report è incentrato sull'aggiornamento di esperienze e procedure riguardanti i sistemi di monitoraggio del rumore *smart* e *low-cost*, ma una breve nota deve essere dedicata ai progetti di monitoraggio partecipativi. Per monitoraggio partecipativo (*participatory monitoring* o *participatory sensing*) si intende la raccolta e la condivisione pubblica dei dati, di solito riguardo argomenti ambientali, volti a creare il coinvolgimento delle persone al fine di aumentare la consapevolezza dei problemi ambientali. Siamo nell'ambito del *citizens' science* ed il coinvolgimento delle comunità locali alle attività di monitoraggio ambientale è spesso una parte della gestione dei processi locali e dei piani d'azione. Sono stati effettuati molti progetti sul monitoraggio partecipativo ed in seguito alcune esperienze importanti, rilevanti per i temi trattati in questo documento, vengono brevemente descritti.

3.8.1 Smart citizens project

Il progetto *Smart Citizens*[22], sviluppato da Fab Lab Barcellona presso l'Institute for Advanced Architecture della Catalogna, è una piattaforma finalizzata a generare processi partecipativi nelle aree urbane. Questa piattaforma collega le persone con il loro ambiente e le città, per creare relazioni più efficaci ed ottimizzate tra le risorse, le tecnologie, le comunità, i servizi e gli eventi in ambiente urbano. Tale scopo è raggiunto collegando i dati, le persone e il know-how, basandosi sulla geolocalizzazione, Internet e hardware e software accessibili per la raccolta e la condivisione dei dati. In particolare, lo *Smart Citizen Kit* è un hardware costituito da un sensore e una scheda di elaborazione dati, una batteria e un contenitore. La prima scheda contiene i sensori che misurano la composizione dell'aria (CO e NO_2), temperatura, umidità, intensità della luce e livelli sonori. Una volta configurato, il dispositivo trasmette i dati rilevati dai sensori tramite Wi-Fi utilizzando il modulo certificato FCC, sulla scheda di elaborazione dati. Il basso consumo di energia del dispositivo permette di posizionarlo su balconi e davanzali. L'alimentazione al dispositivo può essere fornita da un pannello solare e/o tramite batteria. Il kit è compatibile con Arduino e tutti i file di progettazione sono open-source (schemi e firmware).

3.8.2 NoiseWatch

L'Agenzia Europea dell'Ambiente (European Environment Agency - EEA) cura e gestisce la banca dati ufficiale[23] relativa ai dati resi disponibili dalle mappe acustiche strategiche rilasciate in conformità alla Direttiva Europea 2002/49/CE (Environmental Noise Directive END), relativa alla determinazione e gestione del rumore ambientale. In aggiunta a queste informazioni, negli ultimi anni è stata evidenziata la necessità di rendere disponibili dati più recenti riguardanti il rumore ambientale, con caratteristiche diverse rispetto ai dati istituzionali ufficiali raccolti in accordo alla END. A tale scopo, il *NoiseWatch*[24] *Service* ha iniziato ad essere implementato dall'EEA nel 2011, mettendo a disposizione sia informazioni relative all'inquinamento acustico provenienti da fonti scientifiche ufficiali, come le reti di misurazione delle città europee, sia da osservazioni da parte dei cittadini. Il servizio, che al momento non risulta aggiornato, ha permesso alle persone di presentare osservazioni sull'ambiente sonoro e di giudicare la qualità acustica del territorio e anche di utilizzare un'applicazione per dispositivi mobili per iPhone e Android per misurazioni mobili, convertite in un punteggio di valutazione. Il servizio è stato strutturato in diversi livelli, in relazione all'uso ed ai diversi tipi di informazioni: O*sservazioni dei cittadini*, contenenti valutazioni da parte degli utenti mediante l'utilizzo di applicazioni web o su dispositivo mobile e *Aggregazione della votazione dei cittadini*, dove le osservazioni degli utenti sono aggregate; *Misure di rumore in tempo reale*, tra cui i dati non ufficiali, resi disponibili quasi in tempo reale, dalle stazioni ufficiali di

[22] https://smartcitizen.me/
[23] NOISE - Noise Observation and Information Service for Europe- http://noise.eionet.europa.eu/
[24] http://discomap.eea.europa.eu/map/NoiseWatch/

monitoraggio acustico permanenti situati a Dublino; *Inquinamento acustico negli agglomerati*, ossia dati modellati, aggiornati annualmente, per un certo numero di città europee, riguardanti le infrastrutture di trasporto e le industrie. *NoiseWatch* è un esempio di informazione basata sui cittadini, utile per il coinvolgimento delle persone, per sensibilizzare il pubblico sul tema, per avere disponibilità di dati in uscita provenienti da diverse fonti e utenti ed adottando differenti protocolli e procedure. Uno dei risultati chiave del progetto è che, confrontando le valutazioni offerte dai cittadini con i dati ufficiali della END, il rumore del traffico stradale risulta essere la più importante e impattante sorgente di rumore per entrambe le basi di dati; mentre il rumore industriale, ossia la sorgente per la quale si registra il minor numero di persone esposte sulla base dei dati della END, risulta, in funzione delle valutazioni espresse dalle persone, la seconda sorgente importante e disturbante dopo le infrastrutture stradali[25].

3.8.3 Noisetube

NoiseTube[26] è un progetto di ricerca che ha lo scopo di proporre un approccio partecipativo per il monitoraggio acustico. E' iniziato nel 2008 presso il *Sony Computer Science Lab* di Parigi ed è attualmente gestito dal *Software Lingue Lab* presso la Vrije Universiteit Bruxelles. Il sistema permette il download di applicazioni per telefoni cellulari (iOS, Android, Java ME), in grado di trasformare i telefoni in strumenti di misurazione del rumore. I dati raccolti possono essere caricati su un server e condivisi, creando anche mappe acustiche. Per ogni modello di smartphone, il software *NoiseTube* permette di rilevare i livelli sonori equivalenti ponderati A (un campione al secondo), per intervalli di tempo definiti e, al fine di garantire la qualità dei dati, deve essere attuata una procedura di calibrazione, per ogni modello di smartphone. L'accuratezza e la precisione, nelle diverse parti del processo, vengono continuamente mantenute e migliorate. E' assicurato il processo di calibrazione, per differenti smartphones, come la densità spazio-temporale nella redazione delle mappe acustiche. Il confronto delle mappe acustiche basate sui dati di rilevamento partecipativi con quelle redatte in base ai dati ufficiali è assicurato e numerosi sono i test effettuati. E' previsto inoltre uno strumento di valutazione ed il *NoiseTube* è in grado di raccogliere le percezioni dei cittadini sull'ambiente sonoro mediante la compilazione di un questionario. Nel contesto di *NoiseTube* è stato anche validato un sistema di *privacy-preserving* per il rilevamento partecipativo, basata su tecniche crittografiche e calcoli distribuiti nel *cloud*, in grado di garantire la sicurezza sia agli utenti sia ai *data management providers*.

3.8.4 CITI-SENSE

CITI-SENSE è un progetto co-finanziato dal Settimo programma quadro dell'Unione europea per la ricerca e lo sviluppo tecnologico, iniziato nel 2012. Lo scopo principale del progetto è quello di sviluppare "*citizens' observatories*", al fine di migliorare il coinvolgimento delle persone nei processi ambientali, sviluppando sensori basati sull'Osservatorio comunitario dei cittadini (*Citizens' Observatory Community*), al fine di migliorare la qualità della vita nelle città. I tre pilastri del progetto sono: costruzione di piattaforme tecnologiche per il monitoraggio diffuso; tecnologie dell'informazione e della comunicazione; coinvolgimento delle persone. I casi pilota sono tre, il primo relativo all'esposizione ambientale multipla e alla salute associata alla qualità dell'aria, il secondo al rumore e allo sviluppo di spazi pubblici e il terzo alla qualità dell'aria *indoor* nelle scuole. I progetti nelle aree pilota sono stati definiti in collaborazione con i gruppi di cittadini e le decisioni sono state prese in base ai dati raccolti dalle persone, utilizzando pacchetti di *microsensori* a basso costo. I cittadini coinvolti hanno usato un kit di strumenti per raccogliere informazioni su alcune condizioni ambientali della zona analizzata fornendo anche le loro percezioni personali. Il

[25] EEA- Noise in Europa 2014
[26] http://www.noisetube.net/index.html#&panel1-1

toolkit è composto da uno smartphone (con applicazioni e macchina fotografica), microfono, protezione dal vento e dispositivo per misurare le condizioni termiche. Sono stati misurati e/o valutati il comfort termico, il comfort acustico, il paesaggio urbano, la soddisfazione generale, la condizione di salute percepita e le emozioni, prendendo in considerazione informazioni oggettive e soggettive. Il toolkit (Figura 22), composto da strumenti di monitoraggio soggettivo e oggettivo della qualità ambientale, è costituito da un Kestrel 4000 Pocket Weather Meter, un sensore di memorizzazione dei dati, una applicazione *Sense-It-Now* e un sensore acustico dedicato e *CityNoise app*. Per quanto riguarda il rumore, *CityNoise* è l'applicazione per smartphone Android, in grado di fornire livelli di pressione sonora e di rilevare eventi sonori.

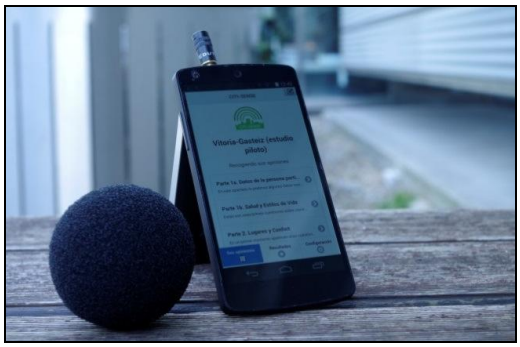


Figura 22. Toolkit per misure ambientali. Rif.: [27]

E' stato sviluppato un protocollo di misura che definisce il tempo necessario che deve essere impiegato per osservare, misurare, commentare e scattare fotografie. Una sessione di monitoraggio richiede un periodo di circa 15 minuti, misurando il rumore, la velocità del vento, l'umidità e la temperatura ed esprimendo nel frattempo la propria percezione del luogo e scattando, al termine della sessione, alcune foto. Per scaricare i dati raccolti, possono essere utilizzati i servizi web *SensApp* ed i dati sono disponibili presso la pagina web: http://vitoria.citi-sense.eu/en-gb/citisense.aspx

4. Requisiti prevalenti, vantaggi e limiti delle reti di monitoraggio del rumore *smart* e *low-cost*

I progetti analizzati evidenziano i punti di forza e le debolezze dell'adozione di reti di monitoraggio acustiche *low-cost* e *smart*. La disponibilità e il continuo sviluppo di dispositivi di elaborazione *smart* e a basso costo, i microfoni innovativi e le maggiori opportunità di connettività consentono di creare e utilizzare sensori di monitoraggio del rumore capaci di essere impiegati in modo diffuso e a lungo termine. Rispetto alle reti di monitoraggio del rumore standard, che adottano fonometri in Classe I, i minori costi degli strumenti sono evidenti, anche se i costi di installazione, manutenzione e controllo di qualità diventano voci importanti del bilancio totale, a causa del lungo periodo di misurazione e, in particolare, alla mancanza di affidabilità e stabilità dei dispositivi di misurazione.
I principali vantaggi dei dispositivi *smart* sono il costo relativamente basso, la possibilità di costruire i sensori assemblando le varie parti, il basso costo di produzione, la piccola dimensione degli elementi e l'opportunità di effettuare misure di lungo termine ed estese. La stabilità a lungo termine, definita dalla differenza tra i valori misurati all'inizio e alla fine di un definito periodo di misurazione, principalmente per l'effetto dell'esposizione esterna prolungata, è il maggiore problema di tali sensori. L'attività di ricerca è particolarmente focalizzata sulla tecnologia dei microfoni MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), che diventano competitivi rispetto ad attrezzature di misurazione che rispettano definiti standard, e sullo sviluppo di tecniche in grado di migliorare la loro qualità. Sono stati sviluppati molti metodi relativi alla rilevazione di eventi anomali e a tecniche di auto-calibrazione. I sensori di monitoraggio devono essere periodicamente ricalibrati, richiedono interventi di manutenzione e, al fine di evitare imprecisioni sui dati di misura

dovuti a deviazioni dal valore di calibrazione, sono stati sviluppati metodi di auto-calibrazione. Il National Physical Laboratory (NPL) ha predisposto un metodo statistico basato sulla regressione lineare e ha inoltre sperimentato un prototipo, a grande scala, utilizzando microfoni MEMS, in grado di essere utilizzato per valutare gli algoritmi di calibrazione autonomi. Il metodo statistico per la valutazione della stabilità di reti di monitoraggio acustiche è una variante del *Chow Test*. Il metodo è basato sulle proprietà di invarianza nel tempo e di linearità che caratterizzano gli elementi degli apparecchi di misura ed è stato applicato su sensori di monitoraggio situati in zone diverse; in particolare è stato testato usando set di dati del progetto SENSEable Pisa, risultando uno strumento molto utile. Le principali caratteristiche comuni derivanti dai progetti analizzati sono riportati in Tabella 9. I risultati mostrano che è possibile trovare una risposta in frequenza soddisfacente nell'intervallo da 20 Hz a 20 kHz, con valore di fondo di 30-35 dB (A). I sensori a basso costo mostrano molto frequentemente la loro congruenza con i requisiti dei dispositivi di classe II, secondo la norma IEC 61672-1.

Tabella 9. Sistemi di monitoraggio del rumore *low-cost* e *smart* - Caratteristiche principali derivanti dai progetti analizzati.

Sistemi di monitoraggio del rumore smart e low-cost	
Caratteristiche principali derivanti dai progetti analizzati	
Misurazione del rumore a breve/lungo termine	misurazione del rumore a lungo termine
Sistema di monitoraggio PC incorporato / Unità con microcontrollore e processore di segnale digitale	sistema di monitoraggio PC incorporato
Tipo di microfono	microfoni MEMS ¼ - pollice microfono a condensatore low cost
Tempo di acquisizione	Differenti valori. Più frequentemente =1 sec;
Gamma dinamica acustica	70 dB
Campo di misura acustico	Differenti intervalli. 30 (40)-100 (110) dB(A)
Intervallo di frequenza	20 Hz-20 kHz
Valore di fondo	30-35 dB(A)
Tolleranza	LAeq ±2 dB(A)
Indicatori acustici	In tutti i casi studio: L_{Aeq}, L_{A10}, L_{A50}, L_{A90}; In alcuni casi studio: $L_{A01;}$ L_{Ceq}, M_{60}, M_{70}, N_{cn}
Dati spettrali	1/3 di ottava
Calibrazione	Calibrazione periodica
ulteriori caratteristiche	
Resistenza agli agenti atmosferici	Applicata in tutti i casi studio
Connettività	Wifi/3G/4G
Possibilità della registrazione audio	Applicata in alcuni casi studio
Altre caratteristiche	Estendibile con sensori di temperatura / umidità, sensori di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico, la registrazione GPS ecc; batteria per immagazzinare energia
Dimensioni di montaggio PCB	10mm < x < 10 mm
Forma del PCB	Ottimizzato per evitare gli effetti di diffrazione
aree pilota	
Urbano/Suburbano	Aree Urbane e sub-urbane
Scala Territoriale	Diverse dimensioni, da media a grande; (dimensione maggiormente frequente nelle aree urbane: ≈1,00 km^2)
Numero di stazioni	Situazioni differenti. Per aree di medie dimensioni territoriali, nella maggior parte dei casi studio, da 5 a 20 unità.

I sistemi di monitoraggio *low-cost* e *smart*, consentendo un monitoraggio del rumore in ambienti estesi e a lungo termine, in scala territoriale di medie dimensioni come un'area urbana, sembrano essere in grado di assicurare un'apprezzabile qualità dei dati di misura. Il progetto LIFE MONZA prevede una campagna di monitoraggio di rumore nell'area pilota del quartiere Libertà, condotta utilizzando fonometri di Classe I ed anche utilizzando un sistema di monitoraggio *low-cost* e *smart* sviluppato nell'ambito del progetto (*Action B.3 Prototype of monitoring system for Noise LEZ design - data analysis techniques definition*). Le principali caratteristiche del sistema-prototipo per l'attività di monitoraggio di rumore *smart*, da utilizzare come unità di monitoraggio continuo negli scenari *ex-ante* ed *ex-post*, sono state condivise con UNIFI (Università di Firenze), partner responsabile dello sviluppo del prototipo. Le principali caratteristiche tecniche sono di seguito riportate:

- parametri acustici: livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A complessivo, LAeq, spettro dei dati in banda a 1/3 di ottava;
- tempistica per la registrazione dei dati: i dati verranno registrati ogni secondo per consentire la rilevazione degli eventi anomali che sarà consigliabile elaborare nella fase di post analisi;
- tempistica per la trasmissione dei dati: i dati verranno inviati ogni ora;
- rete di trasmissione dati: saranno valutati in base a parametri come la distanza tra i sensori;
- alimentazione: pannello solare (previsto formato 20 x 30cm) e batteria per l'immagazzinamento dell'energia;
- posizione dei sensori: sul lampione, altezza 4 m;
- ¼ o ½ pollici - microfoni a condensatore a basso costo;
- rumore di fondo = 35 dB (A)
- protezione dagli agenti atmosferici

Questi requisiti saranno successivamente definiti in dettaglio e potrebbero essere modificati, nel caso dovessero essere individuate migliori condizioni.

Ringraziamenti
LIFE MONZA - LIFE15 ENV/IT/000586- è co-finanziato dal Programma della Comunità Europea LIFE Programme 2014-2020

Gli Autori ringraziano LIFE DYNAMAP e FONOMOC (FOcus group On NOise MOnitoring Cities) per le informazioni condivise.

5. Bibliografia

[1] Noise in Europe 2014. EEA Report- No 10/2014 European Environment Agency

[2] Electroacoustics-Sound Level meters – Part 1: Specifications, International Standard IEC 61672-1:2013. Tech. Rep,; International Electrotechnical Commission; Geneva, Switzerland; 2013.

[3] C.Mydlarz, J. Salamon, J.P. Bello. The implementation of low-cost Urban Acoustic Monitoring devices. Applied Acoustics, special issue on Acoustics for Smart Cities, 2016. Available at: http://www.justinsalamon.com/news/the-implementation-of-low-cost-urban-acoustic-monitoring-devices;

[4] R.John T.Bunyan, DREAMSys MEMS Microphone specifications.2007

[5] http://projects.npl.co.uk/dreamsys/

[6] Richard Barham, Martin Chan, Matthew Cand. Practical experience in noise mapping with a MEMS microphone based distributed noise measurement system; Proceedings: Internoise 2010, City of Lisbon, Portugal, 13th -16th June 2010.

[7] DREAMSys Website: http://projects.npl.co.uk/dreamsys/

[8] R Barham and M Goldsmith). Performance of a new MEMS measurement microphone and its potential application. Proceedings of the Institute of Acoustics Spring Conference 2008. Vol. 30. Pt. 2. (2008)

[9] R Barham, M Goldsmith, M Chan, et al.. Development and performance of a multi-point distributed environmental noise measurement system using MEMS microphones. Proceedings of EURONOISE 2009. Edinburgh, Scotland (2009)

[10] B. De Coensel, D. Botteldooren. Smart sound monitoring for sound event detection and characterization. In Proceedings of the 43rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise), Melbourne, Australia (2014).

[11] B. De Coensel, K. Sun, W. Wei, T. Van Renterghem, M. Sineau, C. Ribeiro, A. Can, P. Aumond, C. Lavandier, D. Botteldooren. Dynamic noise mapping based on fixed and mobile sound measurements. In Proceedings of the 10th European Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Euronoise), Maastricht, The Netherlands (2015).

[12] Luca Nencini, Paolo De Rosa, Elena Ascari, Bruna Vinci, Natalia Alexeeva. *SENSEable Pisa: a wireless sensor network for real-time noise mapping*. Proc. Euronoise - Prague 2012.

[13] E. Ascari, P. De Rosa, B. Vinci, L. Nencini: *SENSEable Pisa:una rete wi-fi di sensori low-cost per la mappatura in tempo reale del rumore*, Proc. 2011 38° Associazione Italiana di Acustica.

[14] Luca Nencini, Bruna Vinci, Maria Angela Vigotti. *Setup della rete Senseable Pisa per la realizzazione di uno studio di valutazione degli effetti del rumore antropico sulla salute dei cittadini.* Proc. 41° Convegno Nazionale Associazione Italiana di Acustica. Pisa, 17-19 giugno 2014.

[15] X. Sevillano, J.C. Socorò, F.Alìas, P. Bellucci, L. Peruzzi, S. Radaelli, P. Coppi, L. Nencini, A. Cerniglia, A. Bisceglie, R. Benocci, G. Zambon. DYNAMAP- Development of low cost sensors network for real time noise mapping. Noise Mapp.2016; 3:172-189

[16] L.Nencini, A.Bisceglie, P.Bellucci, L.Peruzzi. *Identification of failure markers in noise measurement low cost devices*. Proceedings of Internoise Congress 2016 – Hamburg, 21-24 August 2016

[17] P. Bellucci, L. Peruzzi, F.M. Cruciani. *Implementing the Dynamap system in the suburban area of Rome* – Proceedings of Internoise Congress 2016. Hamburg, 21-24 August 2016

[18] L. Nencini, J.C. Socoró – *Dynamap project: hardware specifications update.* TecniAcustica, Valencia 21-23 Ottobre 2015

[19] L.Nencini *Dynamap monitoring network hardware development.* Proceedings 22nd International Conference ICSV 2015, Firenze 12-16 Luglio 2015

[20] Cerniglia, M. Petz, R. Geberstein, X. Sevillano, J. C. Socoró, F. Alías. *A1 - Report on the state of the art on dynamic noise mapping* LIFE Dynamap, Deliverable A1.

[21] P. Bellucci. The LIFE DYNAMAP Project. Towards the future of real-time noise mapping Presentation available on: https://workinggroupnoise.files.wordpress.com/2016/06/presentazione-dynamap.pdf

[22] Júlia Camps Farrés, *Barcelona noise monitoring network*. EuroNoise 2015, 31 May - 3 June, Maastrich.

[23] J. Fogola, S. Masera, V. Bevacqua. Smartphone as noise level meter? Proceedings 22nd International Conference ICSV 2015, Firenze 12-16 Luglio 2015

[24] J.Fogola, E. Gallo. Low cost leisure noise monitoring in the San Salvario area. Presentation available on: https://workinggroupnoise.files.wordpress.com/2016/06/fogola_low-costs-noise-monitoring.pdf

[25] Chucri A. Kardousb, Peter B. Shaw. *Evaluation of smartphone sound measurement applications.* J. Acoust. Soc. Am. 135, EL186 (2014); doi: 10.1121/1.4865269. Available at: http://asa.scitation.org/doi/full/10.1121/1.4865269

[26] S. Masera, J. Fogola, G. Malnati, A. Lotito , E. Gallo. OpeNoise Meter: App Android opensource per misurare il rumore. Atti del 43° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica. Alghero, 25-27 maggio 2016

[27] Itziar Aspuru. *Environmental monitoring toolkit for public places.* Presentation available on: https://workinggroupnoise.files.wordpress.com/2016/06/story-teller-citisense.pdf

[28] L. Nencini, D. Mastri. Valutazione dell'accuratezza di un sistema di misura a basso costo confrontato con strumentazione di Classe I. Proc. 41° Convegno Nazionale Associazione Italiana di Acustica. Pisa, 17-19 giugno 2014.

[29] Gwenael Guillaume, Arnaud Can, Gwendall Petit, Nicolas Fortin, Sylvain Palominos, et al.. Noise mapping based on participative measurements. Noise Mapping, 2016, 3 (1), pp.140-156. <10.1515/noise-2016-0011>. <hal-01337542>

[30] E. D'Hondt, et al. Participatory noise mapping works: an evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring. Pervasive and Mobile computing (2012).

[31] George Drosatos, Pavlos S. Efraimidis, Ioannis N. Athanasiadis, Matthias Stevens and Ellie D'Hondt *Privacy-Preserving Computation of Participatory Noise Maps in the Cloud*. Journal of Systems and Software, February 2014

[32] Sotirakopoulos, K., Barham, R., Piper, B. and Jackett, R. On the Use of Linear Regression for the Assessment of Stability in Noise Monitoring Networks: A Practical Example, *Proceedings of Euronoise2015- the 10th Europe-an Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, Maastricht, Netherlands, May 31 - June 3, (2015).

[33] Piper, B., Barham, R. and Sotirakopoulos, K.. Design for a self-calibrating micropjone system using a cluster of MEMS microphones. Proceedings 22nd International Conference ICSV 2015, Firenze 12-16 Luglio 2015

[34] Sotirakopoulos, K., Barham, R., Piper and L.Nencini. A statistical method for assessing network stability using the Chow test. Environmental Science: Processes and Impacts.2015.17.1841

[35] Sotirakopoulos, K., Barham, R., Piper. Designing and evaluating the performance of a wireless sensor network for environmental noise monitoring applications. Proceedings of EuroRegio 2016, June 13-15, Porto

Web-sites

- http://ec.europa.eu/environment/noise/directive_en.htm
- https://workinggroupnoise.com/fonomoc/
- http://www.eea.europa.eu/highlights/noise-levels-across-europe-now
- http://www.npl.co.uk/
- http://www.wica.intec.ugent.be/
- http://asasense.com/
- http://www.senseable.it/
- sira.arpat.toscana.it/sira/mappa_acustica_Pisa.html
- http://www.life-dynamap.eu/it/
- http://www.sentilo.io).
- https://smartcitizen.me/
- http://discomap.eea.europa.eu/map/NoiseWatch
- http://noise.eionet.europa.eu/
- http://www.noisetube.net/index.html#&panel1-1
- http://www.citi-sense.eu/Default.aspx
- http://vitoria.citi-sense.eu/en-gb/citisense.aspx

Life MONZA

Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction And management