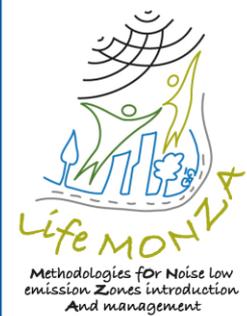


**ABACUS SUL  
CONTESTO OPERATIVO PER LE ZONE A  
BASSA EMISSIONE DI RUMORE**

**ACTION A.1**





**LIFE15 ENV/IT/000586**

**LIFE MONZA**

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction  
And management**

**Abacus sul Contesto Operativo per le  
Zone a bassa emissione di rumore**

<b>Deliverable</b>	<b>Abacus sul Contesto Operativo per le Zone a bassa emissione di rumore</b>
<b>Action/Sub-action</b>	Action A1 - Operational context for Noise Low Emission Zones (LEZ) detection and management
<b>Authors</b>	MONZA Sub-action A.1.1: Simonetta Vittoria  ISPRA Sub-action A.1.2: Rosalba Silvaggio, Salvatore Curcuruto, Enrico Mazzocchi, Giuseppe Marsico Sub-action A.1.3: Giorgio Cattani, Alessandro Di Menno di Bucchianico, Alessandra Gaeta, Gianluca Leone  UNIFI: Sub-action A.1.4: Giulio Arcangeli, Guglielmo Bonaccorsi, Chiara Lorini, Nicola Mucci  VIENROSE: Sub-action A.1.5: Raffaella Bellomini, Sergio Luzzi, Lucia Busa, Giacomo Nocentini
<b>Status</b>	Versione Finale – 28/02/2017
<b>Beneficiary responsible:</b>	ISPRA- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
<b>Contact person</b>	Rosalba Silvaggio
<b>E-mail:</b>	rosalba.silvaggio@isprambiente.it

## Indice

1. Introduzione .....	2
2. Abacus sul Contesto Operativo per le Zone a bassa emissione di rumore .....	2
A1.1 Contesto ambientale e normativo per l'introduzione della zona a bassa emissione di rumore .....	5
A1.2 Contesto operativo:sistemi di monitoraggio del rumore.....	9
A1.3 Contesto operativo:sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria .....	18
A1.4 Contesto operativo:indicatori di salute .....	21
A1.5 Contesto operativo:interventi e risultati attesi sulla qualità dell'aria, il rumore e la salute.....	23
Elenco degli Allegati .....	40

## 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<sup>1</sup> esposte a livelli di rumore superiori a 55 dB L<sub>den</sub><sup>2</sup>. 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.

<sup>1</sup> Noise in Europe 2014. EEA Report- No 10/2014 European Environment Agency

<sup>2</sup> Lden: day-evening-night Level

### **Action A1 – Contesto operativo per l'individuazione e la gestione delle *Noise Low Emission Zones (LEZs)*, zone a basse emissioni di rumore**

L'Azione A1 è un'azione preparatoria del progetto LIFE MONZA. 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 Contesto ambientale e legislativo per l'introduzione della zona a bassa emissione di rumore - MONZA

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

A1.3 Contesto operativo: sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria - ISPRA

A1.4 Contesto operativo: indicatori di salute - UNIFI

A1.5 Contesto operativo: interventi e risultati attesi sulla qualità dell'aria, il rumore e la salute – VIENROSE

Il documento previsto dall'Azione A.1 è l'Abacus sul Contesto Operativo per le Zone a bassa emissione di rumore.

## **2. Abacus sul Contesto Operativo per le Zone a bassa emissione di rumore**

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 ai seguenti temi: contesto ambientale e legislativo per l'introduzione della zona a bassa emissione di rumore; contesto operativo: sistemi di monitoraggio del rumore; contesto operativo: sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria; contesto operativo: indicatori di salute; contesto operativo: gli interventi e gli effetti attesi sulla qualità dell'aria, rumore e salute.

Di seguito, le introduzioni ai principali contenuti trattati nelle varie sezioni.

### **A1.1 - Contesto ambientale e normativo per l'introduzione della Zona a bassa emissione di rumore**

L'Azione A.1 mira a delineare lo stato dell'arte relative ai requisiti tecnici e normativi per l'introduzione della Zona a Bassa Emissione di rumore, allo scopo di aggiornare l'attuale livello di conoscenza dell'impianto normativo relativo all'inquinamento acustico e ambientale, da un lato, e alle restrizioni alla circolazione in alcune aree, dall'altro.

Più specificamente, nella Sub-azione A.1.1, il Comune di Monza ha il compito di descrivere la normativa che regola le attività dei Comuni quando vengono assunte misure volte a ridurre l'inquinamento acustico e ambientale.

La città di Monza ha ottemperato alle normative europee e nazionali finalizzate alla riduzione del rumore. Infatti, nel 2013 la Giunta Comunale ha approvato la mappatura acustica e il piano d'azione collegato, sviluppato e aggiornato nel rispetto della Direttiva Europea sul Rumore 2002/49/EC. Tale mappatura riguarda i rilievi e la gestione del rumore ambientale e prevede diverse misure volte a ridurre il rumore in città, fra cui la creazione di una zona a traffico limitato per i mezzi pesanti, interventi sul Sistema stradale

cittadino e sugli edifici pubblici attraverso la sostituzione dei serramenti per proteggere gli appartamenti dall'esposizione al rumore.

Nel 2014 è stato approvato il Piano di Zonizzazione Acustica, che consiste in uno strumento che definisce i limiti acustici nelle diverse aree cittadine. Include altresì politiche volte a tutelare la salute pubblica dall'inquinamento acustico e ad adottare misure a medio termine per la riduzione del rumore.

Sempre nel 2014, il comune di Monza ha implementato un Sistema di controllo degli accessi alla Zona a Traffico Limitato del Centro Storico basato sul controllo delle targhe dei veicoli.

Tali interventi costituiscono un buon punto di partenza per definire il contesto normativo, che non può prescindere dalla collocazione geografica e climatica della città di Monza.

Monza è una città di 122.955 abitanti, dislocata in Lombardia, ed è capoluogo della Provincia di Monza e Brianza, di recente istituzione (2009). Per numero di abitanti è la terza città della Lombardia e la seconda città più popolosa dell'hinterland milanese.

La città è situata nella Pianura Padana, al confine Sud della Provincia di Monza e Brianza ed è collocate a un'altitudine di 162 metri sul livello del mare. Le più grandi città limitrofe, situate negli immediati dintorni, sono Milano, a circa 20 km, Lecco e Como, circa 40 km a Nord.

L'intera area di Monza ma, più in generale, tutta la Lombardia, va inquadrata nel più ampio contesto del bacino del fiume Po, caratterizzato da condizioni orografiche e meteorologiche che ne determinano una significativa vulnerabilità sotto il profilo della qualità dell'aria.

L'area padana è contraddistinta da una vasta pianura circondata a Nord, ad Ovest e a Sud da catene montuose che si estendono fino a quote elevate, determinando così peculiarità climatologiche sia dal punto di vista fisico sia da quello dinamico.

Infatti, il territorio prevalentemente pianeggiante circondato dai rilievi e, soprattutto, la persistenza di condizioni meteorologiche sfavorevoli dovute al clima continentale ed alla scarsa ventilazione esistente specialmente nel corso delle stagioni autunnale e invernale, sono elementi che inibiscono i fenomeni di dispersione e favoriscono, invece, l'accumulo delle concentrazioni di alcuni inquinanti (in particolare ossidi di azoto e poveri sottili, quali PM10 e PM2.5) ed il determinarsi di situazioni di inquinamento diffuso, con il conseguente rischio di mancato rispetto dei valori limite di qualità dell'aria definiti dalle norme e dagli strumenti pianificatori regionali.

L'informazione completa è disponibile nel documento **A1.1 Contesto ambientale e normativo per l'introduzione della Zona a bassa emissione di rumore**, Allegato 1 di questo documento e i contenuti principali sono riportati nelle schede del presente Abacus.

### **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 stando 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<sup>3</sup> (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. 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<sup>4</sup>, 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.

E' stata quindi condotta 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. L'informazione completa è disponibile nel documento **A1.2 Contesto operativo: sistemi di monitoraggio del rumore**, Allegato 2 di questo documento e i contenuti principali sono riportati nelle schede del presente Abacus.

### A1.3 – Contesto operativo: sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria

#### Inquinamento atmosferico: sorgenti, stato e trend, legislazione

L'inquinamento atmosferico è considerato un grave rischio per la salute umana; esso aumenta l'incidenza di una vasta gamma di malattie e ha diversi impatti ambientali, danneggiando la vegetazione e gli ecosistemi.

Il settore dei trasporti su strada fornisce un contributo significativo al totale delle emissioni antropiche, insieme ad altre fonti mobili, e alle combustioni che possono riguardare sia gli impianti civili che quelli industriali nelle industrie energetiche e di trasformazione. Altre sostanze indesiderate (note come inquinanti secondari, quali ad esempio l'ozono) si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche che coinvolgono i diversi inquinanti emessi direttamente dalle varie fonti.

Il controllo dell'esposizione a inquinanti atmosferici richiede azioni delle autorità pubbliche a livello globale, regionale e locale. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha prodotto e successivamente rivisto le linee guida sulla qualità dell'aria (WHO, 2000, 2005), che, sulla base delle evidenze scientifiche che emergono da numerosi studi epidemiologici e tossicologici, individuano raccomandazioni e obiettivi di qualità dell'aria per diversi inquinanti atmosferici.

La direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa, ha stabilito obiettivi di qualità e valori limite al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso. La qualità dell'aria ambiente negli Stati membri deve essere valutata sulla base di metodi e criteri comuni. I risultati della valutazione devono essere utilizzati al fine di valutare gli effetti dell'inquinamento dell'aria e per monitorare le tendenze e i miglioramenti a lungo termine. Nelle zone dove la concentrazione degli inquinanti supera determinate soglie devono essere sviluppati piani di qualità dell'aria finalizzati alla mitigazione dell'inquinamento. Inoltre è obbligatorio per gli Stati membri garantire che le informazioni sulla qualità dell'aria siano messe a disposizione del pubblico.

Gli inquinanti per i quali è prevista la valutazione dalla direttiva 2008/50/CE includono il materiale particolato (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>), l'ozono (O<sub>3</sub>), il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), il biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), il benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), il monossido di carbonio (CO) e il piombo (Pb), mentre con la direttiva 2004/107/CE sono state stabilite disposizioni analoghe per benzo(a)pirene, cadmio arsenico e nichel come componenti ad alta rilevanza tossicologica del PM<sub>10</sub>.

Negli ultimi venticinque anni, le emissioni di sostanze inquinanti in Europa e in Italia sono generalmente diminuite considerevolmente. In particolare riduzioni significative sono state registrate nel settore industriale e dei trasporti stradali, in seguito all'entrata in vigore di diverse direttive europee che hanno accelerato l'introduzione di nuove tecnologie nei processi, hanno imposto limiti di emissione, hanno previsto la limitazione del tenore di zolfo nei combustibili liquidi e il passaggio a combustibili più puliti (gas naturale al posto dell'olio combustibile e del carbone). Tuttavia in alcuni settori si possono ancora osservare andamenti in controtendenza; ad esempio le emissioni di PM<sub>10</sub> dagli impianti di combustione non industriali, che rappresentano circa il 40% del totale in Italia, mostrano un forte incremento tra il 1990 e il 2012, pari al 149%, dovuto all'aumento dell'uso della legna come combustibile per il riscaldamento (ISPRA 2014).

L'inquinamento atmosferico è un fenomeno estremamente complesso. Gli inquinanti antropogenici da fonti naturali una volta rilasciati diffondono in atmosfera ed in essa si disperdono. I meccanismi di trasporto, diluizione, trasformazione e deposizione sono guidati dalla specifica reattività delle sostanze e dalle condizioni meteorologiche, che sono variabili sia nel tempo che nello spazio, e governano le dinamiche degli inquinanti atmosferici dopo l'emissione. Di conseguenza le relazioni tra le emissioni e le concentrazioni in aria degli inquinanti atmosferici sono tipicamente non lineari.

A tutt'oggi in diverse parti d'Europa, vengono registrate concentrazioni in aria di PM, ozono e ossidi di azoto, superiori sia alle linee guida dell'OMS che agli obiettivi delle direttive Europee, nonostante la

<sup>3</sup> [http://ec.europa.eu/environment/noise/directive\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/noise/directive_en.htm)

<sup>4</sup> <https://workinggroupnoise.com/fonomoc/>

riduzione delle emissioni. Un trend decrescente statisticamente significativo è stato osservato nella maggior parte delle serie storiche delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> e NO<sub>2</sub>, mentre un'analoga tendenza non è rilevabile per l'ozono.

Le aree urbane, dove vive gran parte della popolazione, sono le maggiori fonti di inquinamento, a causa dell'alta densità delle fonti principali di emissione, quali il riscaldamento civile, la produzione di energia e i trasporti.

#### **Effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico**

Recentemente l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha concluso che vi sono evidenze sufficienti a supporto dell'ipotesi che l'esposizione all'inquinamento dell'aria esterna provochi il cancro ai polmoni. Il materiale particolato è stato valutato separatamente ed è stato anch'esso classificato come cancerogeno per l'uomo (IARC, 2013).

È stato stimato che negli ultimi anni, circa il 16 - 21% della popolazione urbana europea possa essere stata esposta a concentrazioni di PM<sub>10</sub> al di sopra del limite fissato dall'Unione europea per proteggere la salute umana. Per quanto riguarda l'ozono è stato stimato che fino al 17% della popolazione che vive nelle aree urbane possa essere stata esposta a livelli di ozono che superano il valore obiettivo dell'UE.

Le stime degli impatti sulla salute attribuibili all'esposizione all'inquinamento atmosferico indicano che le concentrazioni di particolato fine (PM<sub>2,5</sub>) nel 2013 sono stati responsabili di circa 467 000 morti premature in Europa (41 paesi), e circa 436 000 nella UE-28, in relazione ad esposizione a lungo termine. È stato stimato che il PM<sub>2,5</sub> presente nell'aria contribuisca a ridurre l'aspettativa di vita nella UE di circa otto mesi. Gli impatti stimati sulla popolazione negli stessi 41 paesi europei dell'esposizione a NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> nel 2013 sono stati rispettivamente di circa 71 000 e 17 000 morti premature l'anno, e nella UE-28 rispettivamente di circa 68 000 e 16 000 morti premature ogni anno (EEA, 2016).

I bambini e i giovani adulti rappresentano una larga parte degli individui particolarmente sensibili agli effetti negativi dell'inquinamento atmosferico. I bambini, rispetto agli adulti, esprimono una maggiore vulnerabilità, che può essere spiegata dalle differenze nelle circostanze di esposizione legate all'età, alle loro attività, alle differenze nell'anatomia e nella fisiologia del polmone, alle differenze di espressione clinica della malattia, e alla diversa maturità degli organi in base all'età anagrafica (WHO, 2013).

L'informazione completa è disponibile nel documento **A1.3 Contesto operativo: sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria**, Allegato 3 di questo documento e i contenuti principali sono riportati nelle schede del presente Abacus.

#### **A1.4 – Contesto operativo: indicatori di salute**

La sotto-azione A.1.4 consiste in una revisione dello stato dell'arte in merito alla valutazione della qualità della vita e dell'*annoyance*. Le evidenze della letteratura scientifica hanno dimostrato che i fattori di rischio ambientali possono avere un impatto negativo sullo stato di salute. La metodologia per il calcolo del carico di malattia imputabile al rumore ambientale è stata recentemente pubblicata dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO), assieme a stime specifiche di impatto. Anche se nessuna analisi sistematica e definitiva circa l'effetto degli interventi di controllo del rumore sulla salute della popolazione esposta è stata sino ad oggi realizzata, l'assunzione di un chiaro legame tra esposizione e malattie correlate rende appropriato l'uso dei risultati intermedi - e le azioni correlate, come nel caso di questo Progetto - per la valutazione di impatto, rappresentata dai cambiamenti di esposizione<sup>5</sup>. L'uso di indicatori di peso della malattia per valutare l'effetto delle misure attuate nel progetto LIFE, ad esempio un indicatore sintetico come il DALY, è problematico e poco informativo, perché la comparsa di malattie associate con fattori di rischio ambientali può verificarsi in un arco di tempo molto lungo e certamente più ampio di quello del *follow-up* post-intervento. Riteniamo, quindi, più opportuno fare affidamento su indicatori indiretti dello stato di salute, modificabili nei punti temporali di studio, legati alla misurazione della qualità della vita.

<sup>5</sup> Brown AL. Effects of road traffic noise on health: from Burden of Disease to effectiveness of interventions. *Procedia Environmental Sciences* 2015; 30:3-9.

Gli ambienti rumorosi possono produrre, nelle persone esposte, molteplici effetti comportamentali e sociali, riguardanti per esempio: modelli comportamentali quotidiani (impossibilità di utilizzare le aree e balconi esterni, difficoltà di ascolto della radio e della televisione, presentazione di denunce alle autorità); prestazioni relative ad attività specifiche (ad esempio l'apprendimento scolastico); comportamenti sociali (aggressività, maleducazione, etc.); indicatori sociali (mobilità residenziale, ricoveri, consumo di droghe, incidenti stradali, etc.); cambiamenti di umore (ad esempio riduzione del tono dell'umore).

Poiché si tratta di un insieme di sensazioni soggettive, la rilevazione dell'*annoyance* viene normalmente effettuata attraverso questionari somministrati a grandi gruppi di persone. Tuttavia, ad oggi, non esiste in letteratura alcun questionario autorevole e validato per la rilevazione di questo disturbo.

L'informazione completa è disponibile nel documento **A1.4 Contesto operativo: indicatori di salute**, Allegato 4 di questo documento e i contenuti principali sono riportati nelle schede del presente Abacus.

#### **A1.5 – Contesto operativo: interventi e risultati attesi sulla qualità dell'aria, il rumore e la salute**

Nella sotto-azione A1.5 è stata condotta un'analisi dello stato dell'arte sui possibili interventi attuabili nelle LEZ e i relativi effetti sulla qualità dell'aria, il rumore e la salute.

L'abaco raccoglie le più recenti soluzioni progettuali applicate in ambito urbano per la riduzione del rumore, il miglioramento della qualità dell'aria e della salute. In particolare, l'abaco è stato costruito facendo riferimento a dati di letteratura, riviste specializzate, esperienze e risultati di altri progetti europei. L'abaco è stato articolato in tipologie di interventi riguardanti: pavimentazioni a bassa rumorosità, interventi sulla regolazione del traffico, interventi strategici e barriere antirumore.

Per quanto riguarda la tipologia di interventi relativa alle pavimentazioni a bassa rumorosità, è stata riservata particolare attenzione ai risultati del "Progetto LEOPOLDO", un progetto di ricerca coordinato dalla Regione Toscana per lo studio delle pavimentazioni a bassa rumorosità da utilizzare in ambito extra-urbano (LEOPOLDO 1) e urbano (LEOPOLDO 2). In particolare, i risultati del progetto LEOPOLDO 1 sono raccolti in una linea guida regionale (Burt Regione Toscana n. 12 del 20 Marzo 2013-suppl. n. 31) per la progettazione, la costruzione, il controllo e la manutenzione della pavimentazione. I risultati del progetto LEOPOLDO 2, in corso, non risultano attualmente disponibili, tuttavia l'integrazione dei relativi dati è prevista nel breve periodo (con conseguente integrazione delle schede dell'abaco), nell'ambito dell'attività di networking con i partner del progetto LEOPOLDO 2.

Per quanto riguarda gli interventi sulla regolazione del traffico e gli interventi strategici, è stata riservata particolare attenzione ai risultati del "Progetto HUSH" (Harmonization of Urban noise reduction Strategies for Homogeneous action plans) e del "Progetto SONORUS- Urban Sound Planner".

Per quanto riguarda gli interventi relativi alle barriere antirumore, si è fatto riferimento allo schema proposto dal D.M. 29/11/2000 "Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore", e alle esperienze di progettazione di interventi in ambito urbano che emergono in progetti europei come il Progetto SONORUS e il Progetto QUADMAP" (Quiet Areas Definition and Management in Action Plans).

Inoltre, per quanto riguarda gli effetti sulla qualità dell'aria e la salute è stato fatto ampio riferimento al report del National Collaborating Centre for Healthy Public Policy (Quebec) "Urban traffic calming and Health" (2011), che riporta una sintesi degli effetti di alcuni interventi di moderazione del traffico sulla sicurezza stradale, la qualità dell'aria e il rumore ambientale.

L'informazione completa è disponibile nel documento **A1.5 Contesto operativo: interventi ed effetti attesi sulla qualità dell'aria, il rumore e la salute**, Allegato 5 di questo documento e i contenuti principali sono riportati nelle schede del presente Abacus.

## A1.1 Contesto ambientale e normativo per l'introduzione della Zona a bassa emissione di rumore

Strumenti normativi			
Tipologia di norma	Numero della norma	Oggetto	Breve descrizione
Codice Civile	R.D. 262/1942	Articolo 844	Le immissioni di rumore sono consentite se non eccedono il limite della normale tolleranza
Direttiva UE	2002/49	Individuazione e gestione del rumore ambientale	La Direttiva richiede agli Stati Membri di predisporre e pubblicare, ogni 5 anni, <b>la mappatura acustica e i piani d'azione per la gestione del rumore</b> per gli agglomerati con più di 100.000 abitanti
Legge	n.447/1995	Legge quadro sull'inquinamento acustico	Fissa le linee guida in merito alla protezione dell'ambiente esterno e di vita dall'esposizione al rumore
D.P.C.M.	14.11.1997	Valori limite delle fonti rumorose	Il decreto disciplina i valori limite delle emissioni e immissioni e la qualità e i limiti di attenzione da considerare nel definire le valutazioni di impatto climatico e acustico
D. M.	16.03.1998	Rilevazione dell'inquinamento acustico e tecniche di misurazione	Il decreto mira ad armonizzare le tecniche di misurazione e rilevazione dell'inquinamento acustico, prestando attenzione alle emissioni da infrastrutture di trasporto.
Legge Regionale	10.08.2001 n. 13	Norme in materia di inquinamento acustico	La legge regola la tutela dell'ambiente esterno e residenziale dall'inquinamento acustico applicando la L. 447/1995. In base a questa normativa, i Comuni devono approvare la classificazione acustica del territorio. Sono altresì pianificati alcuni interventi volti a contenere le emissioni di rumore da traffico stradale
D.P.R.	30.03.2004 n. 142	Previsioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico da traffico veicolare	Il decreto propone una diversa disciplina dei valori limite per le infrastrutture stradali e definisce l'ampiezza delle bande di rilevanza acustica
D. Lgs.	19.08.2005 n. 194	Attuazione della Direttiva UE n. 2002/49 in materia di Individuazione e gestione del rumore ambientale	Il decreto recepisce la Direttiva UE, introducendo un Sistema sanzionatorio

### NORMATIVA NAZIONALE SU RUMORE E INQUINAMENTO ACUSTICO

L'Italia ha un quadro normativo completo che fin dai primi anni 90 introduce precisi criteri per la valutazione delle emissioni sonore che possono essere considerate di disturbo alle attività delle persone e talvolta dannose per la salute.

L'articolo 844 del codice civile è il punto di riferimento per la valutazione della protezione individuale della persona e della sua proprietà contro l'esposizione a fonti di rumore e si riferisce alla soglia di "tolleranza normale".

Il sistema normativo è costituito dalla Legge 447/95 e dai successivi decreti che fissano nei "criteri di accettabilità" il principale punto di riferimento per la valutazione dell'inquinamento acustico.

Secondo l'articolo 2 della legge 447/95 si chiama inquinamento acustico, "l'introduzione di rumore nell'ambiente interno o esterno che provochi fastidio o disturbo al riposo e alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti e dell'ambiente interno o esterno, o interferisca con l'uso legittimo di tali ambienti".

Il quadro della legge 447/95 costituisce il riferimento normativo di base per la valutazione del rumore ambientale, stabilendo:

- i principi fondamentali in materia di protezione degli individui e dell'ambiente esterno dal rumore;
- la responsabilità dello Stato, delle regioni, delle province e degli enti locali nella regolamentazione, pianificazione e controllo del rumore.

La tutela dell'ambiente esterno dagli effetti nocivi derivanti dall'esposizione al rumore deve essere effettuata, secondo la normativa vigente indicata, attraverso le seguenti azioni:

- previsione di limiti di accettabilità del rumore specifici, in termini di valori assoluti di uscita e di ingresso degli eventi rumorosi nel territorio;
- sviluppo di piani di zonizzazione acustica;
- redazione di piani di azione anti-rumore, se i livelli di rumore ambientale superano i valori limite di esposizione e / o delle emissioni;
- definizione di piani d'azione a breve, medio e lungo termine volti a ricondurre i livelli di rumore ambientale a valori ottimali, (cd. "valori di qualità").

Le misurazioni devono essere eseguite da tecnici competenti in materia di acustica ambientale.

Strumenti normativi			
Tipologia di norma	Numero della norma	Oggetto	Breve descrizione
Delibera di Giunta Regionale	8299/2008	Identificazione degli agglomerati di Bergamo, Brescia e Monza e delle autorità competenti per la determinazione e gestione del rumore ambientale acustico	Individua il Comune quale autorità locale per l'attuazione del piano di zonizzazione acustica e del piano d'azione conseguente
Delibera del Consiglio Comunale di Monza	n. 81/2014	Approvazione del Piano di Zonizzazione Acustica	Con questo atto si fissano i limiti per le sorgenti sonore esistenti e sono programmati obiettivi ambientali per aree specifiche sono in programma.
Delibera di Giunta Comunale di Monza	n. 185/2016	Approvazione del piano di risanamento acustico	Il piano individua le misure volte a ridurre le emissioni di rumore

## NORMATIVA REGIONALE E LOCALE IN MATERIA DI INQUINAMENTO ACUSTICO

Il Comune ha predisposto una mappa del rumore sul proprio territorio accompagnata da un piano d'azione che mira a prevenire e ridurre il rumore ambientale.

Come richiesto dal Decreto Legislativo 194/2005 "Attuazione della direttiva 2002/49 / CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale" gli agglomerati (aree urbane, individuati dalla regione, con una popolazione totale di più di 100.000 abitanti) sviluppano la mappatura acustica del proprio territorio e adottano piani d'azione al fine di prevenire e ridurre il rumore ambientale laddove necessario e al fine di evitare un aumento della rumorosità nelle zone tranquille.

La Regione Lombardia, con Delibera di Giunta Regionale n. 8299/2008 ha identificato il comune di Monza come un agglomerato con la responsabilità per l'elaborazione della mappatura acustica e dei relativi piani d'azione.

Nel 2014 il Consiglio Comunale di Monza ha approvato il Piano di zonizzazione acustica, un documento tecnico con il quale sono fissati i limiti per le sorgenti sonore esistenti. Ogni documento comunale di pianificazione (Piano di Governo del Territorio, Piano Urbano del Traffico) deve rispettare il Piano di zonizzazione acustica, che è uno strumento volto a controllare i cambiamenti ambientali e prevenire sviluppi edilizi o attività generatrici di traffico nelle aree che sono già acusticamente inquinate. Ogni nuovo intervento deve essere accompagnato da una valutazione provvisoria di impatto climatico e acustico, per verificare l'eventuale superamento dei limiti a opera di immissioni acustiche.

Sulla base della mappatura del rumore il Comune di Monza ha predisposto il piano d'azione, che può essere scaricato al seguente link:

<http://www.comune.monza.it/it/comune/Documenti-e-Piani/Piano-rumore/>

Dopo aver soddisfatto la fase obbligatoria di comunicazione e consultazione dei cittadini e delle parti interessate, il piano d'azione è stato approvato dalla Giunta Comunale con la delibera n. 185 del 31/05/2016. Il piano d'azione ha individuato le misure da attuare nel breve, medio e lungo periodo che non sono concentrate direttamente sul fenomeno acustico, ma sono anche strategicamente relative alle attività di pianificazione urbanistica, alla mobilità, al traffico, alle attività finalizzate a informare il pubblico, che implicano una potenziale riduzione delle emissioni sonore provenienti da fonti stradali correlate alle infrastrutture comunali. Tra le misure a breve termine, che coincidono con la durata del progetto LIFE MONZA, due interventi specifici saranno attuate nell'area pilota:

1. la creazione di una zona a traffico limitato per tutti i camion;
2. la realizzazione di una zona 30 km / h.

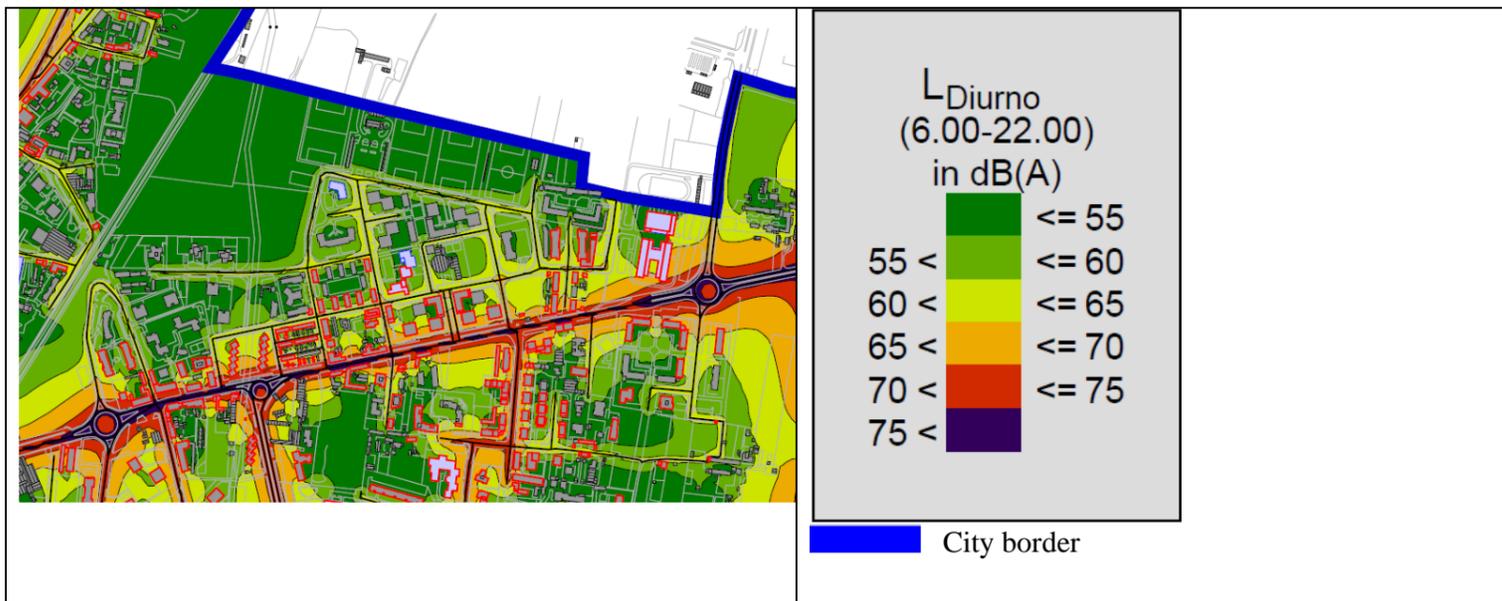


Figure A1.02  
 Fonte: Piano di zonizzazione acustica del Comune di Monza – Superamenti giornalieri- tabella 3  
 Link: <http://www.comune.monza.it/it/comune/Documenti-e-Piani/Piano-rumore/>

Strumenti normativi			
Tipo di norma	Numero della norma	Oggetto	Breve descrizione
Direttiva UE	2008/50	Sulla qualità dell'ambiente e per un'aria più pulita in Europa	Fissa livelli standard e obiettivi per la riduzione della concentrazione di polveri sottili, che unitamente a quelle più spesse come il PM10 già soggette a normativa, sono tra le gli inquinanti più pericolosi per la salute umana
D. Lgs.	13.08.2010 n. 155 come integrate e modificata dal D.Lgs. 24.12.2012 n. 250	Attuazione della Direttiva UE n. 2008/50 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa	Stabilisce un quadro normativo unitario concernente la valutazione e la gestione della qualità dell'aria volto a identificare gli standard di qualità dell'aria al fine di prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana e l'ambiente
Legge Regionale	24/2006	Prevenzione e riduzione delle emissioni in atmosfera per proteggere la salute e l'ambiente	Mira a far rispettare l'impegno regionale per la realizzazione di un quadro di pianificazione e coordinamento delle linee di azione per il raggiungimento di livelli di qualità dell'aria stabiliti dalla CE per proteggere la salute e l'ambiente, attraverso la riduzione dell'inquinamento in relazione al meteo e climatiche condizioni del bacino.
Delibera di Giunta Regionale	2605/2011	Divisione in zone e agglomerati del territorio regionale per la valutazione della qualità dell'aria e dell'ambiente	Grazie a questa delibera, il territorio regionale è diviso in aree e agglomerati al fine di valutare la qualità dell'aria e dell'ambiente
Delibera di Giunta Regionale	593/2013	Approvazione del Piano regionale di interventi per la qualità dell'aria	Il Piano offre una sintesi delle conoscenze sui diversi tipi di inquinanti atmosferici e le caratteristiche meteo-climatiche che influenzano la loro diffusione, al fine di sostenere la futura politica regolamentazione delle emissioni.
Delibera di Giunta Regionale	2578/2014	Lattuazione del Piano regionale per la qualità dell'aria	La delibera approva misure volte a limitare la circolazione di tutte o alcune categorie di veicoli nelle diverse aree della Lombardia in base al superamento dei valori limite
Delibera di Giunta Regionale	5656/2016		Protocollo per l'attuazione di misure temporanee a livello locale tramite l'adesione dei Comuni nel caso di persistente superamento dei valori limite di polveri sottili (PM10)

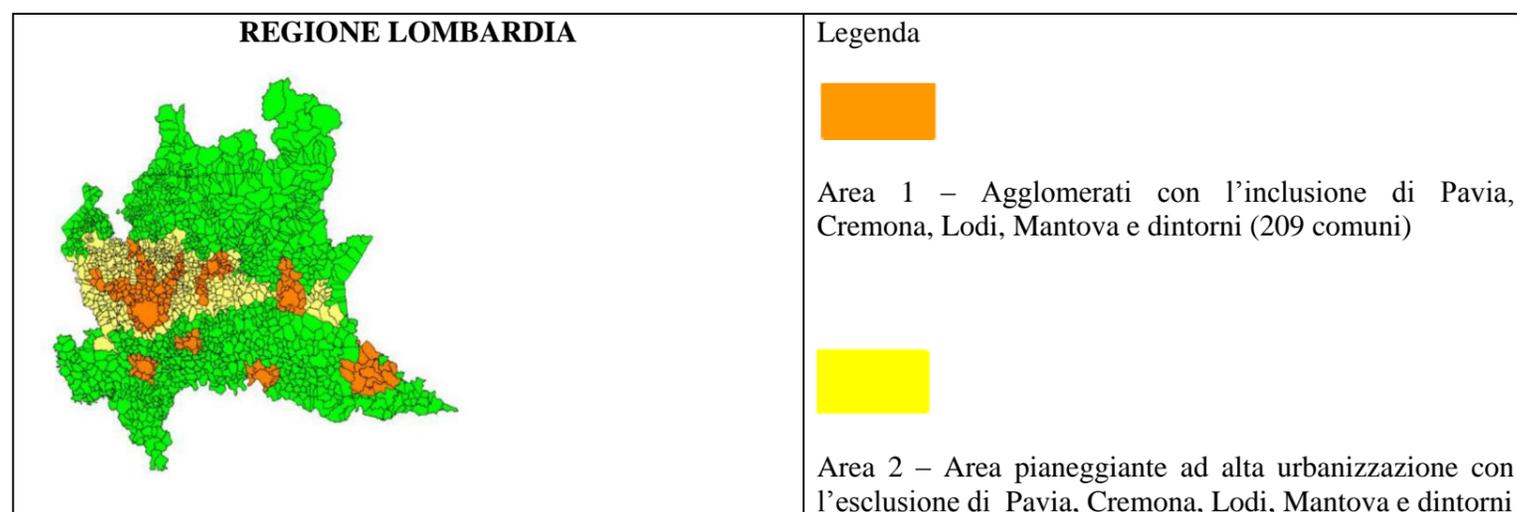


Figure A1.01 Fonte: Sito web Regione Lombardia

Link:[http://www.regione.lombardia.it/cs/Satellite?c=Redazionale\\_P&childpagename=Ambiente%2FDetail&cid=1213374630533&pagename=MBNTWrapper](http://www.regione.lombardia.it/cs/Satellite?c=Redazionale_P&childpagename=Ambiente%2FDetail&cid=1213374630533&pagename=MBNTWrapper)

## NORMATIVA EUROPEA E REGIONALE IN MATERIA DI INQUINAMENTO AMBIENTALE

Una Zona a Bassa Emissione di rumore è una misura volta a soddisfare gli obblighi di qualità dell'aria, migliorare la qualità dell'ambiente e ridurre i rischi per la salute legati al traffico nelle città. Molte città europee hanno introdotto zone a basse emissioni (LEZ) per migliorare la qualità dell'aria e per soddisfare i valori limite. E' dimostrato che una zona a basse emissioni può avere vantaggi significativi per la salute umana, anche se la riduzione dei livelli di PM10 può essere modesto.

Non ci sono regole uniformi o standard per le LEZ negli Stati membri, anche se alcune norme nazionali (Germania, Danimarca, Svezia, Paesi Bassi, Repubblica Ceca) hanno adottato le LEZ. Anche all'interno degli Stati membri che hanno elaborato normative nazionali per le LEZ, ogni città può implementare una LEZ sulla base delle condizioni e secondo gli intendimenti dell'Amministrazione locale, creando così un mosaico di restrizioni e procedure che possono essere un peso per gli operatori del trasporto su strada extraurbani e internazionali.

Molte città hanno introdotto misure in materia di mobilità e trasporti, che hanno portato alla riduzione dell'inquinamento atmosferico e acustico. Alcune città hanno adottato approcci e tecnologie innovative nelle loro implementazioni di LEZ, al fine di risolvere i problemi ambientali e contribuire alla mobilità urbana efficace e la crescita economica, che sono tra gli obiettivi della strategia Europa 2020.

Il Governo italiano ha recepito nel nostro quadro giuridico il contenuto della direttiva CE 2008/50 impostando un quadro unitario di valutazione e di gestione della qualità dell'aria volto a individuarne gli standard qualitativi per prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e l'ambiente.

Anche se l'Italia non ha un quadro normativo nazionale che disciplini le zone a bassa emissione, tuttavia diverse regioni d'Italia, tra cui la Valle d'Aosta, Bolzano, Emilia Romagna e Lombardia, hanno coordinato le disposizioni a livello normativo relative all'argomento all'interno del loro territorio

Nello specifico, la Regione Lombardia ha sviluppato una vasta normativa sul tema, a causa ei problemi di inquinamento ambientale che nascono dalla posizione geografica interna e dalla presenza della Pianura Padana, che impedisce il ricambio dell'aria..

In generale, il territorio regionale è stato suddiviso in aree e agglomerati al fine di valutare la qualità dell'aria e dell'ambiente. Quando i valori limite di emissione di sostanze inquinanti vengono superati, sono adottate misure volte a ridurre l'inquinamento atmosferico, per esempio blocchi della circolazione totali o per alcune categorie di veicoli o riduzione della temperatura del riscaldamento negli edifici. In base al livello di superamento dei valori, si decide se le misure vengono applicate alla più ampia area 2 o all'area 1, più ridotta..

Nel 2016, i Comuni hanno firmato un protocollo di intesa volto ad applicare misure temporanee strutturate su due livelli da attivarsi a livello locale in caso di continuo superamento dei valori limite di polveri sottili (PM10) per almeno sette giorni nelle concentrazioni di n, rispettivamente. 50 e 70 microgrammi / metro cubo di PM10.

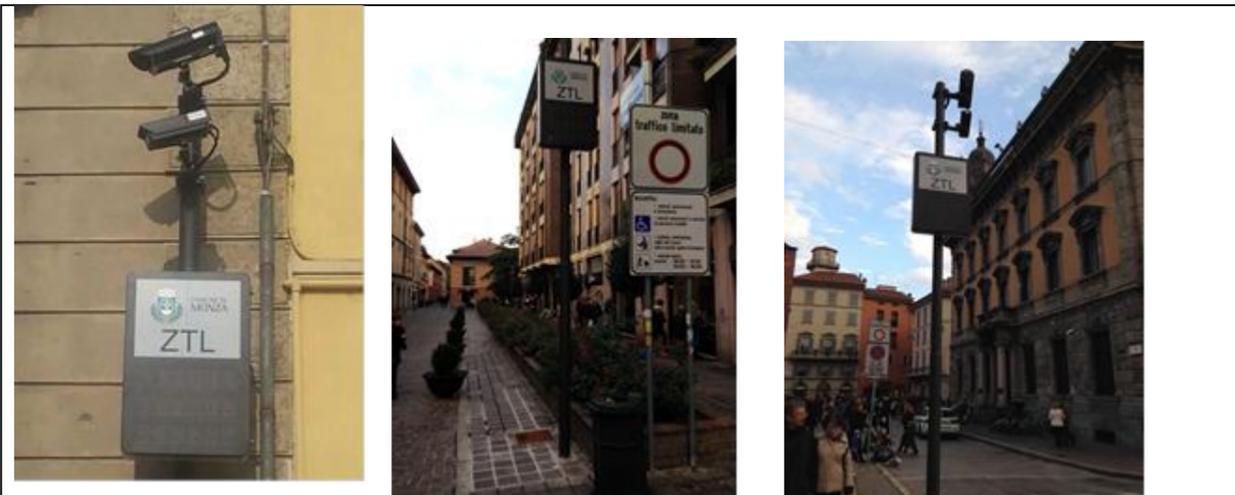
Legal tools			
Tipo di norma	Numero della norma	Oggetto	Breve descrizione
D. Lgs.	n. 285/1992	Codice della Strada	Regolamenta la circolazione stradale in generale e permette ai Comuni di istituire aree pedonali e zone a traffico limitato in base agli effetti del traffico sulla salute, la sicurezza della circolazione, dell'ordine pubblico e del patrimonio ambientale e culturale
D.P.R.	250/1999	Regolamento recante norme per l'autorizzazione alla installazione e all'esercizio di impianti per la rilevazione degli accessi di veicoli ai centri storici e alle zone a traffico limitato	I comuni che vogliono gestire sistemi volti a rilevare i veicoli che accedono al centro città devono chiedere l'autorizzazione al Ministero dei Lavori Pubblici. Sistemi devono essere omologato secondo la norma UNI 10772
Delibere di Giunta Comunale	180/2014  270/2014	Nuova struttura della ZTL  Approvazione delle modalità di accesso alla ZTL	Con questa delibera, la Giunta Comunale ha identificato i confini della ZTL  Con questa delibera, la Giunta Comunale ha identificato le diverse categorie che sono autorizzati ad accedere alla ZTL e le procedure per il rilascio delle autorizzazioni
Ordinanza del Sindaco	N.A.	Ogni anno il sindaco fissa con apposita ordinanza le regole di accesso alla ZTL	L'ordinanza annual del Sindaco fissa orari, durata delle limitazioni e eccezioni al divieto di accesso nella ZTL

## NORMATIVA NAZIONALE E LOCALE IN MATERIA DI ZONE A TRAFFICO LIMITATO

Per quanto riguarda le leggi in materia di circolazione stradale, il quadro normativo è costituito principalmente dal Codice della Strada (Decreto legislativo n. 285/1992), il cui art. 7 si occupa di Zone a Traffico Limitato. Queste aree possono essere identificate attraverso una delibera della Giunta Comunale, che può anche subordinare l'autorizzazione ad entrare nella ZTL al pagamento di una cifra. L'identificazione del diritto di accesso alla ZTL è piuttosto "flessibile" e dipende dalle valutazioni della Giunta Comunale, che tenga conto della situazione reale (che ovviamente può variare da città a città e anche all'interno delle diverse aree dello stesso Comune) e gli obiettivi di mobilità e tutela dell'interesse pubblico. La limitazione della circolazione può essere oraria e può riferirsi a particolari categorie di utenti (residenti, gruppi professionali, titolari di cariche pubbliche, imprese commerciali, etc.) o, indipendentemente dalla tipologia di utenti, a particolari categorie di veicoli (privati, trasporto merci, trasporto a domanda, etc.).

I sistemi di riconoscimento delle targhe sono sempre più diffusi e sono già attivi in un gran numero di Zone a Traffico Limitato. Operano con videocamere installate nei punti di accesso alla ZTL, scansionano la targa dei veicoli che accedono alla ZTL e le paragonano alla "lista bianca" dei veicoli autorizzati all'accesso inserita in un database. Qualora un database europeo fosse sviluppato, il sistema potrebbe agevolmente adattarsi anche ai veicoli stranieri. Attualmente il sistema opera con successo a Londra, Milano e in altre ZTL. A Londra le videocamere leggono il numero di targa del veicolo che accede alla ZTL e verificano se lo stesso è inserito nel database: A Monza il sistema di controllo automatizzato degli accessi alla ZTL del centro storico cittadino è stato attivato nell'aprile del 2014.

Il Decreto del Presidente della Repubblica n. 250/1999 fissa le regole per l'autorizzazione all'installazione e al funzionamento dei sistemi per la rilevazione elettronica degli accessi di veicoli ai centri cittadini e alle ZTL. I Comuni che intendano attivare tali devono chiedere l'autorizzazione al Ministero dei Lavori Pubblici, che la rilascia previa verifica dell'omologazione del sistema secondo la norma UNI 10772.



Sistema automatizzato di controllo degli accessi alla ZTL di Monza

Figura A1.02

Fonte: Ufficio Mobilità e Trasporti Comune di Monza

## A1.2 Contesto operativo: Sistemi di monitoraggio del rumore

### Sistemi di monitoraggio del rumore standard e *smart* e *low-cost*

#### 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 elettret" (*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  $\pm 1,1$  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  $\pm 0,6$  dB.
- Classe II: massimo errore di linearità di  $\pm 1,4$  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  $\pm 0,8$  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.

#### Contesto operativo: esperienze e procedure sui 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 elettret), 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.

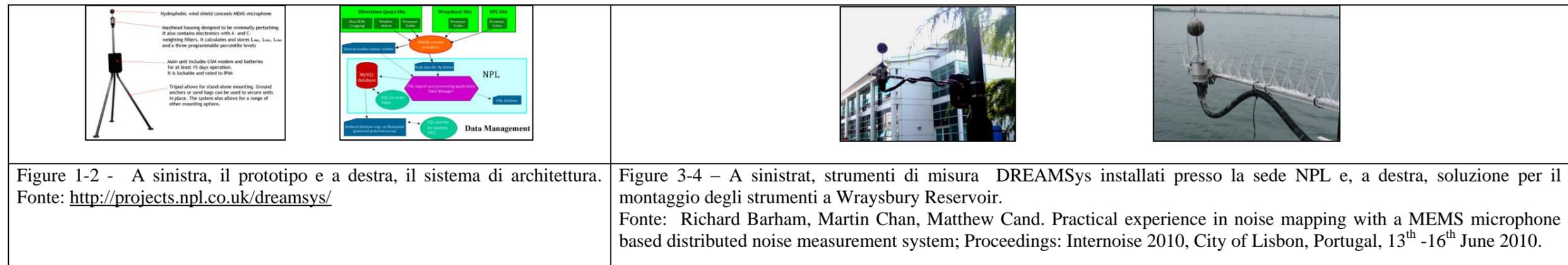
## DREAMSys

Tabella 1

Noise Monitoring System- DREAMSys	
Fonte: R.John T.Bunyan, DREAMSys MEMS Microphone specifications.2007	
specifiche MEMS	
Gamma dinamica acustica	70 dB
Minimo livello di pressione rilevabile	40 dB(A) potrebbe essere praticabile 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	few mA
Intervallo di tensione analogica	≈ 1 V
Dimensioni del circuito stampato	10mm < x <10 mm
Forma del circuito stampato PCB	Ottimizzato per evitare gli effetti di diffrazione
Periodo definito	10 min
Indicatori	<i>LAeq, LCEq, LA10, LA50, LA90</i>
Altro:	Resistenza alle intemperie batteria (valida per più di due settimane)

## Descrizione

DREAMSys (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 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, guidato da NPL (National Physical Laboratory). Al fine di dare un contributo all'implementazione della direttiva 2002/49/CE, in particolare al processo di mappatura 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 Dreamsyst 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 tabella 1, come il livello minimo rilevabile di pressione sonora, la banda di frequenza acustica e la gamma dinamica. Il prototipo e l'architettura del sistema sono visibili nelle figure 1 e 2. Con lo scopo di valutare l'approccio distribuito delle misure, sono stati identificati quattro siti di prova. 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 Dreamsyst. Nelle figure 3 e 4 sono riportate due opzioni di montaggio, presso la sede NPL a sinistra e presso la riserva Wraysbury, a destra. 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. 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. 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.



## Reti di monitoraggio *smart* –Università di Ghent

Tabella 1

Specifiche tecniche dei sensori. Elaborata sulla base delle informazioni disponibili nel rif: 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).	
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	$L_{Aeq,15 \text{ minutes}}$ ; $L_{A90}$ , $L_{A50}$ , $L_{A10}$ , $L_{A01}$ ; 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 octave
Altro	
Resistenza alle intemperie	Involucro impermeabile
Connettività	Connesso a internet - approccio <i>plug-and-measure</i>
Possibilità di registrazione audio	Frammenti di registrazione audio
Area Pilota di implementazione	
Urbana/Suburbana	urbana
Scala territoriale	1,18 km <sup>2</sup>
Numero di nodi sensori	12

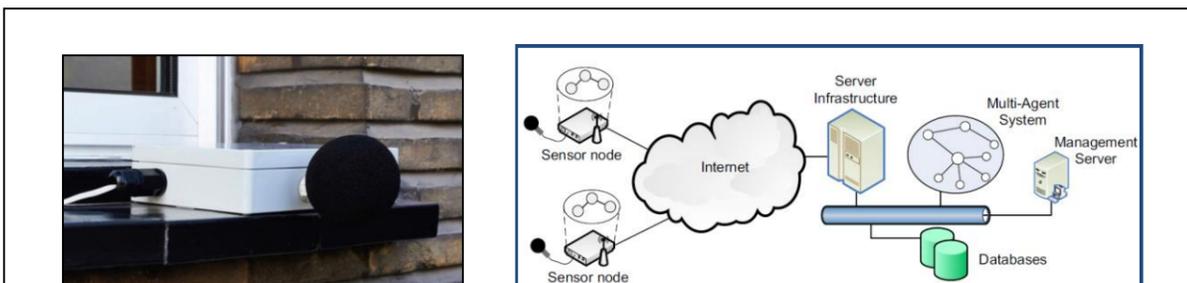


Figure 1-2 - A sinistra, prototipo e, sulla destra, il sistema di architettura.

Fonte: 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).

## Descrizione

Il gruppo di ricerca Waves (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<sup>1</sup> 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 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<sup>2</sup> di estensione, si trova a Rotterdam, nella zona del porto, abitata da circa 4.500 abitanti. Il sistema di monitoraggio adottato è 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 1). 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 2).

I parametri acustici, calcolati su una base di 15 minuti, sono il  $L_{Aeq,15 \text{ minutes}}$  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<sup>1</sup> 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.

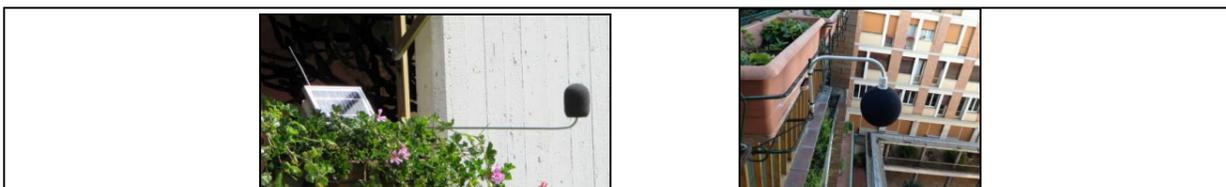
## SENSEable Pisa

Tabella 1

Caratteristiche dei sensori	
Caratteristiche dei sensori. Elaborazione sulla base delle informazioni disponibili al Rif. : Luca Nencini, Paolo De Rosa, Elena Ascari, Bruna Vinci, Natalia Alexeeva. <i>SENSEable Pisa: a wireless sensor network for real-time noise mapping</i> . Proc. Euronoise - Prague 2012.	
Caratteristiche dei sensori	
Gamma dinamica	30 dB (A) ÷ 100 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

Tabella 2

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.: Luca Nencini, Paolo De Rosa, Elena Ascari, Bruna Vinci, Natalia Alexeeva. <i>SENSEable Pisa: a wireless sensor network for real-time noise mapping</i> . Proc. Euronoise - Prague 2012.				
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



Figures 1-2: A sinistra, trasmettitore Zigbee con pannello solare e microfono installato su un balcone (2011). Fonte: 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. sulla destra, microfono di una stazione di monitoraggio per la valutazione di rumore antropico. Source: 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

## Descrizione

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 1), con l'obiettivo di condividere le misure di rumore in una comunità virtuale.

I livelli di rumore misurati in facciata all'edificio sono mostrati in tempo reale nel sito web 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.

Le caratteristiche dei sensori sono riportate nella Tabella 1.

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.

La Tabella 2 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.

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.

## LIFE DYNAMAP

Tabella 1

Specifiche di base per le stazioni di monitoraggio.	
Elaborazione sulla base delle informazioni disponibili nei seguenti lavori: X. Sevilano, J.C. Socoró, F. Alias, 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; L. Nencini, J.C. Socoró – Dynamap project: hardware specifications update. TecnicaAcustica, Valencia 21-23 Ottobre 2015; L.Nencini Dynamap monitoring network hardware development. Proceedings 22 <sup>nd</sup> International Conference ICSV 2015, Firenze 12-16 Luglio 2015	
Specifiche di base delle stazioni di monitoraggio	
Misure di rumore a breve/lungo termine	Misure di rumore a lungo termine
Tipologia di rete di monitoraggio	Prototipo – rete di sensori smart low-cost
Intervallo di linearità in banda larga	40-100 dB(A)
Intervallo di lavoro	35-115 dB
Descrittore del rumore	Leq(A), 1 second time base
Dati spettrali	1/3 octave
Altro	
archiviazione interna dei dati calcolati	
connessione VPN	
possibilità di registrazione audio	
connessione GPRS/3G/WiFi	
calibrazione periodica, rispetto a frequenze da definire	
Area Pilota di implementazione	
Urbana/suburbana	due aree pilota, in ambiente urbano e suburbano
Scala territoriale	da media a grande scala

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 1,2) si trova a Roma, lungo il raccordo anulare A90, un'importante strada che circonda l'agglomerato romano. 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 3) 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. 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 4) 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 1. 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.

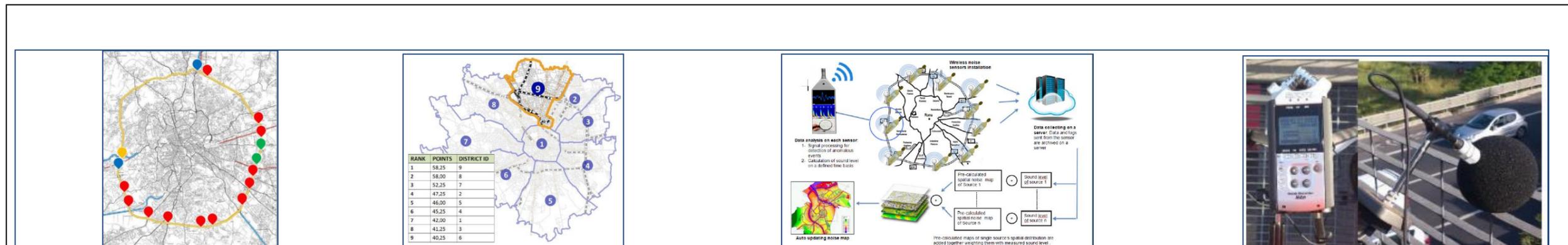


Figure 1-2-3-4 - Partendo da sinistra, l'area pilota di Roma, lungo il raccordo anulare A90 e le aree critiche indicate con colori diversi. Segue l'area pilota di Milano, con i risultati del processo di selezione, quindi lo schema funzionale del sistema DYNAMAP e sulla destra, un dispositivo di misurazione a basso costo utilizzato per la campagna di monitoraggio acustico  
Source: X. Sevilano, J.C. Socoró, F. Alias, 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.

## BARCELONA- Noise Smart Monitoring System

Tabella 1

Low-cost sensor specification	
Omologazione	-
1-15 minuti	1-15 minutes
Indicatori acustici	LAeq
Tolleranza	LAeq $\pm 2$ 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
Rete principale: caratteristiche tecniche degli strumenti di misura del rumore in Classe I	
Omologazione	CEI-61672 Certificazione in Classe I
Range di misura	23-137 dB(A)
Intervallo di frequenze	10 Hz – 20kHz
Tolleranza	CEI-61672 Classe I
Indicatori acustici	LAeq; LCEq; LZeq; LAIeq; LAFMAX; 1/3 spettro d'ottava;
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

### Descrizione

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 1) 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. 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 1. 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 1) 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. 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 2). L'utente può inserire extra-dati al sistema dalla piattaforma inserimento dati. 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 3). *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 4) e per integrare e condividere le informazioni sulla città e sui suoi servizi. *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.

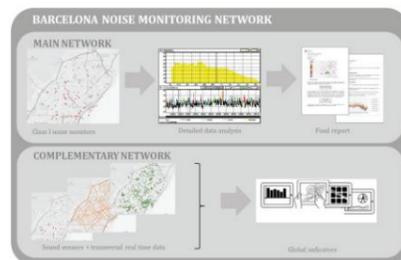


Figura 1 - Rete di monitoraggio del rumore - struttura di base

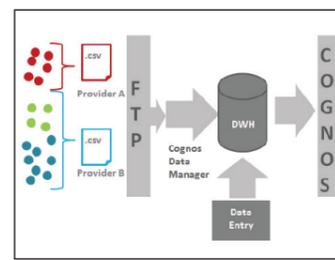
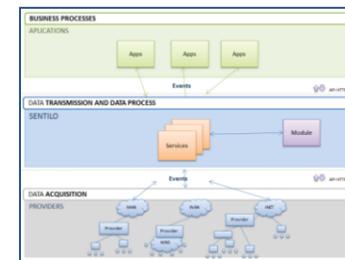
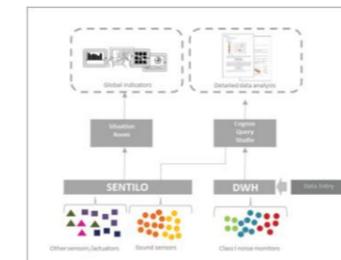
Figure 2-3 - A sinistra, rete principale per la trasmissione dei dati. Sulla destra, la struttura *Sentilo*.

Figura 4 - Gestione e interfaccia per il reporting



Fonte: Júlia Camps Farrés, *Barcelona noise monitoring network*. EuroNoise 2015, 31 May - 3 June, Maastrich

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

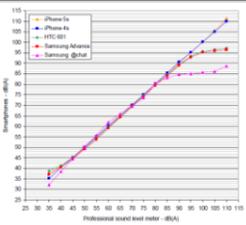
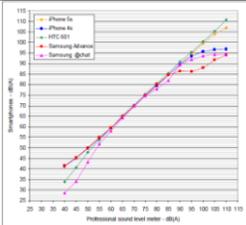
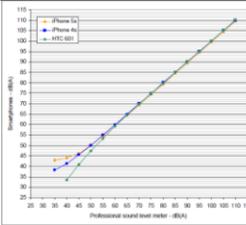
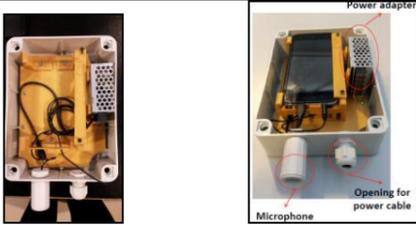
Tabella 1

Sistema di monitoraggio acustico <i>low-cost</i> basato su dispositivi <i>smartphone</i>	
<b>Caratteristiche smartphones Android (<i>Noise Meter</i> app)</b>	
Frequenza di campionamento regolabile	8000, 11025, 22050, 44100, 48000 Hz
Gain	1 dB steps in the range -40 - +40 dB
Periodo di integrazione	from 1 sec to 10 minutes;
rilevamento eventi	si
Filtri digitali	passa basso-alto, ponderazione A;
Indicatori (livello equivalente)	Peak, minimum, maximum, arithmetic average, energetic average
<b>Caratteristiche smartphones iOS (<i>Noise Immission Analyzer</i> app)</b>	
Frequenza di campionamento	44100 Hz
Calibrazione con un segnale noto	Si
Filtri digitali	ponderazione A-B-C-lineare, fast, slow
Indicatori (livello equivalente)	minimo, massimo, media energetica (livello equivalente)
File audio registrazione	fino a 20 secondi

Tabella 2

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 standard	0.8	0.7	0.5

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<sup>1</sup> (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 smartphone 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'area 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* disponibile su Google Play. Le caratteristiche tecniche sono riportate in Tabella 1. I dati possono essere salvati in un file di testo e lo spettro di frequenza non può essere sviluppato. È stata utilizzata una applicazione a pagamento chiamata *Noise Immission Analyzer* per iOS, ma attualmente, non risulta più disponibile. Non consente di salvare i dati di rumore in un file di testo, né misurare livelli di frequenza (Tabella 1). 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 1 sono riportati i risultati ottenuti utilizzando il microfono interno degli smartphone. 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 2 mostra i risultati ottenuti utilizzando i microfoni delle cuffie originali. 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 3i risultati utilizzando un microfono MicW<sup>1</sup>, 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). È 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 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 2 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. 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. Nelle Figure 4 e 5 il set-up hardware per le misure in esterno outdoor, utilizzando uno smartphone..

			
Figura 1 - risultati del confronto utilizzando il microfono interno degli smartphone	Figura 2 - risultati del confronto utilizzando le cuffie originali degli smartphones	Figura 3 - risultati del confronto con il microfono MicW collegato agli smartphones	Figura 4 - Hardware set-up per le misure di rumore ambientale, utilizzando gli smartphones.
Fonte: J. Fogola, S. Masera, V. Bevacqua. Smartphone as noise level meter? Proceedings 22 <sup>nd</sup> International Conference ICSV 2015, Firenze 12-16 Luglio 2015			Fonte J.Fogola, E. Gallo. Low cost leisure noise monitoring in the San Salvario area. Presentation available on: <a href="https://workinggroupnoise.files.wordpress.com/2016/06/fogola_low-costs-noise-monitoring.pdf">https://workinggroupnoise.files.wordpress.com/2016/06/fogola_low-costs-noise-monitoring.pdf</a>

## Progetti di monitoraggio partecipativi

### NoiseWatch

L'Agencia Europea dell'Ambiente (European Environment Agency - EEA) cura e gestisce la banca dati ufficiale 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 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: *Osservazioni 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 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.

### Smart citizens project

Il progetto *Smart Citizens*, 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<sub>2</sub>), 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).

### 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 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, 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. 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.

### NoiseTube

*NoiseTube* 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*.

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

Tabella 1.

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

<b>Sistemi di monitoraggio del rumore smart e low-cost</b>	
<b>Caratteristiche principali derivanti dai progetti analizzati</b>	
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: LAeq, LA10, LA50, LA90; In alcuni casi studio: LA01; LCeq, M60, M70, Ncn
Dati spettrali	1/3 di ottava
Calibrazione	Calibrazione periodica
<b>ulteriori caratteristiche</b>	
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
<b>aree pilota</b>	
Urbano/Suburbano	Aree Urbane e sub-urbane
Scala Territoriale	Diverse dimensioni, da media a grande; (dimensione maggiormente frequente nelle aree urbane: ≈1,00 km <sup>2</sup> )
Numero di stazioni	Situazioni differenti. Per aree di medie dimensioni territoriali, nella maggior parte dei casi studio, da 5 a 20 unità.

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.

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.

## A1.3 Contesto operativo: sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria

### Quadro concettuale sulla LEZ

Valutazione dell'efficacia delle LEZs – casi studio europei	
Area urbana di Londra 2007-2008 (Jones et al., 2012).	Nel periodo 2007 - 2008, nell'area urbana di Londra è stata implementata l'introduzione di gasolio "senza zolfo" e una zona a traffico limitato per i veicoli commerciali pesanti. In tale occasione è stata riscontrata una grande riduzione della concentrazione del numero di particelle (59%) in un sito di monitoraggio utilizzato per valutare l'impatto sulla qualità dell'aria (Jones et al., 2012). Questa grande riduzione è stata imputata, dagli autori dello studio, principalmente alla misura inerente l'utilizzo del gasolio "senza zolfo" e soltanto in secondo luogo correlata con l'introduzione della LEZ di Londra.
17 città tedesche 2005 – 2009 (Morfeld P. et al., 2014).	Una valutazione d'impatto delle LEZ sulla concentrazione nell'aria di ossidi di azoto è stata condotta in 17 città tedesche nel periodo che va dal 2005 fino alla fine del 2009. La riduzione media, attribuibile all'effetto delle LEZ sui livelli di ossidi di azoto, è stata stimata pari a 2 µg/m <sup>3</sup> (circa 4%).
Monaco (Germany) Dal 2008. (Fensterer V. et al., 2014).	A Monaco di Baviera è stata istituita una LEZ che ha imposto il divieto di transito per i veicoli pesanti dal 2008. La concentrazione osservata di PM <sub>10</sub> si è ridotta da un minimo del 4,5% (sito di monitoraggio di fondo urbano) ad un massimo del 13% presso un sito di monitoraggio di traffico.
Milano (Italia) (Invernizzi G. et al., 2011).	A Milano è stata condotta una campagna di monitoraggio del black carbon per stimare il potenziale impatto sulla qualità dell'aria dovuto all'istituzione di una zona ad accesso a pagamento per tutti i veicoli con standard emissivi antecedenti all'Euro 4 (zona "Ecopass") e alla creazione di nuova zona pedonale. Il black carbon e la concentrazione in massa di PM sono stati analizzati per tre giorni, in tre siti diversi. Il primo sito di misura è stato ubicato esternamente alla zona Ecopass, il secondo dentro la zona Ecopass e l'ultimo nella zona pedonale. L'analisi dei dati di monitoraggio rilevati in tale campagna di misura ha consentito di valutare una riduzione nel rapporto di Black Carbon / PM <sub>10</sub> variabile dal 47% (zona Ecopass) al 62% (zona pedonale).

### Descrizione

Le zone a basse emissioni (LEZ) sono state introdotte, in diversi paesi europei, per ridurre le emissioni di inquinanti atmosferici e per migliorare la qualità dell'aria urbana. Le LEZ solitamente regolano l'accesso ad una zona a seconda degli standard emissivi dei veicoli o in funzione del tipo di veicolo (veicoli pesanti, veicoli leggeri, scooter, ecc). Una LEZ può coprire un'area variabile che va da un minimo di alcune strade fino alla gran parte di un'area urbana. Le LEZ mirano principalmente a ridurre le emissioni di scarico di sostanze inquinanti legate al traffico, in particolare PM e ossidi di azoto, NO<sub>x</sub>. Le misure (come le LEZ) tese a ridurre il traffico, vietando la circolazione ai veicoli più inquinanti, sono generalmente in grado di ridurre i veicoli circolanti, ma hanno fornito risultati contrastanti in termini di impatto sull'inquinamento atmosferico.

Valutare l'effetto di una LEZ sui livelli di inquinamento (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>), non è un compito banale a causa di diversi fattori confondenti: le condizioni meteorologiche, i livelli di fondo regionali degli inquinanti, altre concomitanti misure di pianificazione inerenti la qualità dell'aria (Holman C. et al., 2015). Per valutare l'impatto delle LEZ, tenendo conto dei fattori confondenti, è necessario quindi rimuovere l'influenza delle fonti non locali di inquinamento da traffico. La meteorologia ha un grande impatto sulla variazione annuale e giornaliera dei livelli di PM in aria e quindi è generalmente necessario un aggiustamento di tipo statistico per rimuovere le distorsioni stagionali presenti nelle analisi di lungo periodo. Tale circostanza rende ancora più difficile valutare l'impatto ambientale delle LEZ in termini di riduzione del livello di PM per quanto riguarda gli standard di qualità dell'aria a breve termine.

Quando il contributo delle emissioni da traffico locale ai livelli di concentrazione di PM è molto piccolo rispetto al contributo di altre fonti di emissione e al contributo di PM secondario, la riduzione ottenibile con l'implementazione di una LEZ ha, molto spesso, un effetto trascurabile sui livelli di concentrazione in massa di PM. Tale situazione caratterizza tipicamente la nostra area di studio, situata in Pianura Padana. Concentrandosi su componenti specifiche del PM, come il black carbon, o su parametri più correlati alle emissioni allo scarico dei veicoli (e.g. concentrazione in numero di particelle) appare invece più probabile riuscire a valutare l'impatto delle LEZ su scala locale (C. Holman et al., 2015), in particolare per le LEZ che istituiscono blocchi o restrizioni alla circolazione per i mezzi pesanti alimentati a gasolio (Jones et al., 2012). Le altre concomitanti politiche specifiche sulla qualità dell'aria e settoriali sul trasporto sull'energia (e.g. cambiamento della composizione del parco circolante, ecc.) rappresentano importanti fattori confondenti che influenzano pertanto il processo di valutazione e che rendono difficile isolare l'impatto delle LEZ sulla qualità dell'aria.

## Strategia di valutazione della qualità dell'aria

Criteri per l'ubicazione su macro e micro scala dei campionatori fissi e diffusivi	
Direttiva Europea 2008/50/EC	Criteri per l'ubicazione su macroscala Criteri per l'ubicazione su microscala
Brunekeef, 2008; Cyrus et al., 2012	Altri criteri per la collocazione di campionatori diffusive, per valutazione della qualità dell'aria con misure indicative, sono riportate nel manuale dello studio ESCAPE e sulla letteratura scientifica: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Linee guida per la selezione dei siti</li> <li>- Criteri per l'ubicazione su microscala</li> <li>- Altri criteri pratici</li> </ul>
Guide Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods (EC-JRC, 2008)	Riporta la procedura per la dimostrazione di equivalenza dei campionatori diffusivi
Standard europeo (EN 16339-2013)	specifica un metodo per il campionamento e l'analisi di NO <sub>2</sub> nell'aria ambiente mediante campionamento diffusivo. L'NO <sub>2</sub> raccolto viene estratto come nitrito in soluzione acquosa. L'estratto risultante può essere analizzato mediante: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Colorimetria dopo derivatizzazione del nitrito, utilizzando il metodo di Griess-Saltzman (Atkins et al., 1986);</li> <li>- Cromatografia ionica con rivelatore a conducibilità elettrica (Miller et al, 1984).</li> </ul> Questo metodo può essere usato per la misura di NO <sub>2</sub> in un intervallo di concentrazione compreso tra 3 µg /m <sup>3</sup> a 130 µg /m <sup>3</sup> .
European Standard UNI EN 14662-5	riporta il metodo per il campionamento e l'analisi di benzene nell'aria, mediante campionamento diffusivo
EN 13528-2, 2003.	Qualità dell'aria ambiente - Campionatori diffusivi per la determinazione della concentrazione di gas e vapori - Requisiti e metodi di prova - Requisiti specifici e metodi di prova
EN 13528-3, 2004.	Qualità dell'aria ambiente - Campionatori diffusivi per la determinazione della concentrazione di gas e vapori - Requisiti e metodi di prova - Parte 3: Guida per la scelta, l'utilizzo e la manutenzione
EN 14662-5:2005	Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la misurazione delle concentrazioni di benzene - Parte 5: Campionamento diffusivo seguito da desorbimento con solvente e gascromatografia
EC,DG ENV, May 2010	Guida per la valutazione della qualità dell'aria secondo quanto previsto nella direttiva 2008/50/CE
EC, JRC - Institute for Environment and Sustainability. 2009	Hafkenscheid T., et al. Revisione sull'applicazione dei campionatori diffusive nell'Unione Europea per il monitoraggio del biossido di azoto nell'aria ambiente.

### Descrizione

Per valutare i gradienti di esposizione all'interno di una città, nonché per valutare l'efficacia delle misure rivolte a ridurre l'inquinamento atmosferico, sono necessarie stime attendibili sia di variabilità temporale che di variabilità spaziale nel dominio di studio. Due approcci possono essere identificati per valutare la variabilità su scala locale: i modelli deterministici (modelli di dispersione) e la modellistica empirica (ad esempio i modelli di Land Use Regression). Qualunque sia l'approccio modellistico, le determinazioni in siti fissi vengono comunque utilizzate per sviluppare e convalidare i modelli. Molto spesso è necessario prevedere campagne di monitoraggio ad hoc, dal momento che le reti di monitoraggio nella maggior parte delle aree urbane non sono abbastanza dense per essere utilizzate a questo scopo. In particolare le città di piccole-medie dimensioni in Italia, hanno solo 1-2 punti fissi appartenenti alla rete regionale di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico. Inoltre, impostare campagne di monitoraggio ad hoc permette di scegliere il numero e il tipo di siti di misura (ad esempio di traffico, di fondo) in modo funzionale allo scopo dell'indagine, e allo sviluppo del modello prescelto. Svantaggi di questo tipo di approccio sono i costi aggiuntivi e la copertura temporale necessariamente limitata delle misure mentre il monitoraggio di routine è continuo. Generalmente vengono progettate delle campagne di monitoraggio della durata di 7-14 giorni nelle diverse stagioni dell'anno, al fine di descrivere in modo adeguato la variabilità stagionale.

Una corretta collocazione dei sistemi di campionamento e misura è un aspetto fondamentale nella valutazione della qualità dell'aria. Un'adeguata scelta dei criteri ubicazione su macro e micro scala può essere basata sulla normativa europea sulla qualità dell'aria oltre che sulla letteratura scientifica. Altri criteri per l'ubicazione dei campionatori diffusivi, per la valutazione della qualità dell'aria ambiente attraverso misurazioni indicative, sono suggeriti nel manuale dello studio ESCAPE e nella relativa letteratura scientifica (Brunekeef, 2008; Cyrus et al 2012). I siti di monitoraggio sono selezionati con l'aiuto delle agenzie regionali per l'ambiente. I siti di campionamento devono essere divisi in siti di fondo regionale, siti suburbani e urbani di fondo di traffico stradale e industriali. A questo scopo, la tecnica di campionamento diffusivo è di particolare interesse, a causa del costo relativamente basso, del semplice funzionamento che non necessita di alcuna pompa o alimentazione elettrica e, del fatto che è possibile distribuire un gran numero di campionatori nell'area di studio. Un campionario diffusivo è un dispositivo che è in grado di prelevare campioni di gas o di vapori dall'atmosfera ad una portata controllata da un processo fisico quale la diffusione gassosa in uno strato d'aria statico o un materiale poroso e/o la permeazione attraverso una membrana, ma che non comporta il movimento attivo dell'aria attraverso il dispositivo. I campionatori diffusivi sono adatti per il monitoraggio a lungo termine di diversi gas nell'aria ambiente (ad esempio NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, COV).

## La valutazione della variabilità spaziale

<b>Sviluppo dei modelli LUR: approccio secondo il protocollo ESCAPE</b>	
Predittori significativi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variabili legate al traffico (distanza dalla strada più vicina, lunghezza della strada, densità di traffico),</li> <li>- Numero di abitanti nelle zone censuarie,</li> <li>- Informazioni sull'uso del suolo a disposizione nel Corine Land Cover (per esempio zone ad alta e bassa densità abitativa, verde urbano),</li> <li>- Variabili geografiche (latitudine e longitudine),</li> <li>- Parametri meteorologici (temperatura, velocità del vento, pressione, precipitazione, altezza dello strato di rimescolamento)</li> <li>- Dati di emissione</li> <li>- Variabili avanzate che considerano la geometria delle strade e dei palazzi (presenza di street canyon)</li> </ul>
Protocollo ESCAPE (European Study of Cohorts for Air Pollution Effects, Eeftens et al, 2012) per lo sviluppo di un modello di Land Use Regression	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procedura di regressione tipo "stepwise forward", con l'obiettivo di massimizzare la percentuale di variabilità spiegata (<math>R^2</math>, <math>R^2</math> adjusted) e ridurre al minimo l'errore (RMSE, Root Mean Square Error).</li> <li>- Step 1, modello di start: è caratterizzato dalla variabile predittiva con l'<math>R^2</math> adjusted maggiore;</li> <li>- le successive variabili si aggiungono di volta in volta se: l'<math>R^2</math> adjusted del modello aumenta in misura maggiore dell'1%; il coefficiente stimato ha segno conforme alla direzione stabilita a priori; l'introduzione della variabile non cambia la direzione delle variabili precedentemente introdotte.</li> <li>- Rimozione delle variabili con p-value &gt; 0,1 e quindi statisticamente non significative.</li> <li>- Applicazione di test diagnostici per valutare gli assunti di base del modello quali la linearità, la distribuzione normale dei residui e l'indipendenza degli errori (t-test, Variance Inflation Factor per la collinearità, Distanza di Cook, autocorrelazione spaziale).</li> <li>- Validazione dei modelli attraverso la tecnica di Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV) con l'obiettivo di valutare la capacità predittiva del modello.</li> </ul>

### Descrizione

I metodi per valutare la distribuzione spaziale dell'inquinamento atmosferico nelle aree urbane sono diversi (Jerrett et al., 2005). Gli approcci più comunemente utilizzati nella gran parte degli studi sono: i modelli di trasporto e dispersione atmosferica degli inquinanti e i modelli empirici; questi ultimi annoverano metodi di interpolazione geo-statistica e modelli di Land Use Regression (LUR). Il modello LUR è stato introdotto per la prima volta nello studio SAVIAH (Small Area Variations in Air quality and Health, Briggs et al., 1997). Dopo questo lavoro pionieristico, questi modelli hanno ottenuto un successo sempre crescente, diventando punto di riferimento soprattutto negli studi epidemiologici. Gli ultimi sviluppi si sono focalizzati sull'uso di variabili aggiuntive (Rosenlund et al, 2008, Arain et al, 2007), sulla trasferibilità degli output ad altre aree, sulle sinergie con gli output dei modelli di dispersione (Zwack et al., 2011) e, più recentemente, sull'introduzione di variabili temporali (Patton et al, 2014).

Per valutare l'efficacia di una Low Emission Zone (LEZ) nelle aree urbane, dagli studi di letteratura, si è ricorso più comunemente ai modelli di dispersione e trasporto (modello fotochimico o lagrangiano in base alla scala di impatto e alla complessità dello scenario di simulazione). Tuttavia, negli ultimi anni, nelle valutazioni delle concentrazioni di inquinanti su piccola scala, i LUR hanno raggiunto ottime prestazioni ed eccellenti risultati, in particolare per gli inquinanti emessi da sorgenti di traffico, con un ottimo rapporto costi-benefici. Un punto a favore dei modelli LUR è, infatti, la relativa semplicità ed economicità rispetto ad altre tecniche più complesse e costose.

I modelli LUR sono stati applicati in molte regioni del Nord America e in Europa soprattutto negli ultimi due decenni (Hoek et al., 2008).

I modelli LUR combinano misure di inquinanti atmosferici effettuate in vari punti rappresentativi dell'area di studio, con variabili predittive legate al territorio; tale combinazione avviene attraverso lo sviluppo di un modello di regressione lineare; le variabili predittive sono calcolate attraverso funzioni GIS ed è proprio lo sviluppo di molteplici funzioni GIS ad aver contribuito alla popolarità di tali modelli.

Le misure degli inquinanti atmosferici rappresentano la variabile dipendente. I punti di monitoraggio (20-80) devono essere opportunamente distribuiti sul territorio: la prestazione del modello dipende dal numero e dalla distribuzione dei campionatori.

Arain et al., "the use of wind fields in a land use regression model to predict air pollution concentrations for health exposure studies", Atmos. Environ. 41, 3453-3464, 2007.

Briggs et al., "Mapping urban air pollution using GIS: a regression-based approach", International Journal of Geographical Information Science, volume 11, 1997 -Issue 7

Hoek et al., "A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution", Atmos. Environ., 42, 7561-7578, 2008.

Jerrett et al., "A review and evaluation of intraurban air pollution exposure models", J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol. 15, 185-204, 2005.

Patton et al., "An hourly regression model for ultrafine particles in a near-highway urban area", Environ. Sci. Technol. 48, 3272-3280, 2014.

Rosenlund et al., "Comparison of regression models with land use and emissions data to predict the spatial distribution of traffic-related air pollution in Rome", J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. 18, 192-199, 2008.

Zwack et al., "using dispersion models and mobile monitoring to characterize spatial patterns of ultrafine particles in urban area", Atmos. Environ., 45, 4822-4829, 2011.

**A1.4****Contesto operativo: indicatori di salute***Indicatori di salute***Qualità di vita**

Valutazione soggettiva della qualità di vista

Capacità soggettiva di concentrazione

Salubrità percepita degli ambienti di vita

Soddisfazione per la qualità del sonno

Soddisfazione per le modalità di trasporto



Figura A1.4.1. Questionario WHOQOL-BREF. Fonte: University of Washington, Seattle, Washington, U.S.

**Descrizione**

La valutazione della qualità della vita (QOL) nelle scienze sociali e sanitarie ha assunto sempre maggiore importanza, come testimoniano i numerosi studi pubblicati sullo sviluppo e la validazione di metodi accurati e riproducibili per la valutazione complessiva dello stato di salute; essi possono essere utilizzati in associazione o al posto di indicatori classici, come ad esempio mortalità o morbilità. La QOL, misurata con strumenti validati, è diventata un'area di ricerca che, sotto certi aspetti, può essere considerata di maggior impatto rispetto ad indicatori di salute più "robusti", in quanto prevede la diretta partecipazione/percezione di ogni persona, sia sul proprio stato di salute attuale che sul tipo di interventi che sono o non sono percepiti come utili al miglioramento delle proprie condizioni di vita. Pertanto, a partire dalla seconda metà degli anni '80, sono stati sviluppati diversi strumenti che, con molteplici scopi e aree di ricerca, hanno cercato di misurare la QOL in condizioni diverse. Sulla base dell'analisi degli studi identificati in letteratura, si propone l'utilizzo del questionario WHOQOL-Bref che, anche se meno utilizzato rispetto al questionario SF36, è l'unico strumento che abbia uno specifico dominio ambientale. Inoltre, esso può essere di uso immediato perché è già stato validato in lingua italiana. La somministrazione pre e post (prima e dopo gli interventi ambientali strutturali) del WHOQOL-Bref fornirebbe un punteggio obiettivo comparabile della QOL dei residenti e una stima del potenziale ruolo dei cambiamenti strutturali su di essa. Lo strumento ha 26-item e richiede un tempo di compilazione contenuto (5-10 minuti). Da un lato, la somministrazione completa di tutti gli items consentirebbe paragoni con simili studi scientifici; dall'altro, il limite di spazio fisico disponibile nel questionario LIFE generale nonché un possibile effetto negativo sui partecipanti a causa della lunghezza eccessiva della compilazione ci ha portato a selezionare cinque domande che proponiamo come estensione della valutazione generale, tenendo tuttavia presente che i risultati ottenuti avrebbero solo una validità e una rappresentatività interna. In altre parole, i risultati sarebbero validi solo per il campione dello studio, ma non generalizzabili né paragonabili ad altre ricerche analoghe.

In alternativa, abbiamo proposto la piena gestione del questionario WHOQOL - Bref in due possibili modi differenti:

1. somministrazione del questionario WHOQOL-Bref completo all'intero campione di cittadini, inserendolo nel questionario generale;
2. somministrazione delle 5 domande selezionate nel questionario generale e dell'intero WHOQOL-Bref come modulo separato, lasciando ai partecipanti la facoltà di rispondere a quest'ultimo.

La scelta di una di queste ultime due modalità potrebbe garantire una maggiore rappresentatività, ma necessita di un maggiore impegno da parte dei cittadini che parteciperanno alla ricerca.

<i>Indicatori di salute</i>	
<b>Annoyance</b>	
Valutazione soggettiva della percezione di annoyance a causa dell'inquinamento acustico	
Principali fonti di inquinamento acustico percepite	
Percezione di annoyance a causa dell'inquinamento acustico per fasce orarie	
Fenomeni clinici manifestati a causa dell'inquinamento acustico	

Variables	Leisure (%)	Work (%)	Home (%)	Total population (%)
Annoyance				
None	80.0	51.6	43.3	58.3
Little	20.0	26.7	8.4	18.3
Moderate	—	10.0	10.0	6.7
Highly	—	11.7	38.3	16.7

Tabella A1.4.1. Percezione di annoyance causata dall'esposizione a rumore riportata dai soggetti intervistati in diversi contesti urbani (ricreativi, occupazionali e domestici) nella città di Porto, Portogallo, 2012. Fonte: de Paiva Vianna KM, Alves Cardoso MR, Rodrigues RM. Noise pollution and annoyance: an urban soundscapes study. *Noise Health* 2015; 17(76): 125-33. doi: 10.4103/1463-1741.155833.

## Descrizione

Gli ambienti rumorosi possono produrre, nelle persone esposte, molteplici effetti comportamentali e sociali. Gli effetti del rumore ambientale sulle sopraccitate variabili comportamentali e sociali sono spesso indiretti e complessi; molti di questi devono essere considerati anche alla luce dell'interazione con numerose variabili non-acustiche.

Studi socio-acustici hanno indicato che taluni effetti comportamentali possono essere considerati quali conseguenza di esposizioni al rumore. Pertanto, un ambiente acusticamente sfavorevole costituisce un fattore di *bias* per una buona qualità della vita. Ciò può manifestarsi attraverso una serie di effetti extra-uditivi, tra i quali si annoverano disturbi del sonno, interferenza con la comunicazione vocale, effetti psicofisiologici, disturbi nelle prestazioni, nell'apprendimento e *annoyance*.

(così come a qualsiasi altro agente e/o condizione) che l'individuo conosca o percepisca e che lo interessi in modo negativo. Essa non è solo il risultato di un di un sonno non ottimale o di un'interferenza con la comunicazione, ma dipende anche da sensazioni meno ben definite come la percezione di essere disturbati e influenzati durante tutte le attività e il riposo. In altre parole, l'*annoyance*, per anni considerata come il più semplice ed immediato effetto di esposizione al rumore, è un termine generale utilizzato per riepilogare tutti le sensazioni negative come disturbo, insoddisfazione, disappunto ed irritazione percepite dalla persona esposta.

L'*annoyance*, intesa come un parametro per quantificare il disturbo da rumore, può diventare un ottimo indicatore al fine di studiare la qualità della vita e migliorarla dal punto di vista acustico. Lo studio di questo fenomeno in aree urbane è stato sviluppato negli ultimi 30-40 anni e, di conseguenza, le conoscenze su questo tema sono in larga misura recenti.

Poiché si tratta di un insieme di sensazioni soggettive, la rilevazione dell'*annoyance* viene normalmente effettuata attraverso questionari somministrati a grandi gruppi di persone. Tuttavia, ad oggi, non abbiamo trovato l'esistenza in letteratura (*MEDLINE*, *Scopus*, *Web of Sciences*) di un questionario autorevole e validato per la rilevazione di questo disturbo. Di conseguenza, noi abbiamo sviluppato il seguente strumento di indagine, composta da 4 domande, per completare il l'insieme minimo di dati costituito da 5 domande selezionate dal questionario WHOQOL-Bref.

## A1.5 Contesto operativo: Interventi ed effetti attesi sulla qualità dell'aria, il rumore e la salute

CONTENUTI			
Lista delle parole chiave: LEZ, interventi, effetti sulla qualità dell'aria, rumore, salute.			
ID intervento	Tipologia di intervento	ID intervento specifico	Intervento specifico
1	Pavimentazione a bassa rumorosità	1.1	Strato di usura tipo open graded
		1.2	Strato di usura tipo gap graded
		1.3	Strato di usura tipo dense graded
		1.4	Strato di usura speciale tipo microtappeto
		1.5	Strato di usura tipo dense graded con argilla espansa
		1.6	Strato di usura gap graded con aggiunta di polimeri SBR/NR
2	Interventi sul traffico	2.1	Chicane/restringimenti
		2.2	Rotatorie
		2.3	Dossi rallentatori/attraversamenti pedonali rialzati
		2.4	Isole di traffico
		2.5	Dispositivi per il controllo elettronico della velocità
3	Interventi strategici	3.1	Piano Urbano del Traffico
		3.2	Mezzi pubblici elettrici
		3.3	Zona 30
4	Barriere antirumore	4.1	Barriere antirumore tradizionali
		4.2	Barriere basse alla sorgente

### INTRODUZIONE

In particolare, l'abaco della sotto-azione A1.5, oggetto del presente report, riporta un'analisi dello stato dell'arte sui possibili interventi attuabili nelle LEZ e i relativi effetti sulla qualità dell'aria, il rumore e la salute.

L'abaco raccoglie le più recenti soluzioni progettuali applicate in ambito urbano per la riduzione del rumore, il miglioramento della qualità dell'aria e della salute. In particolare, l'abaco è stato costruito facendo riferimento a dati di letteratura, riviste specializzate, esperienze e risultati di altri progetti europei.

L'abaco è stato articolato in tipologie di interventi riguardanti: pavimentazioni a bassa rumorosità, interventi sulla regolazione del traffico, interventi strategici e barriere antirumore.

Per quanto riguarda la tipologia di interventi relativa alle pavimentazioni a bassa rumorosità, è stata riservata particolare attenzione ai risultati del "Progetto LEOPOLDO", un progetto di ricerca coordinato dalla Regione Toscana per lo studio delle pavimentazioni a bassa rumorosità da utilizzare in ambito extra-urbano (LEOPOLDO 1) e urbano (LEOPOLDO 2). In particolare, i risultati del progetto LEOPOLDO 1 sono raccolti in una linea guida regionale (Burt Regione Toscana n. 12 del 20 Marzo 2013-suppl. n. 31) per la progettazione, la costruzione, il controllo e la manutenzione della pavimentazione. I risultati del progetto LEOPOLDO 2, in corso, non risultano attualmente disponibili, tuttavia l'integrazione dei relativi dati è prevista nel breve periodo (con conseguente integrazione delle schede dell'abaco), nell'ambito dell'attività di networking con i partner del progetto LEOPOLDO 2.

Per quanto riguarda gli interventi sulla regolazione del traffico e gli interventi strategici, è stata riservata particolare attenzione ai risultati del "Progetto HUSH" (Harmonization of Urban noise reduction Strategies for Homogeneous action plans) e del "Progetto SONORUS- Urban Sound Planner".

Il Progetto HUSH è un progetto cofinanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del programma LIFE+2008 che ha avuto l'obiettivo di contribuire all'armonizzazione delle norme nazionali di gestione del rumore con quelle europee, contenute nella direttiva 49/2002, a partire dalla realizzazione di studi ed interventi nella città di Firenze, considerata come caso pilota. In particolare, si è fatto riferimento al report dell'azione 5 in cui vengono riportate una serie soluzioni progettuali per la riduzione del rumore nelle aree urbane (rif. [www.hush-project.eu](http://www.hush-project.eu)).

Il Progetto SONORUS è un progetto cofinanziato dalla Comunità Europea sul programma "FP7 People Programme" (2012) che ha avuto l'obiettivo di fornire ai giovani ricercatori l'opportunità di sviluppare le loro conoscenze e competenze nell'ambito della progettazione acustica urbana (rif. [www.fp7sonorus.eu](http://www.fp7sonorus.eu)).

Per quanto riguarda gli interventi relativi alle barriere antirumore, si è fatto riferimento allo schema proposto dal D.M. 29/11/2000 "Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore", e alle esperienze di progettazione di interventi in ambito urbano che emergono in progetti europei come il Progetto SONORUS e il Progetto QUADMAP" (Quiet Areas Definition and Management in Action Plans). Il Progetto QUADMAP è un progetto cofinanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del programma LIFE+2010 che ha avuto l'obiettivo di sviluppare una metodologia armonizzata per la selezione, la valutazione e la gestione delle aree quiete (rif. [www.quadmap.eu](http://www.quadmap.eu)).

Inoltre, per quanto riguarda gli effetti sulla qualità dell'aria e la salute è stato fatto ampio riferimento al report del National Collaborating Centre for Healthy Public Policy (Quebec) "Urban traffic calming and Health" (2011), che riporta una sintesi degli effetti di alcuni interventi di moderazione del traffico sulla sicurezza stradale, la qualità dell'aria e il rumore ambientale.

Pavimentazione a bassa rumorosità



Figure: immagine indicativa

Interventi sul traffico



Figure: immagine indicativa

Interventi strategici



Figura: Area Brozzi- Quaracchi, Firenze - Italia  
Fonte: Hush Project  
Link: [www.hush-project.eu](http://www.hush-project.eu)

Barriere antirumore



Figura: Scuola "Dionisi", Firenze - Italia  
Fonte: Quadmap Project  
Link: [www.quadmap.eu](http://www.quadmap.eu)

1. TIPOLOGIA DI INTERVENTO				
<b>Campo di applicazione:</b> urbano, extra-urbano,...				
<b>1.0 INTERVENTO SPECIFICO</b>	<b>Sito di studio:</b>	<b>Strada:</b>	<b>Tipologia del sito:</b>	
	Località:	Progressiva:	Quota:	
<b>Composizione della sovrastruttura</b>				
<b>Dati di traffico</b>	Volumi orari	Veicoli leggeri	% Veicoli pesanti	
Traffico Giornaliero Medio (TGM)				
<b>Rumore da rotolamento – CPX a 50 km/h</b>				
Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilievo [mesi]	Sito di riferimento (Srif) [dB(A)]	Sito sperimentale (Ssp) [dB(A)]	Differenza Srif-Ssp [dB(A)]
mese-anno	numero di mesi dalla stesa	sito senza la pavimentazione a bassa rumorosità oggetto di studio	sito con la pavimentazione a bassa rumorosità oggetto di studio	differenza tra il sito senza e con la pavimentazione a bassa rumorosità
<b>Livello di rumore a bordo strada – SPB a 50 km/h</b>				

## Pavimentazione a bassa rumorosità

Generalità

Immagine descrittiva	Curva granulometrica – strato di usura	Rumore da rotolamento – CPX	Livello di rumore a bordo strada – SPB
	Grafico	Grafico	Grafico
Fonte:	Link:		

## 1. PAVIMENTAZIONE A BASSA RUMOROSITA'

**Campo di applicazione:** extra-urbano

<b>1.1 STRATO DI USURA TIPO OPEN GRADED</b>	<b>Sito di studio:</b> Arezzo	<b>Strada:</b> SRT 71	<b>Tipologia del sito:</b> collinare <b>Quota:</b> 260m s.l.m.
	<b>Località:</b> Marcena	<i>Umbro Casentinese</i> <b>Progressiva:</b> km 156+866/157+0.44	

Composizione della sovrastruttura	STRATO	SPESSORE	MATERIALE
	USURA	5 cm	Manto di usura speciale realizzato con conglomerato bituminoso tipo open graded + SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer)
BINDER	6 cm	Strato di binder realizzato con conglomerato bituminoso tradizionale a caldo	
BASE	12 cm	Strato di base realizzato con conglomerato bituminoso tradizionale a caldo	

Dati di traffico	Volumi orari	Veicoli leggeri	% Veicoli pesanti
TGM	8916	7286	18.3

### Rumore da rotolamento – CPX a 50 km/h

Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilievo [mesi]	Sito di riferimento (Srif) [dB(A)]	Sito sperimentale (Ssp) [dB(A)]	Differenza Srif-Ssp [dB(A)]
Giugno 2008	1	93.3	89.6	3.7
Luglio 2012	51	94.2	90.5	3.7

### Livello di rumore a bordo strada – SPB a 50 km/h

Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilievo [mesi]	Livelli di rumore L1 a 50 km/h [dB(A)]			
		L <sub>1</sub> a h= 1.2 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 1.2 m	L <sub>1</sub> a h= 3.0 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 3.0 m
marzo-06	Ante operam	72.4		74.6	
luglio-08	2	66.7	-5.7	66.4	-8.2
luglio-09	14	65.4	-7.0	66.1	-8.5
novembre-09	18	73.4	1.0	73.7	-0.9
aprile-11	35	71.0	-1.4	71.5	-3.1
settembre-11	40	70.8	-1.6	72.3	-2.3

## Pavimentazione a bassa rumorosità

### Strato di usura tipo open graded

I manti di usura tipo open graded sono delle miscele che grazie alle particolari caratteristiche granulometriche e alla elevata qualità dei materiali costituenti, consentono di ottimizzare le prestazioni acustiche senza pregiudicare la durabilità, la stabilità e la sicurezza della circolazione. Il contributo fornito alla sicurezza stradale di questi manti è elevato e ciò suggerisce una loro maggiore applicazione sia nella costruzione di nuove pavimentazioni, sia nel rifacimento del manto di usura di pavimentazioni esistenti.

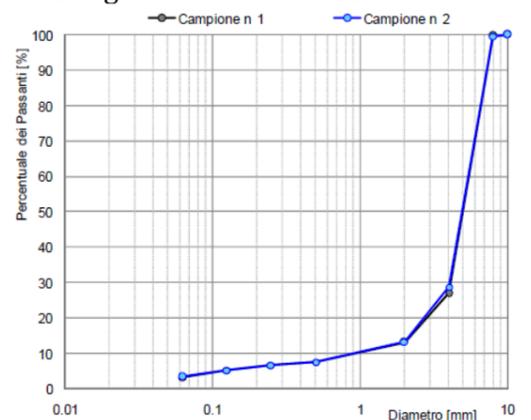
Si tratta di miscele drenanti e fonoassorbenti (CDF) aventi spessore in opera di almeno 40 mm. Le miscele per strati di usura tipo open graded sono costituite da pietrischetti frantumati, poca sabbia e filler, impastata a caldo con bitume modificato che dopo compattazione presentano una porosità intercomunicante 4 o 5 volte superiore a quella di un tradizionale conglomerato per strato di usura. Questo conglomerato, ad alto contenuto tecnologico, è quindi dotato di elevata rugosità superficiale: ha funzione drenante e fonoassorbente, fornendo una buona aderenza anche in caso di pioggia.

Dal punto di vista acustico, presenta un assorbimento massimo nell'intervallo di frequenza tra 800-1000Hz. Tale caratteristica si è mantenuta nel tempo pur subendo un'attenuazione dell'assorbimento, dovuta al progressivo riempimento dei vuoti presenti causato dall'azione dello sporco negli anni. Per quanto riguarda l'emissione da interazione di contatto pneumatico/pavimentazione dopo quattro anni si osserva una riduzione della rumorosità rispetto alla pavimentazione di riferimento di circa 3.7 dB(A). Per quanto riguarda la rumorosità a bordo strada, le misure purtroppo sono state affette da una serie di problemi sia meteorologici che tecnici, comunque si è osservato una progressiva riduzione della differenza ante-post da un iniziale valore di ca. 7 dB(A) fino al valore di 1.6 dB(A) ottenuto nella sessione di settembre 2011. Per quanto riguarda gli spettri di emissione, i risultati ricalcano quanto già previsto con l'assorbimento acustico, quindi un abbassamento dei livelli per frequenze superiori a 800 Hz, anche se tale andamento molto meno evidente negli spettri ottenuti a bordo strada, caratterizzati da una forte variabilità nel tempo.

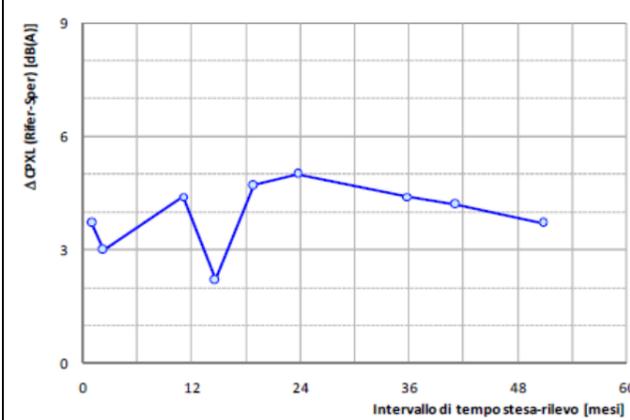
Immagine indicativa



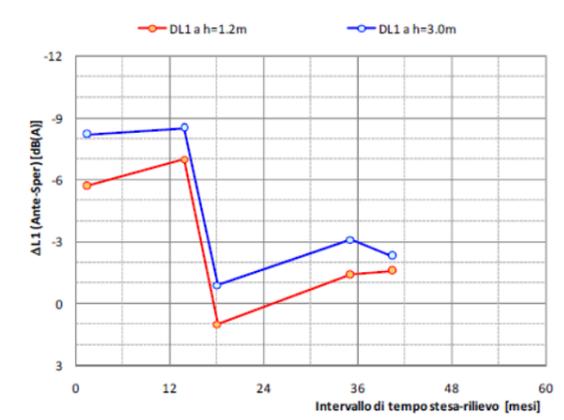
Curva granulometrica – strato di usura



Rumore da rotolamento – CPX



Livello di rumore a bordo strada – SPB



Fonte: Progetto Leopoldo

Link: [www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012](http://www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012)

## 1. PAVIMENTAZIONE A BASSA RUMOROSITA'

**Campo di applicazione:** extra-urbano

<b>1.2 STRATO DI USURA TIPO GAP GRADED</b>	<b>Sito di studio:</b> Firenze	<b>Strada:</b> SRT 302	<b>Tipologia del sito:</b> collinare
	<b>Località:</b> Lutiano Vecchio	<i>Faentina</i> <b>Progressiva:</b> km 27+304/27+548	

Composizione della sovrastruttura	STRATO	SPESSORE	MATERIALE
	USURA	3 cm	Manto di usura speciale realizzato con conglomerato bituminoso tipo gap graded
	BINDER	6 cm	Strato di binder realizzato con conglomerato bituminoso confezionato a tiepido
	BASE	13 cm	Strato di base realizzato con conglomerato bituminoso confezionato a tiepido

Dati di traffico	Volumi orari	Veicoli leggeri	% Veicoli pesanti
TGM	3203	2828	11.7

### Rumore da rotolamento – CPX a 50 km/h

Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilevo [mesi]	Sito di riferimento (Srif) [dB(A)]	Sito sperimentale (Ssp) [dB(A)]	Differenza Srif-Ssp [dB(A)]
Luglio 2008	1	93.7	87.4	6.3
Luglio 2015	50	91.7	90.4	4.4

### Livello di rumore a bordo strada – SPB a 50 km/h

Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilevo [mesi]	Livelli di rumore L1 a 50 km/h [dB(A)]			
		L <sub>1</sub> a h= 1.2 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 1.2 m	L <sub>1</sub> a h= 3.0 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 3.0 m
febbraio-06	Ante operam	72.0		72.7	
marzo-09	9	65.4	-6.6	66.1	-6.6
luglio-09	14	65.3	-6.7	67.3	-5.4
novembre-09	18	68.4	-3.6	69.9	-2.8
luglio-10	26	68.3	-3.7	68.3	-4.4
ottobre-10	29	69.9	-2.1	69.6	-3.1
maggio-11	36	70.9	-1.1	70.5	-2.2
settembre-11	40	70.2	-1.8	69.9	-2.8

## Pavimentazione a bassa rumorosità

### Strato di usura tipo gap graded

I manti di usura tipo gap graded sono delle miscele che grazie alle particolari caratteristiche granulometriche e alla elevata qualità dei materiali costituenti, consentono di ottimizzare le prestazioni acustiche senza pregiudicare la durabilità, la stabilità e la sicurezza della circolazione. Il contributo fornito alla sicurezza stradale di questi manti è elevato e ciò suggerisce una loro maggiore applicazione sia nella costruzione di nuove pavimentazioni, sia nel rifacimento del manto di usura di pavimentazioni esistenti.

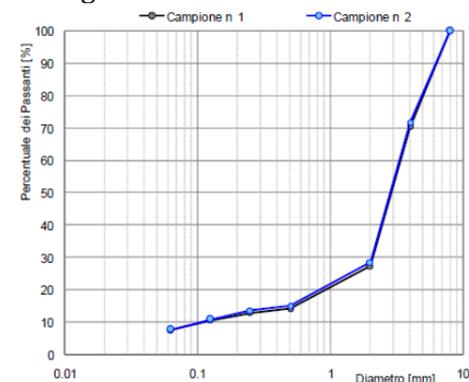
I conglomerati gap graded sono tappeti di usura antisdrucchiolo, aventi spessori in opera di almeno 30mm, costituiti da una miscela di pietrischetti, frantumati, sabbie di sola frantumazione e additivo (filler), impastata a caldo in appositi impianti con bitume modificato e talvolta con aggiunta di fibre organiche o minerali. Questo conglomerato, chiuso e totalmente impermeabile agli strati sottostanti, viene proposto in alternativa al drenante fonoassorbente per le maggiori possibilità di applicazione e per una più semplice manutenzione. Esso è stato studiato per: migliorare l'aderenza, impermeabilizzare la struttura sottostante ed attenuare il rumore di rotolamento dei pneumatici.

Dal punto di vista acustico la pavimentazione, essendo di tipo chiuso, non mostra particolari caratteristiche assorbenti, con un modesto assorbimento per frequenze superiori a 3000 Hz. Questa caratteristica è mutata nel tempo in quanto l'assorbimento è complessivamente diminuito negli anni, e questo a causa dell'assestamento della pavimentazione. Per quanto riguarda l'emissione da interazione di contatto/pneumatico si osserva nel tempo un progressivo aumento della rumorosità e dopo quattro anni la riduzione si è attestata su circa 3 dB(A). Per quanto riguarda la rumorosità a bordo strada, i risultati confermano in pieno quanto visto con le misure CPX, ovvero un progressivo peggioramento della rumorosità della pavimentazione. Si è osservato sia per l'emissione di contatto ruota/pavimentazione che a bordo strada un lieve spostamento dello spettro di emissione verso le basse frequenze.

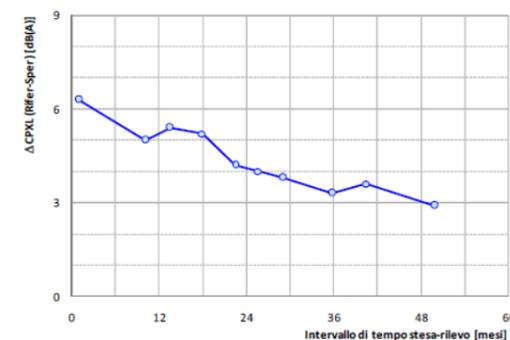
Immagine indicativa



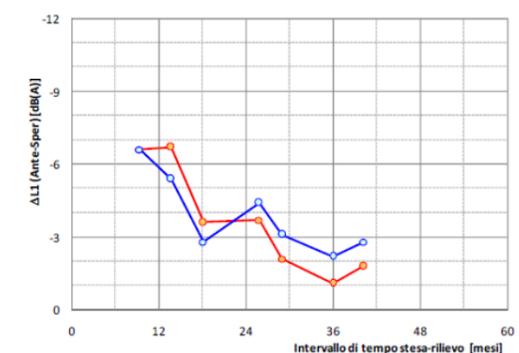
Curva granulometrica – strato di usura



Rumore da rotolamento – CPX



Livello di rumore a bordo strada – SPB



Fonte: Progetto Leopoldo

Link: [www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012](http://www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012)

## 1. PAVIMENTAZIONE A BASSA RUMOROSITA'

**Campo di applicazione:** extra-urbano

<b>1.3 STRATO DI USURA TIPO DENSE GRADED</b>	<b>Sito di studio:</b> Lucca <b>Località:</b> Maggiano		<b>Strada:</b> SRT 439 <i>Sarzanese Valdera</i> <b>Progressiva:</b> km 21+786/21+986		<b>Tipologia del sito:</b> pianeggiante <b>Quota:</b> 50 m s.l.m. Campo di applicazione:		
	<b>STRATO</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>MATERIALE</b>				
	USURA	3 cm	Manto di usura a tessitura ottimizzata realizzato con conglomerato bituminoso tipo dense graded				
	BINDER	5 cm	Strato di binder realizzato con conglomerato bituminoso tradizionale a caldo				
<b>Composizione della sovrastruttura</b>	BASE	10 cm	Strato di base ottenuto dal riciclaggio a freddo con emulsione e cemento di conglomerati fresati				
<b>Dati di traffico</b>		Volumi orari		Veicoli leggeri		% Veicoli pesanti	
TGM		2374		2223		6.4	
<b>Rumore da rotolamento – CPX a 50 km/h</b>							
Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilevo [mesi]	Sito di riferimento (Srif) [dB(A)]	Sito sperimentale (Ssp) [dB(A)]	Differenza Srif-Ssp [dB(A)]			
Luglio 2008	1	91.6	87.1	4.5			
Luglio 2012	50	93.7	88.8	4.9			
<b>Livello di rumore a bordo strada – SPB a 50 km/h</b>							
Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilevo [mesi]	Livelli di rumore L1 a 50 km/h [dB(A)]					
		L <sub>1</sub> a h= 1.2 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 1.2 m	L <sub>1</sub> a h= 3.0 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 3.0 m		
febbraio-06	Ante operam	68.3		71.4			
febbraio-09	9	64.6	-3.7	66.5	-4.9		
luglio-09	14	63.6	-4.7	65.2	-6.2		
ottobre-09	17	65.8	-2.5	68.3	-3.1		
aprile-10	23	63.8	-4.5	66.1	-5.3		
maggio-11	36	64.2	-4.1	67.0	-4.4		
settembre-11	40	64.5	-3.8	67.1	-4.3		
agosto-12	51	64.8	-3.5	67.5	-3.9		

## Pavimentazione a bassa rumorosità

### Strato di usura tipo dense graded

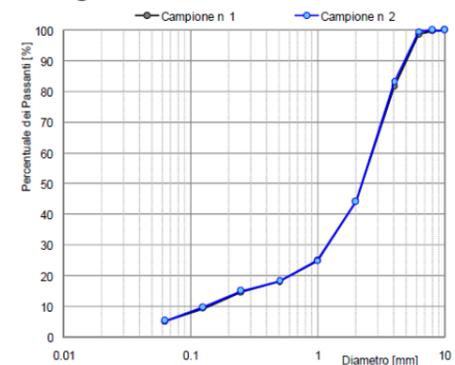
I manti di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded sono delle miscele di conglomerato bituminoso di tipo chiuso con caratteristiche granulometriche tali da ridurre, rispetto a manti di usura di tipo tradizionale, le emissioni sonore generate dal contatto ruota/pavimentazione. La riduzione del rumore da rotolamento è dovuta esclusivamente al particolare assortimento granulometrico, che consente di ottenere manti di usura con caratteristiche di tessitura tali da ridurre il rumore prodotto dai fenomeni di risonanza che si generano al contatto ruota/pavimentazione. Per questo motivo si parla di manti di usura a tessitura ottimizzata tipo dense graded.

Dal punto di vista acustico la pavimentazione, essendo di tipo chiuso, non mostra nel tempo alcun assorbimento degno rilievo, con un modesto assorbimento iniziale a 500 Hz subito scomparso. Per quanto riguarda l'emissione da interazione di contatto pneumatico/pavimentazione si osserva nel tempo un andamento non perfettamente costante nel tempo, comunque con differenze rispetto al riferimento comprese tra 4 e 5 dB(A), e dopo quattro anni tale riduzione si è attestata su circa 5 dB(A). Per quanto riguarda la rumorosità a bordo strada, i risultati confermano in pieno quanto visto con le misure CPX, ovvero una sostanziale costanza delle differenze ante-post, superiori a 4 dB(A) dopo quattro anni, anche se la misura è caratterizzata da una grossa fluttuazione statistica. Per quanto riguarda lo spettro di frequenza del rumore generato dalla pavimentazione nel caso di misure CPX si osserva la sostanziale uguaglianza fra lo spettro ante e quello post-operam, con una leggera preponderanza delle basse frequenze, mentre per quanto concerne le misure a bordo strada si nota una marcata predominanza delle basse frequenze nella pavimentazione a bassa rumorosità.

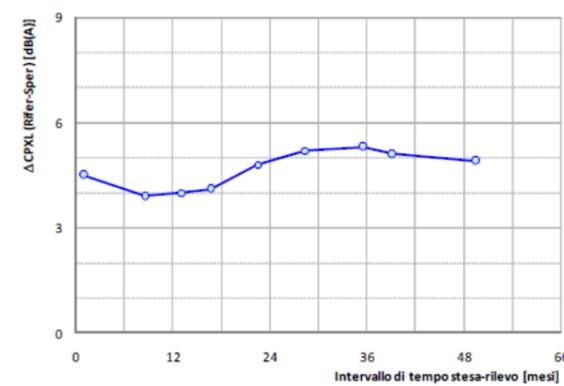
Immagine indicativa



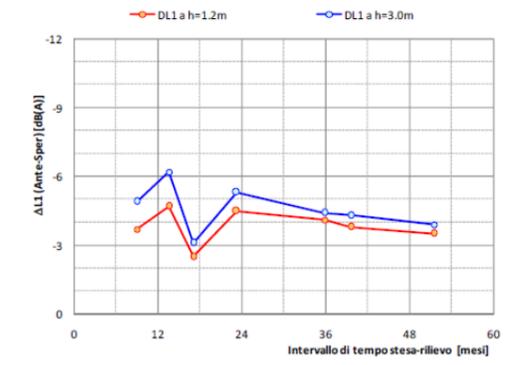
Curva granulometrica – strato di usura



Rumore da rotolamento – CPX



Livello di rumore a bordo strada – SPB



Fonte: Progetto Leopoldo

Link: [www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012](http://www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012)

## 2. PAVIMENTAZIONE A BASSA RUMOROSITA'

**Campo di applicazione:** extra-urbano

<b>1.4 STRATO DI USURA SPECIALE TIPO MICROTAPPETO</b>	<b>Sito di studio:</b> Massa Carrara	<b>Strada:</b> SRT 445 <i>della Garfagnana</i>	<b>Tipologia del sito:</b> montano
	<b>Località:</b> Codiponte	<b>Progressiva:</b> km 63+345/63+545	<b>Quota:</b> 280 m s.l.m.

<b>Composizione della sovrastruttura</b>	STRATO	SPESSORE	MATERIALE
	USURA	2 cm	Manto di usura speciale tipo microtappeto
	BINDER	6 cm	Strato di binder realizzato con conglomerato bituminoso tradizionale a caldo
	BASE	10 cm	Strato di base realizzato con conglomerato bituminoso tradizionale a caldo

<b>Dati di traffico</b>	Volumi orari	Veicoli leggeri	% Veicoli pesanti
TGM	781	657	15.9

### Rumore da rotolamento – CPX a 50 km/h

Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilievo [mesi]	Sito di riferimento (Srif) [dB(A)]	Sito sperimentale (Ssp) [dB(A)]	Differenza Srif-Ssp [dB(A)]
Novembre 2010	1	96.4	89.3	7.1
Luglio 2012	21	94.3	88.6	5.7

### Livello di rumore a bordo strada – SPB a 50 km/h

Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilievo [mesi]	Livelli di rumore L1 a 50 km/h [dB(A)]			
		L <sub>1</sub> a h= 1.2 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 1.2 m	L <sub>1</sub> a h= 3.0 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 3.0 m
ottobre-06	Ante operam	68.2		68.1	
maggio-11	7	65.0	-3.2	65.7	-2.4
settembre-11	12	63.1	-5.1	63.8	-4.3
luglio-12	22	62.8	-5.4	63.7	-4.4

## Pavimentazione a bassa rumorosità

### Strato di usura speciale tipo microtappeto

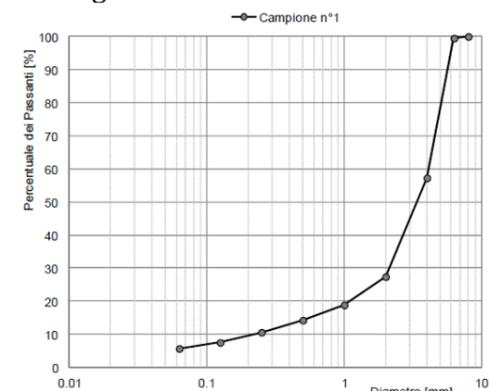
I manti di usura tipo microtappeto vengono impiegati per la realizzazione di manti di usura speciali a bassa emissione sonora.

Si tratta di miscele tipo open graded che grazie alle particolari caratteristiche granulometriche e alla elevata qualità dei materiali costituenti, consentono di ottimizzare le prestazioni acustiche senza pregiudicare la durabilità, la stabilità e la sicurezza della circolazione. Il contributo fornito alla sicurezza stradale da questi manti è elevato e ciò suggerisce una loro maggiore applicazione sia nella costruzione di nuove pavimentazioni, sia nel rifacimento del manto di usura i pavimentazioni esistenti. Il microtappeto si utilizza per realizzare manti di usura dello spessore compreso tra 20-25 mm, caratterizzati da una elevata rugosità superficiale, parzialmente drenanti e fonoassorbenti. Dal punto di vista acustico la pavimentazione, essendo di tipo aperto, mostra inizialmente un buon assorbimento, che lentamente è diminuito nel tempo a causa della progressiva otturazione dei vuoti. Si passa da un assorbimento iniziale massimo di 0.63 fino a 0.19 misurato nella sessione di luglio 2012. Lo spettro inizialmente presenta un primo picco di assorbimento a 800 Hz ed un secondo picco, leggermente più stabile nel tempo, a 1600 Hz. Per quanto riguarda l'emissione da interazione di contatto pneumatico/pavimentazione si osserva nel tempo una lenta diminuzione della differenza rispetto al riferimento, ma comunque pari a 5.7 dB(A) (differenza misurata nel corso della sessione di luglio 2012). Per quanto riguarda la rumorosità a bordo strada, i risultati confermano in pieno quanto visto con le misure CPX, ovvero una progressiva attenuazione della differenza ante-post, che comunque si aggira su circa 5.4 dB(A) dopo due anni dalla stesa, anche se la misura è caratterizzata da una grossa fluttuazione statistica a causa dei bassi volumi di traffico presenti e della forte variabilità nei modi di guida dei veicoli misurati. Per quanto riguarda lo spettro di frequenza del rumore generato dalla pavimentazione nel caso delle misure CPX si osserva la sostanziale predominanza delle basse frequenze, con il caratteristico picco di emissione compreso fra 630 e 800 Hz.

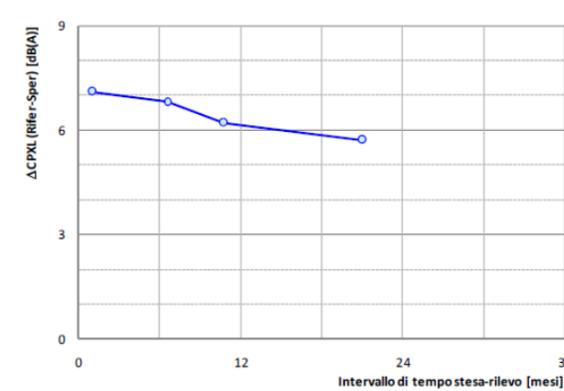
Immagine indicativa



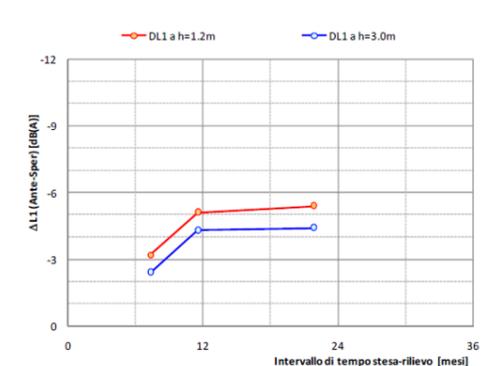
Curva granulometrica – strato di usura



Rumore da rotolamento – CPX



Livello di rumore a bordo strada – SPB



Fonte: Progetto Leopoldo

Link: [www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012](http://www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012)

## 1. PAVIMENTAZIONE A BASSA RUMOROSITA'

**Campo di applicazione:** extra-urbano

<b>1.5 STRATO DI USURA TIPO DENSE GRADED CON ARGILLA ESPANSA</b>	<b>Sito di studio:</b> Pisa <b>Località:</b> La Sterza		<b>Strada:</b> SRT 439 <i>Sarzanese Valdera</i> <b>Progressiva:</b> km 79+208/79+408		<b>Tipologia del sito:</b> pianeggiante <b>Quota:</b> 60 m s.l.m.		
	STRATO	SPESSORE	MATERIALE				
	USURA	4 cm	Manto di usura realizzato con conglomerato bituminoso tipo dense graded con argilla espansa				
	BINDER	5 cm	Strato di binder realizzato con conglomerato bituminoso ad elevata durata a fatica				
<b>Composizione della sovrastruttura</b>	BASE	15 cm	Strato di base ottenuto da stabilizzazione con bitume schiumato e cemento di materiali ottenuti dalla pavimentazione esistente				
<b>Dati di traffico</b>		Volumi orari		Veicoli leggeri		% Veicoli pesanti	
TGM		2616		2171		17	
<b>Rumore da rotolamento – CPX a 50 km/h</b>							
Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilievo [mesi]	Sito di riferimento (Srif) [dB(A)]	Sito sperimentale (Ssp) [dB(A)]	Differenza Srif-Ssp [dB(A)]			
Luglio 2010	1	97.6	91.2	6.4			
Luglio 2012	25	95.9	92.3	3.6			
<b>Livello di rumore a bordo strada – SPB a 50 km/h</b>							
Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilievo [mesi]	Livelli di rumore L1 a 50 km/h [dB(A)]					
		L <sub>1</sub> a h= 1.2 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 1.2 m	L <sub>1</sub> a h= 3.0 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 3.0 m		
marzo-06	Ante operam	71.4		74.2			
agosto-10	3	61.7	-9.7	62.7	-11.5		
novembre-10	5	64.8	-6.6	64.8	-9.4		
maggio-11	12	70.8	-0.6	69.6	-4.6		
agosto-11	15	70.9	-0.5	70.7	-3.5		
agosto-12	27	72.2	0.8	72.3	-1.9		

### Pavimentazione a bassa rumorosità

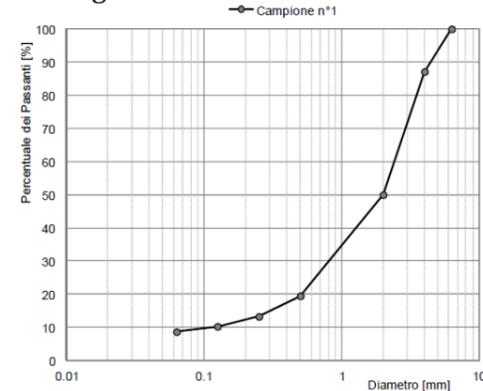
#### Strato di usura tipo dense graded con argilla espansa

I manti di usura tipo dense graded con argilla espansa sono delle miscele di conglomerato bituminoso tradizionali in cui parte dell'inerte è costituito da argilla espansa. L'impiego di questo materiale nella realizzazione dello strato superficiale della sovrastruttura consente di ottenere manti di usura di tipo chiuso con caratteristiche granulometriche tali da ridurre, rispetto a manti di usura di tipo tradizionale, le emissioni sonore generate dal contatto ruota/pavimentazione, da migliorare le caratteristiche di aderenza e ridurre le emissioni di rumore da rotolamento rispetto ai manti di usura di tipo tradizionale chiusi confezionati con soli inerti naturali. Un tale miglioramento, in termini di aderenza, è dovuto alla elevata microrugosità superficiale che presentano le particelle di argilla espansa, mentre la riduzione delle emissioni sonore è dovuta esclusivamente alla forma sferica delle singole particelle di argilla espansa che consente di ottenere manti di usura con caratteristiche di tessitura tali da ridurre il rumore prodotto dai fenomeni di risonanza che si generano al contatto ruota/pavimentazione. La composizione granulometrica della miscela deve essere studiata in volume e non in massa; ciò è essenziale, in fase di progettazione della miscela per considerare correttamente la differente massa volumetrica della componente litica e dell'argilla espansa. Dal punto di vista acustico la pavimentazione, essendo di tipo chiuso, non mostra nel tempo alcun assorbimento degno di rilievo. Per quanto riguarda l'emissione da interazione di contatto pneumatico/pavimentazione si osserva nel tempo una progressiva diminuzione della differenza di rumorosità fra pavimentazione speciale e pavimentazione di riferimento da un iniziale valore di 6.4 dB(A) al valore misurato nella sessione di luglio 2012 di 3.6 dB(A). Per quanto riguarda invece la rumorosità a bordo strada, i risultati mostrano un drastico peggioramento della differenza ante-post, passata da un' iniziale differenza di 9.7 dB(A) e arrivata a valori prossimi (e superiori) a 0 dB(A) nella sessione di misura di agosto 2012. Per quanto riguarda lo spettro di emissione di contatto ruota/pavimentazione non si è riscontrata alcuna differenza apprezzabile rispetto allo spettro della pavimentazione di riferimento.

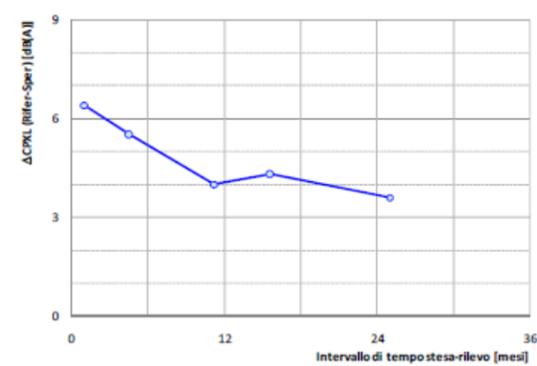
Immagine indicativa



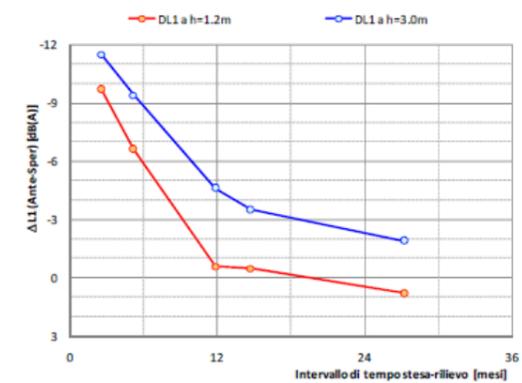
Curva granulometrica – strato di usura



Rumore da rotolamento – CPX



Livello di rumore a bordo strada – SPB



Fonte: Progetto Leopoldo

Link: [www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012](http://www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012)

## 1. PAVIMENTAZIONE A BASSA RUMOROSITA'

Campo di applicazione: extra-urbano

<b>1.6 STRATO DI USURA GAP GRADED CON AGGIUNTA DI POLIMERI SBR/NR</b>	<b>Sito di studio:</b> Pistoia	<b>Strada:</b> SRT 66	<b>Tipologia del sito:</b> montano
	<b>Località:</b> Le Panche	<i>Pistoiese</i> <b>Progressiva:</b> km 53+908/54+056	

Composizione della sovrastruttura	STRATO	SPESSORE	MATERIALE
	USURA	3 cm	Manto di usura realizzato con conglomerato bituminoso gap graded confezionato con bitume modificato mediante l'aggiunta di polimeri SBR/NR secondo processo wet
	BINDER	6 cm	Strato di binder realizzato con conglomerato bituminoso gap graded confezionato con bitume modificato mediante l'aggiunta di polimeri SBR/NR secondo processo wet
	BASE	10 cm	Strato di base realizzato con conglomerato bituminoso tradizionale a caldo + SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer)

Dati di traffico	Volumi orari	Veicoli leggeri	% Veicoli pesanti
TGM	2403	2062	14.2

### Rumore da rotolamento – CPX a 50 km/h

Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilievo [mesi]	Sito di riferimento (Srif) [dB(A)]	Sito sperimentale (Ssp) [dB(A)]	Differenza Srif-Ssp [dB(A)]
Luglio 2010	1	97.5	93.3	4.2
Luglio 2012	25	97.4	92.9	4.5

### Livello di rumore a bordo strada – SPB a 50 km/h

Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilievo [mesi]	Livelli di rumore L1 a 50 km/h [dB(A)]			
		L <sub>1</sub> a h= 1.2 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 1.2 m	L <sub>1</sub> a h= 3.0 m	ΔL <sub>1</sub> a h= 3.0 m
novembre-05	Ante operam	72.6		74.1	
agosto-10	2	64.3	-8.3	65.4	-8.7
ottobre-10	5	64.0	-8.6	63.9	-10.2
maggio-11	12	68.7	-3.9	71.8	-2.3
settembre-11	15	68.2	-4.4	71.6	-2.5
luglio-12	26	67.3	-5.3	69.8	-4.3

## Pavimentazione a bassa rumorosità

Strato di usura gap graded con bitume modificato con aggiunta di polimeri SBR/NR secondo processo wet

I manti di usura tipo gap graded sono delle miscele che grazie alle particolari caratteristiche granulometriche e alla elevata qualità dei materiali costituenti, consentono di ottenere buone prestazioni in termini di durabilità, prestazioni meccaniche e sicurezza stradale. Il contributo fornito alla sicurezza stradale da questi manti è elevato e ciò suggerisce una loro maggiore applicazione sia nella costruzione di nuove pavimentazioni, sia nel rifacimento del manto di usura di pavimentazioni esistenti.

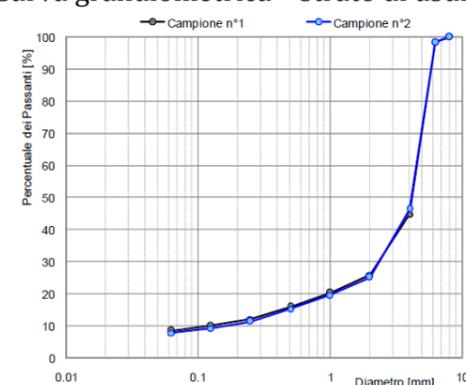
I conglomerati gap graded additivi con polimeri SBR/NR sono tappeti di usura antisdrucciolo, aventi spessori in opera di almeno 30mm, costituiti da una miscela di pietrischetti, frantumati, sabbie di sola frantumazione e additivo (filler), impastata a caldo in appositi impianti con bitume modificato con polimeri SBR/NR. Il legante impiegato per il confezionamento della miscela consiste in un bitume modificato con polimero di gomma riciclata di pneumatici fuori uso, incorporata nel bitume tramite processo wet. Questo conglomerato, chiuso e totalmente impermeabile agli strati sottostanti, è stato studiato per migliorare l'aderenza e impermeabilizzare la struttura sottostante.

Dal punto di vista acustico la pavimentazione, essendo di tipo chiuso, non mostra nel tempo alcun assorbimento degno di rilievo, con un modesto assorbimento iniziale a 630 Hz subito scomparso, ma con una variabilità evidente dei livelli di assorbimento nel tempo che fa sì che vi sia una forte deviazione standard temporale. Per quanto riguarda l'emissione da interazione di contatto/pneumatico si osserva un andamento non perfettamente costante nel tempo, comunque con differenze rispetto al riferimento comprese fra 4.4 e 5.2 dB(A), e dopo due anni tale riduzione si attesta su circa 4.6 dB(A). Per quanto riguarda la rumorosità a bordo strada, i risultati confermano in pieno quanto visto con le misure CPX, ovvero una sostanziale variabilità nel tempo delle differenze ante-post, con una grossa fluttuazione statistica dei risultati. La differenza dei livelli misurati ante-post dell'indice SPB L1 varia da 3.9 (maggio 2011) a 5.3 dB(A) (luglio 2012). Per quanto riguarda lo spettro di frequenza del rumore generato dalla pavimentazione nel caso delle misure CPX si osserva la sostanziale eguaglianza fra lo spettro ante e post operam, con una preponderanza delle alte frequenze, mentre per quanto concerne le misure bordo strada, si evidenzia una sostanziale uguaglianza fra gli spettri ante e post-operam.

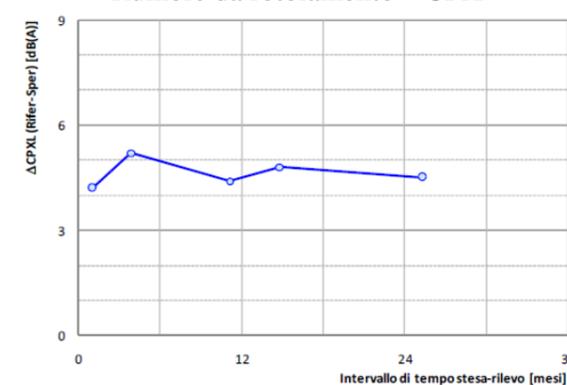
Immagine indicativa



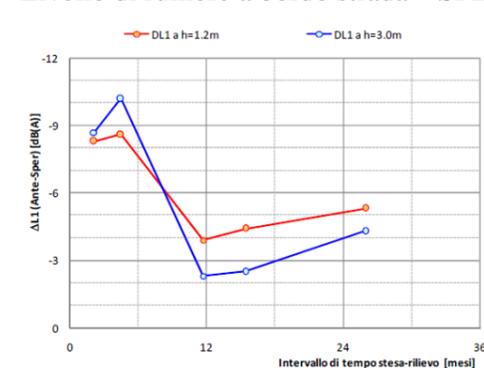
Curva granulometrica – strato di usura



Rumore da rotolamento – CPX



Livello di rumore a bordo strada – SPB



Fonte: Progetto Leopoldo

Link: [www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012](http://www.arpat.toscana.it/documentazione/report/progetto-leopoldo201d-relazione-finale-fase-ii-2012)

2. INTERVENTI SUL TRAFFICO		
<b>2.1 CHICANE/RESTRINGIMENTI</b>		
<b>Campo applicativo:</b> urbano		
<b>Vantaggi</b>	- mitigazione del rumore dovuto al rallentamento del flusso di traffico.	
<b>Svantaggi</b>	- rallentamento del flusso di traffico con eventuali disagi alla circolazione.	
<b>Risultati attesi</b>		
Aspetto	Effetti	Fonte
Rumore	1-2 dBA (in conseguenza di una riduzione di velocità media di circa 10 km/h)	
Qualità dell'aria		
Salute		

## Interventi sul traffico

### Chicane/restringimenti

La realizzazione del restringimento della carreggiata (chicane) nei tratti stradali con velocità di scorrimento elevata consente un generale rallentamento dell'andatura dei veicoli, dovuta alla riduzione della sezione di strada utile per l'ingombro dei mezzi o alla imposta deviazione di percorso e, di conseguenza, alla maggior cautela nella condotta di guida da parte dei conducenti.

Con la realizzazione dei restringimenti di carreggiata, si creano inoltre le condizioni favorevoli per l'eventuale realizzazione di tratti di piste ciclabili in ambito urbano.

La soluzione prevede in generale la riduzione della velocità mantenendo una condotta di guida fluida ed evitando quindi la creazione di situazioni tipo "stop and go" (andamento intermittente da evitare perché comporta un incremento della rumorosità).

Dal punto di vista acustico, la soluzione comporta quindi una generale diminuzione dell'emissione sonora dei veicoli, in particolare dei veicoli leggeri, proporzionale alla riduzione di velocità media del flusso.

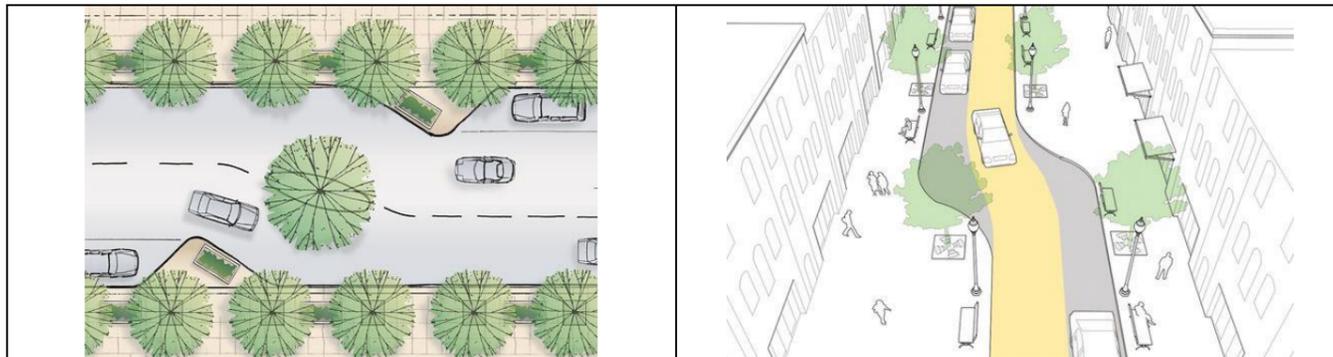


Figura: Illustrazioni schematiche di una chicane  
Fonte: NACTO Urban Street Design Guide

## 2. INTERVENTI SUL TRAFFICO

### 2.2 ROTATORIE

**Campo applicativo:** urbano ed extra-urbano

<b>Vantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mitigazione del rumore dovuto al rallentamento del flusso di traffico;</li> <li>- regolazione del traffico con diminuzione delle entità degli incidenti;</li> <li>- maggiori possibilità di effettuare inversioni del senso di marcia in tutta sicurezza.</li> </ul>	
<b>Svantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- impossibilità di realizzare tratti con coordinamenti semaforici e corsie preferenziali;</li> <li>- per i mezzi a due ruote aumenta il rischio di incidentalità;</li> <li>- per fluidificare il traffico, gli attraversamenti pedonali vengono spostati lontano dalle intersezioni, costringendo i pedoni a lunghe deviazioni.</li> </ul>	
<b>Risultati attesi</b>		
Aspetto	Effetti	Fonte
Rumore	circa 2-3 dB(A) a bordo strada, in corrispondenza dell'intersezione	Progetto SONORUS Progetto HUSH (report Azione 5)
Qualità dell'aria		
Salute		

## Interventi sul traffico

### Rotatorie

La rotatoria è una particolare intersezione a raso, caratterizzata dalla presenza di un'area centrale circolare e inaccessibile, circondata da un anello, percorribile in una sola direzione ed in senso antiorario dal traffico normalmente proveniente da più entrate e diretto a più uscite.

Le rotatorie hanno trovato un grande impiego in questi ultimi anni in molti contesti in ambito urbano ed extraurbano grazie a una serie di punti di forza:

- diminuzione della velocità di percorrenza del tratto stradale dove è posizionata la rotatoria;
- diminuzione dei punti di conflitto fra i veicoli e perciò dei sinistri stradali e della loro gravità;
- fluidificazione del traffico grazie alla completa eliminazione dei tempi morti;
- attenuazione della rumorosità e dell'inquinamento dell'aria rispetto agli incroci semaforizzati;
- possibilità per i mezzi pesanti (e non) di compiere in sicurezza la manovra di inversione di marcia;
- migliore aspetto architettonico della strada nell'intersezione.



Figura: Illustrazione di un incrocio con rotatoria  
Fonte: NACTO Urban Street Design Guide

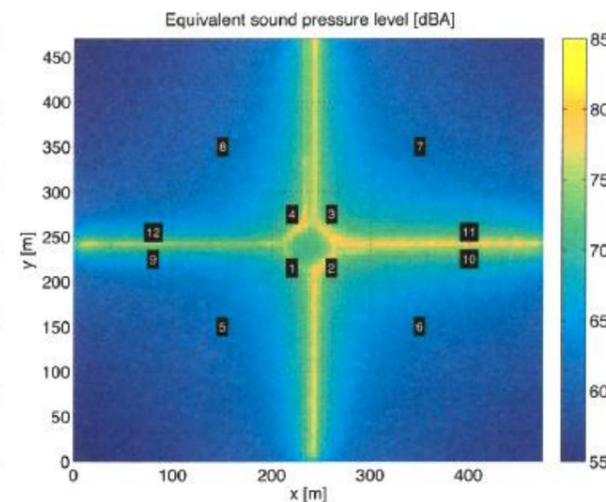
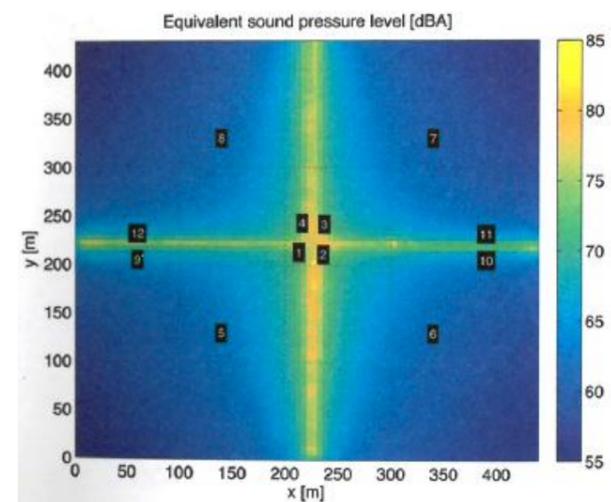
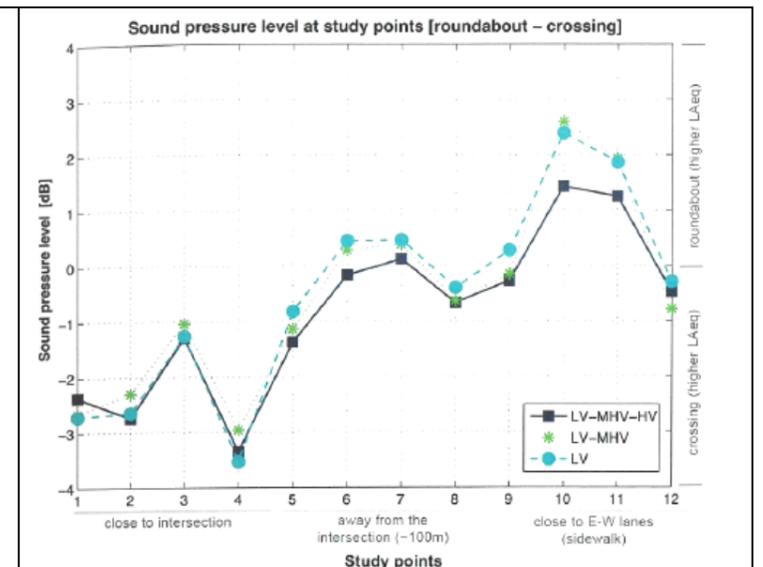


Figura: Livelli di pressione sonora in prossimità di un incrocio di tipo tradizionale e di una rotatoria  
Fonte: Progetto SONORUS  
Link: [www.fp7sonorus.eu](http://www.fp7sonorus.eu)



## 2. INTERVENTI SUL TRAFFICO

### 2.3 DOSSI RALLENTATORI/ATTRAVERSAMENTI PEDONALI RIALZATI

**Campo applicativo:** urbano

<b>Vantaggi</b>	- mitigazione del rumore dovuto al rallentamento del flusso di traffico; - costi di realizzazione contenuti; - nel caso di attraversamenti pedonali rialzati, possibilità per i pedoni di attraversare in sicurezza.
<b>Svantaggi</b>	- rallentamento del flusso di traffico con eventuali disagi alla circolazione; - i dossi di tipo tradizionale, se percorsi ad elevata velocità possono provocare dei picchi di rumorosità durante il transito del veicolo.

#### Risultati attesi

Aspetto	Effetti	Fonte
Rumore		
Qualità dell'aria		
Salute		

## Interventi sul traffico

### Dossi rallentatori/attraVERSAMENTI pedonali rialzati

Un dosso rallentatore è costituito da elementi in rilievo, a profilo convesso, posizionati sulla carreggiata. Vengono installati con l'obiettivo di indirizzare il guidatore a moderare la velocità nel tratto stradale di interesse creando una discontinuità visiva (interrompendo la linearità del percorso) e fisica (costringendo i veicoli a superare un dislivello). Dovrebbero essere installati in serie per dare continuità all'azione di riduzione di velocità scoraggiando decelerazioni e accelerazioni puntuali.

La norma di riferimento (Art. 42 Codice della strada e Art. 179 del Regolamento) ne prevede l'utilizzo per strade dove vige un limite di velocità di 50 km/h o inferiore ed è importante che siano presegnalati con sufficiente anticipo.

I dossi rallentatori possono presentare alcune controindicazioni sia dal punto di vista della sicurezza che acustico. Essi infatti, specie se isolati, possono indurre il fenomeno dello "stop and go", ovvero continue frenate e successive accelerazioni causando in tal modo, oltre a maggiori emissioni di gas di scarico, anche un incremento localizzato della rumorosità. Inoltre, se attraversati a grande velocità o comunque se presentano rampe ad elevata pendenza, possono provocare rumori impulsivi, specialmente nel passaggio di mezzi pesanti come camion o tir con rimorchio.

I dossi rallentatori variano in altezza da circa 5 a quasi 15 cm e in larghezza da meno di 30 cm a quasi 3 metri (questi ultimi sono spesso impiegati come attraversamenti pedonali).

L'attraversamento pedonale rialzato consiste in una sopraelevazione della carreggiata, con rampe di raccordo a pendenza ridotta nel senso longitudinale alla marcia dei veicoli, realizzata per dare continuità (di quota) al marciapiede ed al percorso pedonale in corrispondenza di un attraversamento pedonale. Sono spesso utilizzati in ambito urbano perché consentono ai veicoli di rallentare, senza scuoterli violentemente, ed il miglioramento della visibilità.



Figura: Illustrazione di un dosso rallentatore  
Fonte: NACTO Urban Street Design Guide



Figura: Immagine indicativa di un dosso rallentatore

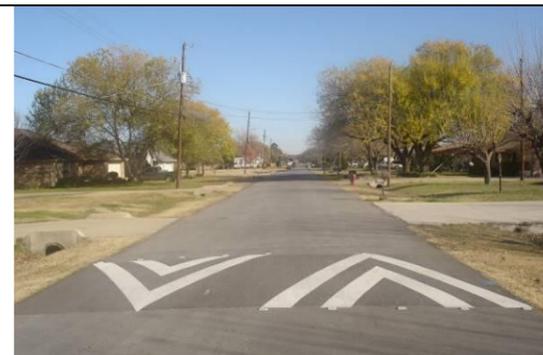


Figura: Immagine indicativa di un dosso rallentatore



Figura: Attraversamento pedonale rialzato- Area Brozzi- Quaracchi (Firenze)  
Fonte: Progetto HUSH  
Link: [www.hush-project.eu](http://www.hush-project.eu)

2. INTERVENTI SUL TRAFFICO		
2.4 ISOLE DI TRAFFICO		
Campo applicativo: urbano		
Vantaggi	- moderazione del traffico e impedimento di manovre come sorpassi; - miglioramento della sicurezza dei pedoni nell'attraversare la carreggiata;	
Svantaggi	- se la larghezza della carreggiata non è adeguata e non sono ben segnalate, possono costituire un ostacolo alla circolazione.	
Risultati attesi		
Aspetto	Effetti	Fonte
Rumore		
Qualità dell'aria		
Salute		

## Interventi sul traffico

### Isole di traffico

Le isole di traffico sono una struttura molto utile sia per la sicurezza dei pedoni nell'attraversare la carreggiata (soprattutto se larga e trafficata) sia per moderare il traffico e impedire i sorpassi. Generalmente infatti, nelle strade di ampia larghezza e continui flussi veicolari, si verificano elevanti tempi di attesa dei pedoni per l'attraversamento, che di solito oltrepassa una corsia di marcia per volta, trovandosi al centro della carreggiata in una posizione di elevato pericolo.

L'isola di traffico protegge il pedone al centro della strada, regolando i tempi di attesa del pedone e la scorrevolezza del traffico. Quando lo consente la sezione stradale, l'isola di traffico deve avere una larghezza di circa 2,00 metri, per proteggere anche bici e carrozzine.

Isole di traffico di minore larghezza possono essere utili ed efficienti soprattutto come moderazione del traffico quando:

- sono costruite in serie;
- sono collegate dalla segnaletica orizzontale di zebra inclinata;
- l'automobilista vede la serie e la zebra e adegua il comportamento prudente (modera la velocità e non sorpassa);
- l'insieme delle isole e delle zebre è una forte e chiara indicazione che la strada che si sta percorrendo è ad alta e diffusa presenza di pedoni.

Inoltre, le isole di traffico impediscono i sorpassi, soprattutto delle moto, che spesso non si fermano insieme alle auto nel momento dell'attraversamento del pedone.

Le isole di traffico sono più efficienti se accompagnate da una adeguata segnaletica verticale (meglio un ampio presegnalamento della presenza dell'isola con la zebra anticipata per circa 40-50 metri).

Per le "isole di traffico in serie" è consigliato mantenere costante la zebra che collega le successive isole.

Esse sono raccomandate anche quando non sono "perfette" (larghezza struttura di circa due metri, più righe di margine a 50 centimetri), ma in questo caso sono utili solo se realizzate in serie e con una perfetta segnaletica.

Un'isola di traffico isolata e con una segnaletica minimale fa diventare la struttura un pericoloso ostacolo.



Figure: Immagini indicative di isole di traffico

## 2. INTERVENTI SUL TRAFFICO

### 2.5 DISPOSITIVI PER IL CONTROLLO ELETTRONICO DELLA VELOCITA'

**Campo applicativo:** urbano ed extra-urbano

<b>Vantaggi</b>	- mitigazione del rumore dovuto al rallentamento del flusso di traffico.
<b>Svantaggi</b>	- la presenza dei dispositivi di velocità induce in molti guidatori un comportamento di guida scorretto (brusche frenate in prossimità del rilevatore di velocità) e un possibile aumento del numero di incidenti.

#### Risultati attesi

Aspetto	Effetti	Fonte
Rumore		
Qualità dell'aria		
Salute		

## Interventi sul traffico

### Dispositivi per il controllo elettronico della velocità

Si tratta di sistemi che consentono il controllo elettronico della velocità. Possono essere di tipo fisso o mobile.

I più comuni sono i **misuratori di velocità**: autovelox e tutor (SICVE). Il SICVE (Sistema informativo per il controllo della velocità), si distingue dai classici autovelox poiché rileva la velocità media dei veicoli. Esso è utilizzato principalmente sulle autostrade.

Altri sistemi per il controllo della velocità sono i **semafori dissuasori**, anche detti semafori intelligenti. Si tratta di particolari tipi di semafori la cui funzione primaria non è ripartire la precedenza tra i flussi incrociati della viabilità, ma quella di limitare la velocità di percorrenza dei veicoli. Attraverso un misuratore di velocità posto nelle immediate precedenze, il semaforo è in grado di riconoscere il veicolo che procede ad andatura troppo elevata e, in tal caso, attivare automaticamente la procedura segnalazione allo scopo di bloccare la marcia del detto veicolo. I semafori dissuasori sono, normalmente, dotati di apparecchio fotografico atto a identificare eventuali trasgressori.

Altri dispositivi di questo genere sono i **dissuasori** che segnalano la velocità di transito del veicolo in presenza di segnale verticale di limite di velocità. Essi funzionano come dissuasori psicologici, dal momento che consentono la lettura della velocità del veicolo in tempo reale.



Figura: Immagine indicativa di un misuratore di velocità (autovelox )



Figura: Immagine indicativa di un misuratore di velocità (tutor )



Figura: Immagine indicativa di un semaforo dissuasore



Figura: Immagine indicativa di un dissuasore di velocità

3. INTERVENTI STRATEGICI		
<b>3.1 PIANO DEL TRAFFICO</b>		
<b>Campo applicativo:</b> urbano		
<b>Vantaggi</b>	- riqualificazione del territorio; - riduzione della congestione del traffico in ambito urbano.	
<b>Svantaggi</b>	- necessità di effettuare uno studio preventivo della viabilità per garantire adeguati livelli di servizio su tutta la rete e previsione degli effetti di mitigazione acustica.	
<b>Risultati attesi</b>		
Aspetto	Effetti	Fonte
Rumore		
Qualità dell'aria		
Salute		

## Interventi strategici

### Piano Urbano del Traffico

Il Piano Urbano del Traffico (PUT), previsto dall'art. 36 del nuovo Codice della strada, è obbligatorio per i comuni con più di 30.000 abitanti ed è costituito da un insieme coordinato di interventi per il miglioramento delle condizioni della circolazione stradale nell'area urbana, dei pedoni, dei mezzi pubblici e dei veicoli privati, realizzabili e utilizzabili nel breve periodo e nell'ipotesi di dotazioni di infrastrutture e mezzi di trasporto sostanzialmente invariate.

Lo studio della viabilità è interconnesso con la mappatura acustica. Solo una valutazione complessiva e strategica del piano del traffico consente di ottimizzare la distribuzione dei flussi di traffico e quindi ridurre l'esposizione al rumore della popolazione.

Interventi significativi sul piano del traffico che portano ad una riduzione dell'esposizione al rumore, prevedono ad esempio una regolamentazione dell'accesso dei mezzi - in particolare quelli pesanti - nelle aree a più alta densità di edifici residenziali, e una distribuzione di tali flussi di traffico nelle tangenziali e nelle circonvallazioni progettate in generale a maggior distanza e schermate dalle aree abitate.

3. INTERVENTI STRATEGICI		
<b>3.2 MEZZI PUBBLICI ELETTRICI</b>		
<b>Campo applicativo:</b> urbano		
<b>Vantaggi</b>	- riduzione dell'inquinamento acustico e dell'aria.	
<b>Svantaggi</b>	-bassa capacità di trasporto; -autonomia limitata dei mezzi.	
<b>Risultati attesi</b>		
Aspetto	Effetti	Fonte
Rumore	Dipende dalla composizione del flusso del traffico prima e dopo l'introduzione dei mezzi elettrici	
Qualità dell'aria		
Salute		

## Interventi strategici

### Mezzi pubblici elettrici

I mezzi pubblici elettrici su gomma sono una soluzione strategica molto interessante e in crescita in ambito urbano, nonostante la bassa capacità di trasporto di questi veicoli e le necessità logistiche legate alla necessità di ricaricare le batterie.

La logica emergente è quella di fornire un servizio di trasporto pubblico nei centri storici chiusi al traffico privato. La soluzione non è volta a soppiantare i mezzi pubblici esistenti, quanto ad integrarli, laddove generalmente si ricorre al solo trasporto privato.

Tuttavia, l'elevato costo delle vetture scoraggia gli investimenti nel settore.

3. INTERVENTI STRATEGICI		
<b>3.3 ZONA 30</b>		
<b>Campo applicativo:</b> urbano		
<b>Vantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aumento della sicurezza stradale;</li> <li>- riduzione della fase di accelerazione, con conseguente diminuzione del consumo di carburante e di emissioni inquinanti;</li> <li>- riduzione dei volumi di traffico;</li> <li>- riduzione della rumorosità dovuta al traffico;</li> <li>- incentivo a percorrere l'area, per spostamenti brevi, a piedi o in bicicletta evitando l'utilizzo dell'auto.</li> </ul>	
<b>Svantaggi</b>		
<b>Risultati attesi</b>		
Aspetto	Effetti	Fonte
Rumore	Indicativamente 3-4 dBA nella zona 30, ma dipende dallo specifico scenario di intervento.	
Qualità dell'aria		
Salute		

## Interventi sul traffico

### Zona 30

La Zona 30 è una forma di intervento urbanistico per la moderazione del traffico nella viabilità urbana.

È stata introdotta in Italia nel 1995 all'interno delle Direttive per la redazione dei Piani Urbani del Traffico (PUT).

Come si evince dal nome, la Zona 30 è quell'area della rete stradale urbana dove il limite di velocità è di 30 km/h invece dei normali 50 km/h previsti dal codice stradale in ambito urbano.

La minore velocità consentita permette una migliore convivenza tra auto, biciclette e pedoni.

Le Zone 30 si possono realizzare in qualsiasi città, se si ha l'accortezza di avere strade adiacenti con velocità di percorrenza non superiori a 50 km/h.

Se non è così, ad esempio se si hanno strade con velocità di percorrenza di 70 km/h, occorre prevedere zone con velocità intermedie di 50 km/h.

Nelle Zone 30 il progetto deve prevedere interventi che favoriscono pedoni e ciclisti come la riduzione dello spazio di circolazione automobilistica a favore dello spazio riservato alle piste ciclabili, ai percorsi pedonali e la creazione di aree adibite a scopi sociali.

Per favorire la riduzione della velocità dei veicoli occorre prevedere una serie di interventi strutturali sul traffico (chicane, restringimenti della carreggiata, attraversamenti pedonali rialzati, rotonde, isole spartitraffico, ecc..)

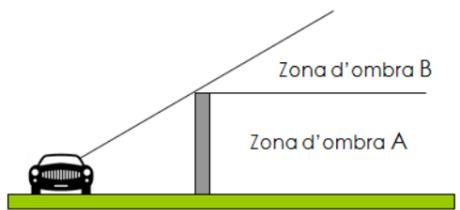


Figura: Immagine indicativa della segnalazione di una zona 30



Figura: Immagine indicativa della segnalazione di una zona 30 – area Brozzi-Quaracchi (Firenze)

Fonte: Progetto Hush  
Link: [www.hush-project.eu](http://www.hush-project.eu)

4. BARRIERA ANTIRUMORE		
4.1 BARRIERA ANTIRUMORE TRADIZIONALE		
<b>Campo applicativo:</b> urbano		
<b>Vantaggi</b>	- riduzione del rumore	
<b>Svantaggi</b>	- problematiche di inserimento nel contesto paesaggistico (impatto visivo); - complicazioni strutturali e costi di manutenzione.	
Risultati attesi		
Aspetto	Effetti	Fonte
Rumore	14 dB per i ricettori posti nella zona A dell'ombra; 7 dB per i ricettori posti nella zona B dell'ombra; 0 dB per i ricettori posti fuori dalla zona d'ombra. 	D.M. 29/11/2000
Qualità dell'aria	Riduzione delle concentrazioni di inquinanti atmosferici entro i 15-50 metri dal ciglio della strada: i livelli di concentrazione di inquinanti atmosferici, nella condizione sottovento, possono ridursi fino al 50% rispetto allo scenario senza la barriera a bordo strada.	National Collaborating Centre for Healthy Public Policy (Quebec) "Urban traffic calming and Health" (2011)
Salute		

## Barriera antirumore

### Barriera antirumore tradizionale

La barriera antirumore si frappone tra la sorgente ed il ricettore, impedendo la trasmissione dell'onda diretta. Le onde sonore raggiungono i ricettori solo in maniera attenuata per effetto della diffrazione di bordo.

Dal punto di vista acustico le barriere possono essere di tipo fonoassorbente (elevate capacità di assorbimento dell'onda sonora incidente) oppure di tipo fonoriflettente (es. barriere trasparenti in vetro o PMMA). L'efficacia della barriera dipende da:

- posizionamento: è opportuno tenerla il più vicino possibile alla sorgente sonora così da minimizzare l'altezza dell'opera;
- altezza (almeno tale da non permettere la visibilità fra sorgente e ricettore);
- lunghezza: per ridurre il più possibile gli effetti di diffrazione laterale che producono una perdita di attenuazione;
- spessore: riduce la quantità di energia diffratta che raggiunge il ricettore;
- fonoisolamento: dovrebbe essere tale da rendere trascurabile il contributo dell'energia trasmessa rispetto a quella che arriva per effetto della diffrazione;
- fonoassorbimento: per prevenire la riflessione del suono.

Per l'inserimento di una barriera acustica, bisogna tener presente anche il suo impatto visivo e paesaggistico. Le barriere acustiche si possono realizzare con pannelli di diverse tipologie (in legno, in metallo, in cemento, in materiali trasparenti, muri verdi, terrapieni, ecc..).



Figure: Immagini indicative di barriere antirumore

4. BARRIERE ANTIRUMORE		
4.2 BARRIERE BASSE ALLA SORGENTE		
Campo applicativo: urbano		
Vantaggi	- riduzione del rumore - impatto visivo contenuto	
Svantaggi	- costi di manutenzione	
Risultati attesi		
Aspetto	Effetti	Fonte
Rumore		Progetto SONORUS
Qualità dell'aria		
Salute		

## Barriere antirumore

### Barriere basse alla sorgente

Nell'ambito del Progetto SONORUS è stato analizzato l'effetto delle barriere basse posizionate sul bordo della carreggiata. I risultati riportano che le barriere basse alla sorgente:

- permettono un'attenuazione acustica limitata rispetto ai piani alti delle facciate degli edifici;
- comportano un'attenuazione di 4 dBA per i pedoni;
- se inclinate a 30 gradi hanno un beneficio maggiore nelle sezioni stradali tipo "canyon";
- rivestite con materiale fonoassorbente sul lato sorgente (scenario S2.3) comportano un'ulteriore riduzione di 2 dBA;
- rivestite con materiale fonoassorbente sul lato ricettore (scenario S2.2) sono meno efficaci;
- con l'aggiunta di materiale fonoassorbente anche sulla parte superiore della barriera (scenari S2.2 e S2.4) si ha un'ulteriore attenuazione di 1 dBA per i pedoni;
- l'attenuazione acustica massima raggiunta è di 9 dBA con tutte le superfici assorbenti (S2.5).  
Comunque, l'aggiunta di materiale fonoassorbente sulle barriere basse inclinate ha degli effetti differenti rispetto a quelle verticali:
- differenti trattamenti fonoassorbenti comportano una variazione di 2 dBA;
- lo scenario più performante acusticamente prevede l'aggiunta di materiale fonoassorbente sul lato ricettore e superiore della barriera;
- l'aggiunta di materiale fonoassorbente sul lato sorgente non ha effetti ulteriori di attenuazioni acustiche nel caso delle barriere inclinate;
- il rivestimento fonoassorbente non riduce ulteriormente il rumore per i pedoni;
- la depressione della strada non ha effetti se le superfici sono dritte e riflettenti;
- L'aggiunta di una barriera inclinata sul bordo riduce il rumore di 7 dBA per i pedoni e raggiunge anche importanti riduzioni di rumore in facciata;
- muri inclinati di contenimento riducono il rumore di 3 dBA per i pedoni e al primo piano degli edifici (11 dBA in totale).
- lo scenario con le barriere inclinate a bordo strada e i muri inclinati di contenimento (S4.5) è quello più efficace sia per i pedoni che per le facciate degli edifici;
- un secondo livello stradale ha un importante effetto positivo per i pedoni e le facciate;
- i parcheggi collegati a entrambi i lati riduce il rumore di 5 dBA per i pedoni e da 3 a 5 dBA per le facciate;
- una barriera sul bordo marciapiede riduce il rumore di altri 4-5 dBA rispetto ai pedoni.
- lo scenario con i muri inclinati e le barriere basse alla sorgente è quello più vantaggioso, riducendo i livelli di rumore fino a 11 dBA sia per i pedoni che per i piani più bassi.

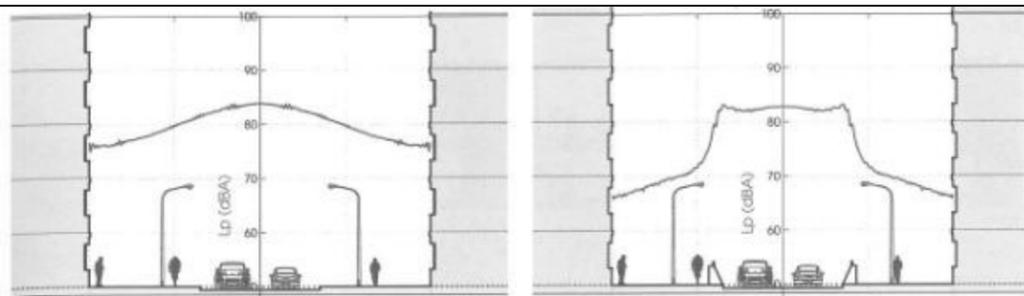


Figure 1 - Reduction of noise level at pedestrians by a low inclined barrier

Figura: Riduzione dei livelli di rumore rispetto ai pedoni delle barriere basse alla sorgente inclinate  
Fonte: Progetto SONORUS      Link:

## **Elenco degli Allegati**

### ***dell' Abacus sul contesto operativo per le zone a bassa emissione di rumore***

- Contesto ambientale e normativo per l'introduzione della zona a bassa emissione di rumore  
Allegato 1 dell'Abacus sul contesto operativo per le zone a bassa emissione di rumore
  
- Contesto operativo: sistemi di monitoraggio del rumore  
Allegato 2 dell'Abacus sul contesto operativo per le zone a bassa emissione di rumore
  
- Contesto operativo: sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria  
Allegato 3 dell'Abacus sul contesto operativo per le zone a bassa emissione di rumore
  
- Contesto operativo: indicatori di salute  
Allegato 4 dell'Abacus sul contesto operativo per le zone a bassa emissione di rumore
  
- Contesto operativo: interventi ed effetti attesi sulla qualità dell'aria, il rumore e la salute  
Allegato 5 dell'Abacus sul contesto operativo per le zone a bassa emissione di rumore

LIFE MONZA - LIFE15 ENV/IT/000586 - is co-funded by the LIFE Programme of the European Union

