

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE – IL RUMORE IN CITTÀ .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>OBIETTIVO DELLA TESI.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>SCENARIO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>La misura del rumore nelle città .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>Normativa italiana ed europea .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Gli effetti della Direttiva europea e la produzione di carte tematiche.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1.1</b>	<b>Tipologia di mappe acustiche.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.1.2</b>	<b>Requisiti minimi delle mappe acustiche e mappe acustiche strategiche... </b>	<b>24</b>
<b>3.2.1.3</b>	<b>Dati a supporto dell’elaborazione dei piani d’azione .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1.4</b>	<b>Modalità di produzione mappatura acustica strategica.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1.5</b>	<b>Raccolta di dati informativi territoriali .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.1.6</b>	<b>Descrizione dei dati territoriali utilizzati come input di modelli numerici</b>	<b>30</b>
<b>3.2.1.7</b>	<b>Dati relativi a sorgenti sonore.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.1.8</b>	<b>Dati metereologici .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.1.9</b>	<b>Modalità di elaborazione delle mappe acustiche.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.1.10</b>	<b>Modalità di acquisizione dei livelli sonori.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.1.11</b>	<b>Limiti dell’approccio tradizionale .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Piani di Azione .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.2.1</b>	<b>Elaborazione dei piani d’azione.....</b>	<b>43</b>

3.3	Smart city.....	45
3.4	Pianificazione e intelligenza collettiva.....	46
3.5	Approccio bottom-up.....	49
4	<b>METODO TRADIZIONALE E NUOVI APPROCCI.....</b>	<b>52</b>
4.1	Approccio del Soundscape nella pianificazione delle azioni di risanamento	52
4.2	Design acustico .....	55
4.3	Valutazione delle zone silenziose .....	56
4.4	Caso studio – Applicazione del metodo nell’ambito del piano strategico d’azione del Comune di Firenze .....	58
4.4.1	Utilizzo dei dati .....	59
5	<b>CAMBIAMENTO IN ATTO .....</b>	<b>61</b>
5.1	Nuove Tecnologie per monitoraggi .....	61
5.2	Mobile-device e monitoraggi collaborativi .....	63
5.3	Qualità dei dati ottenibili da monitoraggio partecipato.....	69
6	<b>PROGETTAZIONE DI UNA PIATTAFORMA DI CONOSCENZA CONDIVISA.....</b>	<b>80</b>
6.1	Tema applicativo.....	80
6.2	Confinamento territoriale .....	80
6.3	Analisi della domanda informativa .....	81
6.4	Mappatura degli attori .....	81
6.5	Costruzione del disegno strategico e prospetto delle risorse informative necessarie per le domande di conoscenza relative al tema della Pianificazione Acustica.....	87
6.5.1	Analisi delle funzionalità e degli attori coinvolti.....	92
6.5.1.1	PEOPLE .....	93
6.5.1.2	TECHNOLOGY .....	95
6.5.1.3	BUSINESS .....	97

6.5.1.4	Costi e benefici.....	97
6.5.1.5	Valutazione rispetto ai tre elementi (people, technology, business).....	98
6.5.2	Fonti informative di base per mappatura acustica strategica .....	102
6.5.3	Fonti informative prodotte da processi “bottom up” per mappatura acustica strategica e piani d’azione .....	102
6.6	Fast prototyping.....	104
6.6.1	Schema del flusso dei dati e del piano delle elaborazioni.....	104
6.6.1.1	Dati quantitativi.....	104
6.6.1.1.1	Monitoraggio collaborativo.....	104
6.6.1.1.2	Dati misure da giacimenti informativi.....	116
6.6.1.2	Dati qualitativi.....	117
6.6.1.2.1	Monitoraggio collaborativo.....	120
6.6.1.2.2	Interfaccia con meccanismi web 2.0.....	121
6.6.2	Requisiti di accesso e interfacce.....	126
7	CONCLUSIONI.....	126
8	ALLEGATI .....	132
8.1	ALLEGATO 1 - Il rumore ambientale.....	132
8.1.1	Il fenomeno sonoro .....	132
8.1.2	Curve di ponderazione .....	135
8.1.3	Misura del rumore ambientale.....	136
8.1.4	Il fonometro integratore.....	137
8.1.5	Calibrazione .....	141
8.1.6	Microfono .....	142
8.1.7	Microfono a condensatore.....	142
8.2	ALLEGATO 2 - Tecniche emergenti.....	146
8.2.1	La mappatura acustica dinamica .....	146
8.2.2	Wireless Sensor Network .....	150

<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>157</b>
<b>9.1</b>	<b>Documenti.....</b>	<b>157</b>
<b>9.2</b>	<b>Siti internet .....</b>	<b>158</b>
<b>10</b>	<b>INDICE DELLE FIGURE .....</b>	<b>159</b>

## **1 Introduzione – il rumore in città**

L'inquinamento acustico nelle aree urbane, è un problema ormai riconosciuto dalla comunità internazionale, come confermato dalla crescente sensibilizzazione della popolazione, che riconosce in questa tematica una delle cause principali del peggioramento della qualità della vita.

Le sorgenti sonore principali che caratterizzano il clima acustico delle città, sono da tempo identificate nelle infrastrutture di trasporto e nelle attività industriali, in particolare è il traffico veicolare quello che risulta essere la sorgente di rumore prevalente.

L'approccio attuale per la riduzione dell'inquinamento acustico è la semplice riduzione del livello sonoro, mentre una direzione più attenta alle reali necessità di benessere dell'uomo punta ad individuare quali suoni sono percepiti come rumore da minimizzare e quali suoni del paesaggio sonoro che ci circonda, dobbiamo conservare a beneficio della qualità di vita. Un approccio innovativo per la gestione della tematica inquinamento acustico, punta a riconoscere quali eventi sonori in determinati contesti devono essere eliminati e quali invece conservati per migliorare il benessere acustico.

Per la gestione di questo problema La Direttiva Europea 49/2002/EC del 25 giugno 2002 (*Environmental Noise Directive*) [3], prevede che vengano definiti metodi comuni per la raccolta di dati riguardo alla popolazione esposta alle varie classi di livello sonoro e per la determinazione, attraverso opportune relazioni di dose-effetto, degli effetti nocivi derivanti dall'esposizione al rumore, in particolare *annoyance* e disturbi del sonno.

La Direttiva impone l'elaborazione di mappe acustiche strategiche, definite come “*mappe finalizzate alla determinazione globale dell'esposizione al rumore in una certa zona a causa di varie sorgenti di rumore, ovvero alla definizione di previsioni generali per tali zone*”.

Queste mappe devono rispondere ai tre obiettivi considerati dalla Direttiva, permettendo:

- di fornire dati sull'esposizione al rumore della popolazione, da destinare alla Commissione;
- d'informare il pubblico;
- di fungere da base per l'elaborazione di piani d'azione

La mappatura acustica, a causa della scarsità di risorse viene realizzata creando un modello fisico-acustico dell'ambiente urbano, utilizzando quasi esclusivamente dati di traffico relativi alle infrastrutture ed un numero estremamente limitato di misure utilizzate per la calibrazione del modello stesso. I rilievi vengono effettuati quindi in pochi punti e hanno come unica finalità quella di caratterizzare le sorgenti sonore (infrastrutture stradali, ferroviarie, industrie ecc..) con determinate condizioni meteo.

L'accuratezza di una mappatura ottenuta con le suddette modalità è limitata da diversi fattori quali ridotto numero di rilievi fonometrici, limitato numero di sorgenti sonore modellate, elevata incertezza dei dati di traffico forniti dai gestori delle infrastrutture ecc..

Un contributo importante per colmare una carenza conoscitiva che per motivazioni di carattere economico può essere difficilmente incrementata, può essere ottenuto attivando flussi informativi quali-quantitativi ottenibili da:

- monitoraggi collaborativi su base volontaria;
- acquisizione feedback della cittadinanza relativamente a segnalazione di criticità acustiche e livello di percezione di rumore/suoni per supporto a metodologia "soundscape analysis", attraverso piattaforme geoweb con meccanismi WEB 2.0;
- valorizzazione informazione immobilizzata in giacimenti informativi.

Un flusso informativo ottenuto con una nuova metodologia per il monitoraggio dell'inquinamento acustico realizzata mediante il contributo volontario di cittadini che operano come una rete di sensori mobili, permetterebbe di ottenere un monitoraggio continuo e capillare del territorio ottenendo un'informazione sul rumore percepito dagli stessi cittadini, in termini quantitativi (livello in dBA) e qualitativi, mediante annotazioni e descrizioni (tag) delle sorgenti di inquinamento che causano disturbi al sonno e fastidio (e di conseguenza l'annoyance) .

Il coinvolgimento reale degli stakeholders, che vada oltre il concetto fallimentare di partecipazione, crea le condizioni per la formazione di consenso a supporto della redazione di piani di azione. Il contributo dei cittadini è inoltre di fondamentale importanza per supportare la metodologia del soundscape analysis (paesaggi sonori) per l'individuazione di indirizzi alle azioni di risanamento...

Il flusso informativo proveniente da monitoraggio wiki crea/aggiorna uno strato informativo da sovrapporre alla mappatura acustica strategica prodotta, che andrà ad evidenziare aree di coerenza e aree con informazione non concorde che necessita quindi di approfondimento.

Lo strato informativo wiki è utile come feedback per il monitoraggio degli effetti dei Piani di Azione.

## **2 Obiettivo della tesi**

L'obiettivo della tesi è la progettazione di un sistema informativo territoriale per la gestione di conoscenza prodotta con processi "bottom up" (monitoraggi collaborativi, valorizzazione patrimonio esistente, segnalazione volontaria da parte di cittadini) da integrare con le basi informative utilizzate a supporto della pianificazione acustica, per la creazione di un quadro di conoscenza condiviso a supporto della redazione e valutazione dei Piani d'Azione previsti dalla Direttiva europea 2002/49, come recepita da D.Lgs. 194/05.

Il Quadro di conoscenza condiviso ha l'obiettivo di coinvolgere l'intera collettività nella gestione della tematica inquinamento acustico, mediante il supporto alla produzione di mappe acustiche strategiche che hanno come finalità quelle di: supportare la redazione di Piani d'azione, informare la Comunità Europea e la cittadinanza.

In ottica Smart City, viene data particolare enfasi al potenziale contributo wiki ottenibile attraverso l'utilizzo di ICT (Information Communication Technology).

## **3 Scenario di riferimento**

### **3.1 La misura del rumore nelle città**

Relativamente alla quantificazione dell'impatto delle sorgenti sonore, occorre sottolineare che ad oggi c'è una scarsa disponibilità e confrontabilità dei dati prodotti a causa dell'applicazione di diverse tecniche e metodologie di monitoraggio;<sup>[1]</sup>

Nel *Libro verde* della Comunità Europea (1996) —*Politiche future in materia di Inquinamento acustico*, viene stimato che circa il 20% della popolazione dell'Unione Europea (80 milioni di persone) risulta esposto a livelli di rumore diurni superiori a 65 dB(A), e che altri 170 milioni di persone risiedono in aree con livelli compresi tra 55 e 65 dB(A).

La Direttiva europea 2002/49/CE prevede che gli effetti nocivi derivanti dall'esposizione a rumore, ed in particolare annoyance e disturbi del sonno, possano essere determinati attraverso opportune relazioni dose-effetto. Nel corso del 2002 è stato pubblicato, a tale

proposito, il "position paper" del WG2 (Gruppo di lavoro, istituito dalla Commissione Europea e composto da esperti internazionali) Dose/Effect (Position Paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, EU's Future Noise Policy, WG2 Dose/Effect, 2002). In questo documento vengono descritti gli indicatori da utilizzare sia per ciò che concerne l'annoyance, sia per quanto riguarda l'esposizione al rumore e vengono raccomandate specifiche relazioni per la stima dell'annoyance a partire dai livelli di esposizione delle abitazioni, differenziando per tipologia di sorgente (aerei, traffico stradale, ferrovie). L'annoyance è la risultante degli effetti psicosociali causati dal rumore, che fino a pochi decenni fa non venivano quasi presi in considerazione. L'annoyance viene anche definito *"un sentimento di scontentezza, riferito al rumore, che l'individuo sa o crede che possa agire su di lui in modo negativo; questo fastidio è la risposta soggettiva agli effetti combinati dello stimolo disturbante e di altri fattori extraesposizionali di natura psicologica, sociologica, ed economica."*<sup>1</sup>

Tra i disturbi riconducibili all'annoyance rientrano pertanto tutte quelle modificazioni del benessere psicofisico del soggetto, che denotano disagi comportamentali e interrelazionali, non discendenti direttamente da alterazioni neuropsichiche o endocrine, pur essendovi il più delle volte correlate, disturbando e finanche impedendo il sereno svolgimento delle occupazioni domestiche (riposo, studio, conversazioni) o lavorative nonché compromettendo le relazioni interpersonali in ambito sociale ed economico. Le relazioni sopra descritte confermano quanto già emerso a livello internazionale e cioè che, a parità di livelli sonori, il rumore derivante dal traffico aereo è più disturbante del rumore dovuto al traffico stradale e che quest'ultimo è più disturbante del rumore da traffico ferroviario. In seguito, nel 2004, è stato pubblicato anche un "position paper" sulle relazioni dose-effetto per il rumore notturno, frutto del lavoro del WG Health & Socio-Economic Aspects. In tale documento, vengono definite le curve che pongono in relazione gli effetti di disturbo del sonno (valutati direttamente dal soggetto disturbato) ed i livelli di rumore LAeq night prodotti da differenti tipologie di traffico (aereo, ferroviario, stradale): anche in questo caso il rumore da traffico aereo risulta significativamente più disturbante - ed il rumore da traffico ferroviario meno disturbante - del rumore da traffico stradale. Per l'Organizzazione Mondiale della Sanità, gli effetti del rumore non si limitano alla

---

<sup>1</sup> <http://www.fonoisolamento.it/rumore.html>

perturbazione delle comunicazioni o ad un deterioramento dell'acutezza uditiva. Essi possono andare fino al disturbo del sonno, all'ipertensione. Le esternalità ambientali causate dall'esposizione al rumore dei trasporti ammontava, già nel 2000, a quasi 45 miliardi di euro, cioè il 7% dell'insieme dei costi esterni ambientali dei trasporti. Il 95% dei costi esterni dovuti al rumore è imputabile ai trasporti stradali (80%) ed aerei (15%). Il miglioramento delle performance acustiche dei veicoli (il rumore delle automobili è stato così ridotto dell'85%, mentre l'impronta sonora degli aeroporti è stata diminuita del 90%. Relativamente ai treni, il loro livello sonoro è stato abbassato in media di 10 dB(A) ) ottenuto negli ultimi 20 anni è stato vanificato dall'aumento del volume di traffico (questo effetto è stato osservato anche per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico), mentre sembra aumentato il numero di persone esposte a valori compresi tra 55 e 65 dB(A) [2]. Il problema dell'inquinamento acustico a causa del trend in aumento del traffico aereo, veicolare e ferroviario, è destinato ad estendersi sia spazialmente, seguendo il fenomeno dello "sprawl urbano", che temporalmente andando ad interessare l'arco temporale relativo al periodo di riferimento notturno. Per far fronte alla problematica relativa al rumore ambientale, gli Stati Membri dell'Unione Europea hanno fondato una politica comune in materia di rumore ambientale, che ha portato all'adozione della Direttiva europea n. 49/2002/EC del 25 giugno 2002 (*Environmental Noise Directive*). Una delle caratteristiche fondamentali di questa direttiva è quella di definire metodi comuni per la raccolta di dati riguardo alla popolazione esposta alle varie classi di livello sonoro e per la determinazione, attraverso opportune relazioni di dose-effetto, degli effetti nocivi derivanti dall'esposizione al rumore, in particolare *annoyance* e disturbi del sonno.

La nuova norma comunitaria, per quanto riguarda l'Italia, si inserisce in un quadro normativo già consolidato, con adempimenti di legge che si sono costituiti nell'arco degli ultimi venti anni.

In particolare la legge quadro sull'inquinamento acustico (L.447/95), prevede controlli preventivi sull'idoneità acustica di piani, progetti e/o opere.

Relativamente alla gestione delle problematiche già presenti sul territorio, aspetto non completamente affrontato dalla normativa quadro, l'emanazione del D.Lgs. 194/05 [4], di recepimento della *direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale*, dovrebbe concorrere ad attenuare questa carenza.

A seguito del recepimento della Direttiva Europea 2002/49/CE e della necessità di definire dei criteri comuni di elaborazione delle mappe acustiche, l'Ente di Unificazione Nazionale (UNI)

ha intrapreso la stesura di un documento normativo, in cui sono stati individuati e definiti dei criteri comuni di valutazione della rumorosità sul territorio.

Nella Linea Guida, sono trattati in maniera sistematica e coordinata gli aspetti tecnici e procedurali relativi alla stesura delle mappe acustiche e mappe acustiche strategiche, richiamando le specifiche definite dalla Direttiva ed individuando le modalità tecniche applicative per la loro implementazione.

In base all'art. 2 della stessa Direttiva, l'obbligo di eseguire la mappatura acustica e mappatura acustica strategica si applica agli ambiti antropizzati, in cui la popolazione è esposta alle emissioni sonore prodotte dalle sorgenti presenti nelle aree di interesse; in particolare si applica alle zone edificate, nei parchi pubblici o nelle aree silenziose, interne o esterne agli agglomerati, in prossimità di ricettori sensibili, quali scuole, ospedali, case di cura e di riposo. Non si applica al rumore causato dalle persone, dalle attività domestiche, dal vicinato, né al rumore generato all'interno degli ambienti lavorativi, nei mezzi di trasporto o nelle aree militari.

### **3.2 Normativa italiana ed europea**

Il 10 luglio 1997, il Parlamento europeo ha approvato gli orientamenti proposti dal *Libro verde* ed ha chiesto l'elaborazione di una norma quadro.

Nel giugno 2002, è stata così adottata la Direttiva 49/2002/EC del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale. La Direttiva sul rumore ambientale mira a stabilire, secondo l'art. 1, —un approccio comune volto ad evitare, prevenire o ridurre, secondo le rispettive priorità, gli effetti nocivi, compreso il fastidio, dell'esposizione al rumore ambientale. Questo scopo deve essere realizzato usando un pacchetto di misure:

- introduzione di indicatori armonizzati di rumore;
- armonizzazione dei metodi di calcolo per la determinazione dei livelli acustici;
- armonizzazione delle procedure seguite per generare le mappe acustiche ed i piani d'azione per la riduzione del rumore;
- informazione del pubblico sull'impatto ambientale del rumore coerentemente con i principi della convenzione di Århus sull'accesso alle informazioni e la partecipazione del pubblico al processo decisionale.

Una direttiva è un atto giuridico comunitario adottata da parte del Consiglio dell'Unione europea da solo o con il Parlamento, a seconda dei casi. Vincola gli stati destinatari ad un obiettivo da raggiungere, ma lascia loro la scelta dei mezzi e della forma per farlo entro i

termini fissati nella stessa direttiva. Gli Stati membri sono obbligati a recepire la direttiva nel loro diritto nazionale. Comunque a partire dal momento in cui una direttiva europea è trasposta nel diritto nazionale, la fonte di diritto di riferimento diventa quest'ultima.

Il decreto di recepimento entrato in vigore in data 8 ottobre 2005, opera nel contempo il riordino ed il coordinamento delle vigenti disposizioni in materia di tutela dell'ambiente abitativo e dell'ambiente esterno dall'inquinamento acustico. Dopo aver individuato le finalità ed il campo applicativo del provvedimento, viene di fatto riconosciuto, per quanto compatibile, ancora valido l'impianto normativo della legge quadro sull'inquinamento acustico n. 447/95.

L'art. 2 introduce le definizioni così come previsto dalla direttiva sul rumore ambientale, mentre i successivi articoli 3 e 4 fissano gli obblighi a carico delle autorità pubbliche.

Tra gli aspetti innovativi più in evidenza, si nota che l'art. 5 introduce i nuovi descrittori acustici  $L_{den}$  e  $L_{night}$  (già previsti dalla END) con i relativi metodi di determinazione. Viene stabilito che il periodo diurno va dalle 6.00 alle 20.00, il periodo serale dalle 20.00 alle 22.00 e quello notturno dalle 22.00 alle 6.00.

Gli indicatori, come descritto in modo più preciso di seguito, non trovano univoca corrispondenza nell'attuale legislazione nazionale di riferimento per le differenze legate ad aspetti temporali, spaziali e di campo acustico ed essi collegati, per cui è necessario provvedere a convertire gli attuali valori limite previsti dalla legislazione italiana nei descrittori principali  $L_{den}$  e  $L_{night}$  introdotti.

All'allegato II si attesta che i metodi di calcolo provvisori per la determinazione dei descrittori acustici  $L_{den}$  e  $L_{night}$  utilizzabili nell'ambito della nostra giurisdizione sono quelli raccomandati dalla Direttiva 49/2002/EC summenzionati e che tali metodi devono essere adeguati alla definizione dei nuovi descrittori acustici secondo quanto definito dalla raccomandazione della Commissione del 6 agosto 2003, n. 2003/613/CE.

Un altro aspetto innovativo da sottolineare è quello per cui le autorità competenti sono tenute, sulla base delle previsioni del Decreto, a fare in modo che il pubblico sia informato riguardo ai livelli a cui è sottoposto per mezzo della mappatura acustica e possa partecipare all'iter di approvazione dei piani di azione redatti ai fini della gestione del rumore ambientale, effettuando anche osservazioni che dovranno essere prese in considerazione e giudicate dagli organi preposti.

Si specifica di seguito in modo dettagliato le disposizioni della direttiva END:

1) introduzione di descrittori acustici comuni  $L_{den}$  ( il valore medio del livello acustico sulle 24 ore con i fattori di ponderazione 5 dB(A) e 10 dB(A) per il periodo serale di quattro ore e il

periodo notturno di otto ore rispettivamente, come definito in seguito) e  $L_{night}$  (valore medio durante il periodo di otto ore di notte), da utilizzare per l'elaborazione e la revisione della mappatura acustica strategica da presentare alla Commissione e al pubblico.

Gli Stati membri possono accorciare fino a due ore il periodo serale e allungare il periodo diurno e/o notturno di conseguenza, permettendo così loro di prendere in considerazione differenze culturali e climatiche. Il livello giorno-sera-notte (*day-evening-night level*)  $L_{den}$ , in deciBel (dB), è definito dalla seguente formula:

$$L_{den} = 10 \cdot \log 124 \cdot (12 \cdot 10^{L_{day}/10} + 4 \cdot 10^{L_{evening}/10} + 8 \cdot 10^{L_{night}/10})$$

dove:

- $L_{day}$  è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato A, definito alla norma ISO 1996-2:1987, determinato sull'insieme dei periodi diurni di un anno;
- $L_{evening}$  è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato A, definito alla norma ISO 1996-2:1987, determinato sull'insieme dei periodi serali di un anno;
- $L_{night}$  è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato A, definito alla norma ISO 1996-2:1987, determinato sull'insieme dei periodi notturni di un anno.

Ai sensi della norma ISO 1996-2:1987, per livello medio a lungo termine s'intende un livello di pressione sonora continua ponderato A equivalente, che si può determinare per calcolo tenendo conto delle variazioni dell'attività della sorgente e delle condizioni meteorologiche che influiscono sulle condizioni di propagazione. La norma ISO 1996-2 consente l'impiego di termini di correzione meteorologica e la norma ISO 1996-1 fa riferimento alle correzioni meteorologiche, senza però fornire alcun metodo per determinare e applicare tale correzione.

2) Il punto di ricezione (punto di misura o di calcolo), si situa ad un'altezza dal suolo di  $4 \pm 0,2$  m poiché  $L_{den}$  è un descrittore globale derivato da  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  e  $L_{night}$ , tale altezza è obbligatoria anche per questi ultimi descrittori.

3) La valutazione della popolazione esposta va fatta considerando il suono incidente e tralasciando il suono riflesso dalla facciata dell'abitazione considerata (in linea generale, ciò implica una correzione pari a 3 dB del livello).

I descrittori acustici possono essere determinati in conformità con i metodi di calcolo nazionali durante il periodo di transizione. I risultati devono però essere convertiti nei descrittori suddetti. Se non esistono metodi di calcolo nazionali, sono raccomandati i metodi *ad interim* indicati nella END.

Tali metodi sono i seguenti:

Per il RUMORE DEL TRAFFICO VEICOLARE: metodo di calcolo ufficiale francese «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)», citato in «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6» e nella norma francese «XPS 31-133». Per i dati di ingresso concernenti l'emissione, questi documenti fanno capo al documento «Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980.

- Per il RUMORE FERROVIARIO: metodo di calcolo ufficiale dei Paesi Bassi pubblicato in «Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996».

- Per il RUMORE DEGLI AEROMOBILI: documento 29 ECAC.CEAC «Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports», 1997. Tra i diversi approcci per la modellizzazione delle linee di volo, va usata la tecnica di segmentazione di cui alla sezione 7.5 del documento 29 ECAC.CEAC.

- Per il RUMORE DELL'ATTIVITÀ INDUSTRIALE: ISO 9613-2: «Acoustics — Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2; General method of calculation».

Il periodo di transizione si concluderà quando le procedure armonizzate di calcolo per  $L_{den}$  e  $L_{night}$  entreranno in vigore.

Gli Stati Membri devono fornire informazioni alla Commissione riguardo ai valori limite vigenti e li convertono se necessario nei descrittori armonizzati europei di rumore.

In una fase iniziale, le mappe acustiche strategiche devono essere prodotte per gli agglomerati con più di 250.000 abitanti, per gli assi stradali principali su cui transitano più di 6.000.000 veicoli all'anno, per gli assi ferroviari principali su cui transitano più di 60.000 all'anno e per gli aeroporti civili in cui si svolgono più di 50.000 movimenti all'anno (intendendosi per movimento un'operazione di decollo o di atterraggio), a partire dall'estate 2007.

In una seconda fase, le mappe acustiche strategiche devono essere prodotte per gli agglomerati con più di 100.000 abitanti, per gli assi stradali principali su cui transitano più di 3.000.000 veicoli all'anno e per gli assi ferroviari principali su cui transitano più di 30.000 all'anno, a partire dall'estate 2012.

I piani d'azione devono essere redatti per le aree critiche entro un periodo di dodici mesi, nei casi in cui si rileva un superamento dei valori limite stabiliti dai singoli Stati Membri.

Il pubblico deve essere informato circa tutte le attività relative. In più, la partecipazione del pubblico è un elemento espressamente richiesto all'interno del processo di predisposizione del piano d'azione.

I dati sul numero stimato dei cittadini esposti a determinati livelli di rumore devono essere inviati alla Commissione.

Il 1 ° giugno 2011, la Commissione ha pubblicato la prima relazione sull'attuazione della direttiva sul rumore ambientale (direttiva 2002/49/CE, END).

### **3.2.1 Gli effetti della Direttiva europea e la produzione di carte tematiche**

Relativamente alla produzione di cartografia sul rumore, la END impone l'elaborazione di mappe acustiche strategiche, definite (art.3) come *“mappe finalizzate alla determinazione globale dell'esposizione al rumore in una certa zona a causa di varie sorgenti di rumore, ovvero alla definizione di previsioni generali per tale zona”* .

Queste mappe devono rispondere ai tre obiettivi considerati dalla Direttiva, descritti nel capitolo precedente ed in particolare:

- fornire dati sull'esposizione al rumore della popolazione, da destinare alla Commissione;
- informare il pubblico;
- base conoscitiva per l'elaborazione di piani d'azione.

Tenuto conto di queste finalità e dei distinti destinatari, devono essere realizzati diversi tipi di carte (punto 4 allegato IV della Direttiva).

Quanto sopra è richiesto (art. 5) sia determinando direttamente gli indicatori  $L_{den}$  e  $L_{night}$ , sia attraverso una conversione in  $L_{den}$  e  $L_{night}$  degli indicatori nazionali, che in Italia coincidono con il  $Leq$  e  $L_{wa}$  per il rumore aeroportuale.

Relativamente agli elaborati da inviare alla Commissione Europea, negli allegati IV e VI della direttiva europea sono indicati i requisiti minimi per le mappe acustiche strategiche ed i dati da trasmettere. In particolare le indicazioni sono differenziate per gli agglomerati e per le grandi infrastrutture dei trasporti.

Nel caso di mappe acustiche relative agli agglomerati (ambito a cui si riferisce il lavoro prodotto nel presente lavoro di tesi), è necessario fornire separatamente per le strade, le ferrovie, gli aeroporti e i siti di attività industriale, compresi i porti, sottoposti ad Autorizzazione Integrata Ambientale come definiti dall'Allegato 1 del D. Lgs n. 59 del 18 febbraio 2005 relativo alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento, i dati su:

1. il numero stimato di persone (arrotondato al centinaio) che vivono in abitazioni esposte a ciascuno dei seguenti intervalli di livelli: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74 e >75 dB(A) per l'indicatore  $L_{den}$  valutato ad un'altezza di 4 metri sulla facciata più esposta dell'edificio;

2. il numero stimato di persone (arrotondato al centinaio) che vivono in abitazioni esposte nelle esposte a ciascuno dei seguenti intervalli di livelli: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69 e >70 dB(A) per l'indicatore  $L_{night}$  valutato ad un'altezza di 4 metri sulla facciata più esposta dell'edificio;
3. le mappe strategiche in forma di grafico devono presentare almeno le curve isolivello di 60, 65, 70 e 75 dB(A).

I dati possono essere presentati sotto forma di tabelle o di grafici. Per ogni classe di indicatori, se i dati sono disponibili, si potrà indicare anche:

- il numero di persone esposte nelle abitazioni insonorizzate dal rumore in questione;
- il numero di persone esposte in abitazioni aventi una facciata silenziosa, cioè una facciata in corrispondenza della quale si abbia un livello a 2 m di distanza e a 4 m di altezza almeno 20 dB(A) inferiore rispetto a quello registrato sulla facciata avente il valore più alto dell'indicatore.

Nel caso di mappe acustiche relative alle grandi infrastrutture di trasporto sarà necessario fornire i seguenti dati per ogni singola infrastruttura:

1. numero stimato di persone (arrotondato al centinaio) che vivono in abitazioni esposte a ciascuno dei seguenti intervalli di livelli: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74 e >75 dB(A) per l'indicatore  $L_{den}$ , valutato ad un'altezza di 4 m sulla facciata più esposta dell'edificio considerato;
2. numero stimato di persone (arrotondato al centinaio) che vivono in abitazioni esposte a ciascuno dei seguenti intervalli di livelli: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69 e >70 dB(A) per l'indicatore  $L_{night}$ , valutato ad un'altezza di 4 m sulla facciata più esposta dell'edificio considerato;
3. superficie totale, in km<sup>2</sup>, esposta a valori di  $L_{den}$  superiori a 55, 65 e 75 dB(A);
4. rappresentazione grafica delle curve di isolivello 55 e 65 dB(A).

Per le grandi infrastrutture di trasporto la rappresentazione grafica è obbligatoria.

Relativamente ai requisiti della mappatura acustica strategica finalizzata all'informazione e al supporto alla redazione dei Piani di Azione, L'allegato IV della END resta abbastanza vago.

Segnala in particolare, al punto 2, che le mappe possono essere presentate al pubblico sotto tre forme:

- grafiche;
- dati numerici organizzati in tabelle;

- dati numerici in formato elettronico.

Allo stesso tempo, il punto 6 precisa che, per l'informazione del pubblico, le mappe acustiche strategiche devono presentare informazioni ulteriori, tra cui:

- una rappresentazione grafica;

- mappe che mostrano il superamento di valori limite;

- mappe che mostrano raffronti tra situazioni esistenti e future;

- mappe che mostrano valori di un descrittore acustico, se necessario, ad un'altezza diversa da 4 m.

E' importante precisare che queste mappe non sono i soli documenti da elaborare. E' necessario infatti realizzare ed unire alle carte un riassunto non tecnico, oltre alla esposizione sommaria della metodologia di calcolo/misura usata.

### Contenuti della mappatura acustica strategica

la direttiva europea END individua due contesti territoriali nelle quali è prevista la mappatura acustica:

- agglomerati urbani con più di 100000 abitanti;

- aree sensibili esterne agli agglomerati, ovvero aree interessate dal rumore di infrastrutture di trasporto.

Si definisce mappatura acustica strategica, la rappresentazione del rumore ambientale "globale" prodotto da tutte le sorgenti sonore che caratterizzano il clima acustico delle città (agglomerati urbani), ed in particolare, strade, ferrovie, aeroporti, aree industriali ecc..

#### 1. Indicatori acustici

Ai fini della elaborazione della mappa acustica strategica i descrittori acustici da utilizzare sono  $L_{den}$  e  $L_{night}$  come definiti nell'Allegato 1 del D.Lgs 194/05. Non essendo stati individuati metodi per la determinazione dei livelli previsti dalla direttiva europea END, è possibile convertire gli indicatori acustici previsti dalla normativa nazionale (legge 447/95) e convertirli.

Nel caso dell'Italia gli indicatori utilizzati sono il livello equivalente ponderato A,  $L_{Aeq}$  ed il livello di valutazione del rumore aeroportuale,  $L_{VA}$ .

Devono avere un livello di aggiornamento non superiore a 3 anni.

Ai fini dell'individuazione delle situazioni di superamento dei valori limite, fino all'emanazione dei decreti di cui all'Articolo 5, comma 2 del D.Lgs 194/05 si utilizzano i descrittori acustici ed i relativi valori limite determinati ai sensi degli articoli 3 e 11 della Legge Quadro 447/95.

L'individuazione delle aree di superamento dei limiti deve essere intesa come identificazione delle aree e/o recettore in cui, per effetto delle immissioni delle infrastrutture di trasporto o degli impianti industriali, si abbia superamento dei limiti assoluti di immissione previsti.

Il rumore, immesso nell'area in cui si sovrappongono più fasce di pertinenza delle infrastrutture di trasporto, non deve superare complessivamente il maggiore fra i valori limite di immissione previsti per le singole tipologie di sorgenti.

$$L_{den} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{24} \left[ 12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right] \right)$$

dove:

$L_{den}$  è il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato "A", determinato sull'insieme dei periodi giornalieri di un anno;

$L_{day}$  è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato "A", determinato sull'insieme dei periodi diurni di un anno;

$L_{evening}$  è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato "A", determinato sull'insieme dei periodi serali di un anno;

$L_{night}$  è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato "A", determinato sull'insieme dei periodi notturni di un anno.

Il periodo giorno-sera-notte si estende dalle 6:00 alle 6:00 del giorno successivo e, per quanto riguarda l'Italia, è suddiviso nelle seguenti fasce orarie (cfr. D. Lgs. 194/05, allegato 1):

- periodo diurno: dalle 6:00 alle 20:00,
- periodo serale: dalle 20:00 alle 22:00,
- periodo notturno: dalle 22:00 alle 6:00.

L'anno a cui si riferiscono i descrittori è l'anno di osservazione per l'emissione acustica ed un anno medio sotto il profilo meteorologico.

La determinazione di  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  ed  $L_{night}$  in facciata agli edifici esclude la componente riflessa dalla facciata retrostante (D. Lgs. 194/05, allegati 1 e 2)) e può essere eseguita

applicando tecniche previsionali e/o di campionamento statistico. In entrambi i casi, le valutazioni devono essere effettuate ad un'altezza dal suolo di  $4,0 \pm 0,2$  m (3,8 – 4,2 m). In campo libero il punto di misura può essere collocato ad una quota non inferiore ad 1,5 m. Nell'ipotesi in cui si eseguano misurazioni ad altezze diverse da quella di riferimento, i risultati devono essere riportati all'altezza equivalente di 4 m (D. Lgs. 194/05, allegato 1). Per altri fini, quali la pianificazione acustica e la mappatura acustica dettagliata di un'area limitata, possono essere scelti altri punti di misura, ma la loro altezza dal suolo non deve mai essere inferiore a 1,5 m, ad esempio nel caso di:

- zone rurali con case a un solo piano;
- elaborazione di misure locali atte a ridurre l'impatto acustico su abitazioni specifiche;
- mappatura acustica dettagliata di un'area limitata, con rappresentazione dell'esposizione acustica di singole abitazioni.

Esistono casi in cui il livello di pressione sonora relativo alla quota di 4 metri non è rappresentativo della configurazione dei ricettori reale, è quindi opportuno procedere ad effettuare valutazioni a quote che consentano di rappresentare la realtà in modo più verosimile per supportare adeguatamente l'elaborazione di Piani di Azione.

. Alcuni casi tipici sono:

- infrastrutture che si sviluppano su quote diverse rispetto al piano campagna (trincea, rilevato, viadotto);
- edifici molto alti rispetto ad una sorgente di rumore, come una strada o una ferrovia.

Nel D. Lgs. 194/05, allegato 1, si specifica che nella valutazione dell'indicatore  $L_{den}$  “si considera il suono incidente e si trascurava il suono riflesso dalla facciata dell'abitazione considerata”. Nello stesso decreto, allegato 2, punto 3.2, si precisa anche che “i dati delle misurazioni effettuate di fronte a una facciata o a un altro elemento riflettente devono essere corretti per escludere il contributo del riflesso di tale facciata o elemento. In linea generale ciò comporta una correzione di - 3 dB per le misurazioni”.

Il tipo di riflessione a cui fa riferimento la normativa è solamente quello della facciata nella quale si trova il ricevitore.

Ci sono altre tipologie di riflessione che debbono essere necessariamente considerate ovvero:

- la riflessione sul suolo che dipende dalle caratteristiche di assorbimento del suolo stesso;
- le riflessioni multiple su superfici riflettenti di edifici, barriere, ostacoli ecc..;

L'effetto di attenuazione per assorbimento del suolo è un fattore che viene tenuto in considerazione sia nella formula empirica che descrive i vari tipi di attenuazione del livello di pressione nella propagazione sonora in ambiente esterno che nei software di simulazione.

$$L_p = LW + D - A_{div} - A_{atm} - A_{ground} - A_{screen} - A_{misc}$$

$L_p$  = livello di pressione sonora nel punto del ricevitore (dB);

$LW$  = livello di potenza della sorgente sonora (dB);

$D$  = termine correttivo per direttività della sorgente ( $D = 0$  per sorgenti omnidirezionali) (dB);

$A_{div}$  = attenuazione per divergenza geometrica delle onde (dB);

$A_{atm}$  = attenuazione per assorbimento dell'aria (dB);

$A_{ground}$  = attenuazione per "effetto suolo" (dB);

$A_{screen}$  = attenuazione per presenza di barriere (dB);

$A_{misc}$  = attenuazione per altri effetti (presenza di edifici o termici, vento, ecc.) (dB).

Le riflessioni multiple vengono utilizzate nei modelli di simulazione di pressione sonora risultante dalle riflessioni delle onde sulle suole. Possono essere considerati diversi ordini di riflessione, il primo ostacolo che l'onda generata dalla sorgente incontra.

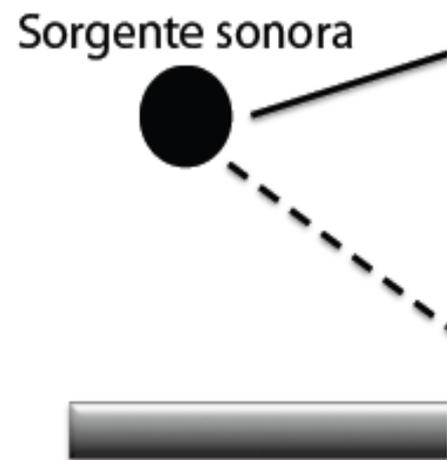
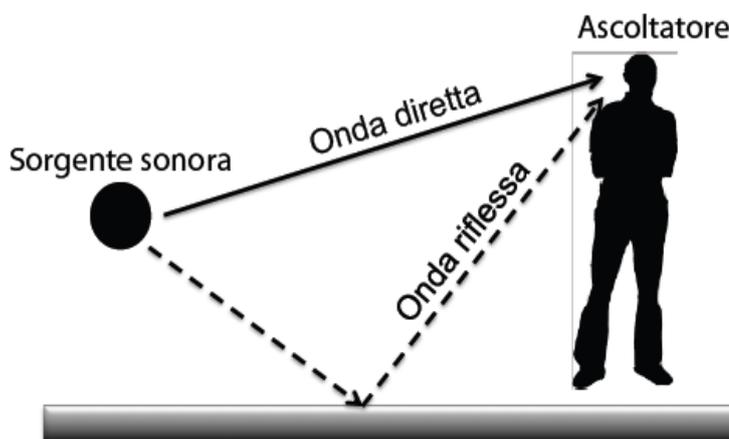


Figura 1 - Propagazione del rumore

Il metodo del *ray tracing* discretizza l'energia emessa dalla sorgente e consente di calcolare il campo sonoro in un punto come sovrapposizione dei contributi dei vari raggi passanti per il punto stesso.

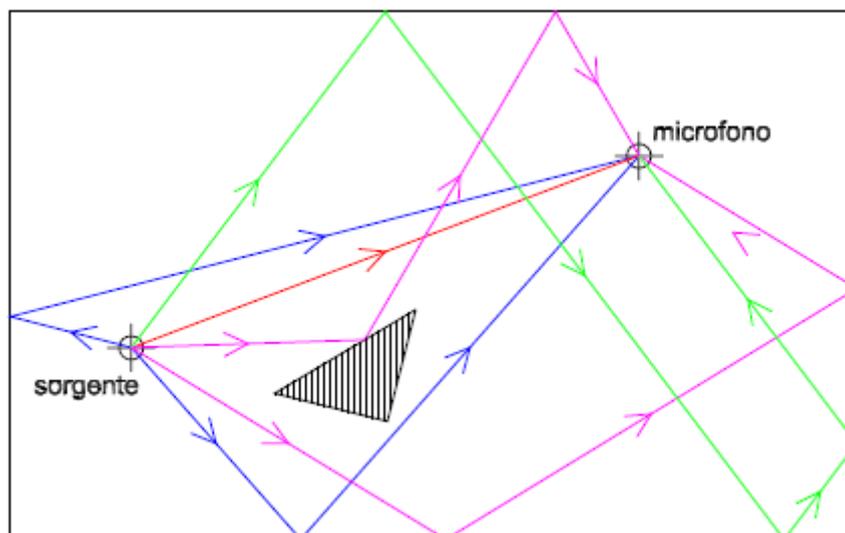


Figura 2 - Riflessione onde sonore

### 3.2.1.1 Tipologia di mappe acustiche

Il D. Lgs. 194/05 , art. 2, comma 1, punti o) e p), definisce:

1. **mappatura acustica**: la rappresentazione di dati relativi a una situazione di rumore esistente o prevista in una zona, relativa ad una determinata sorgente, in funzione di un descrittore acustico che indichi il superamento di pertinenti valori limite vigenti, il numero di persone esposte in una determinata area o il numero di abitazioni esposte a determinati valori di un descrittore acustico in una certa zona;
2. **mappa acustica strategica**: una mappa finalizzata alla determinazione dell'esposizione globale al rumore in una certa zona a causa di varie sorgenti di rumore ovvero alla definizione di previsioni generali per tale zona.

La prima definizione (mappatura acustica) riguarda una singola sorgente sonora (strada, ferrovia, aeroporto, attività industriale).

La seconda definizione (mappa acustica strategica) si riferisce ad una rappresentazione derivante dalla combinazione di più rappresentazioni per una singola sorgente, come nel caso di un agglomerato urbano che comprende strade, ferrovie, attività industriali ed eventualmente aeroporti.

Le mappe acustiche e le mappe acustiche strategiche possono essere presentate in forma di grafici, dati numerici tabulati o in formato elettronico.

La tipologia di rappresentazione e le informazioni contenute nelle mappe si diversificano in funzione degli obiettivi della mappatura.

Relativamente agli obiettivi della mappatura sono state individuate diverse tipologie di mappe acustiche e mappe acustiche strategiche:

- mappe di rumore
- mappe di esposizione
- mappe di conflitto

**Mappe di rumore** - Sono delle rappresentazioni grafiche che visualizzano il clima acustico esistente o futuro in una data area, derivanti dalle valutazioni eseguite attraverso modelli di calcolo previsionale o campagne di monitoraggio.

Le mappe di rumore riportano i valori dei livelli sonori all'interno di una determinata area e sono quindi utili per valutare oggettivamente la rumorosità presente. Servono inoltre come base per generare le mappe di esposizione, che quantificano il numero di abitanti e abitazioni esposte a tale rumorosità. Le mappe di rumore servono da base per calcolare le mappe di conflitto.

**Mappe di esposizione** - Sono delle mappe che quantificano il numero di abitanti e abitazioni esposte a determinati valori degli indicatori acustici considerati. Tali mappe possono essere presentate in forma di tabulati o rappresentazioni grafiche.

Esse possono tenere conto della presenza di ricettori "sensibili", quali ospedali, case di riposo, scuole, ecc., attraverso un'opportuna pesatura del numero di occupanti di tali edifici. Sono quindi utili per valutare non tanto l'entità del superamento di un valore limite, quanto l'impatto di questo superamento sulla popolazione.

D'altra parte non sono direttamente utilizzabili nel confronto con valori limite di legge che, a tutt'oggi, sono espressi solo in termini di livelli sonori indipendentemente dalla quota di popolazione esposta.

Sia le mappe di rumore sia le mappe di esposizione sono necessarie ai sensi del D. Lgs. 194/05 (vedere allegato 4, comma 1, punti a) e c)).

Le mappe di esposizione si ottengono incrociando mappe di rumore espresse in  $L_{den}$  ed  $L_{night}$  con i dati sulla distribuzione della popolazione.

Dall'incrocio dei suddetti dati, si ricavano inoltre il numero di abitazioni e/o di abitanti esposti a specifici valori dell'indicatore acustico considerato, corretto per la componente riflessa.

Per l'individuazione della facciata più esposta la *Good Practice Guide* consiglia una risoluzione spaziale orizzontale lungo le facciate di 3 m. Questa tecnica consente di

individuare anche l'eventuale presenza di una facciata silenziosa (-20 dB rispetto al valore massimo).

Il punto sulla facciata più esposta va posizionato ad una distanza di 2 metri e ad una quota di 4 metri. Nel calcolo devono essere considerate almeno le riflessioni del primo ordine prodotte dagli altri edifici. Alla facciata più esposta è assegnato il massimo livello di rumore rilevato.

**Mappe di conflitto** - Sono delle rappresentazioni grafiche che visualizzano le aree in cui avviene il

superamento dei limiti. Le mappe di conflitto costituiscono un utile supporto per quantificare l'impatto prodotto dalle sorgenti ai ricettori e per individuare le aree critiche su cui intervenire in fase di pianificazione e progettazione degli interventi. Per l'elaborazione delle mappe di conflitto si utilizzano gli indicatori ed i valori limite stabiliti dalla normativa nazionale vigente, non essendo stati ad oggi ancora emanati i decreti sui criteri di conversione degli indicatori nazionali nei descrittori  $L_{den}$  ed  $L_{night}$  ed i relativi valori limite. Questa limitazione comporta, dal punto di vista pratico, la necessità di conformare le mappe di rumore anche alle specifiche stabilite dalla legislazione nazionale.

I contenuti ed i requisiti delle mappe acustiche descritte dipendono dal contesto territoriale in cui si applicano (agglomerati urbani ed aree sensibili esterne agli agglomerati) e dall'obiettivo funzionale a cui si riferiscono.

I requisiti minimi che mappe acustiche e mappe acustiche strategiche devono soddisfare sono funzionali ai tre obiettivi individuati dalla Direttiva Europea 2002/49/CE (Parlamento Europeo, 2002):

- raccolta di informazioni strategiche (dati da trasmettere alla Commissione);
- informazioni al pubblico;
- elaborazione dei piani di azione.

Le informazioni da trasmettere alla Commissione prevedono l'elaborazione di due set di dati che si diversificano per il contesto territoriale applicativo e le tipologie di sorgente che vi insistono: dati di carattere generale e mappe acustiche.

L'informazione al pubblico è uno dei principali obiettivi che la END individua per questa informazione che deve essere necessariamente sotto forma grafica (mappe), con tematismi di diversa tipologia es. mappe di conflitto, mappe di confronto tra stato attuale e scenari futuri. Aspetto fondamentale è che siano di facile consultazione.

A supporto delle attività di pianificazione e progettazione degli interventi di risanamento, è prescritta l'elaborazione di mappe di conflitto, attraverso cui individuare le aree di superamento dei limiti e stimare il numero di ricettori esposti[4,5].

Per i grandi agglomerati considerati dalla END, gli obiettivi principali di questi piani sono da un lato la riduzione del rumore nelle zone in cui è giudicato troppo importante e dall'altro la limitazione del suo aumento nelle zone in cui l'ambiente sonoro è giudicato soddisfacente. Le rappresentazioni grafiche prodotte in vista di quest'impiego dovranno dunque indicare almeno le zone da trattare ed in particolare le aree di forte esposizione e le aree quiete. Anche se questo tipo d'informazione non costituisce il risultato finale, l'identificazione di queste porzioni di territorio è necessaria come tappa intermedia. Essa riguarda l'identificazione delle aree dove il superamento di valori limite e la natura più o meno sensibile in funzione dell'occupazione e dell'impiego dello spazio, rendono necessario lo studio di queste zone.

La messa in atto di piani d'azione richiede spesso di gerarchizzare le azioni che si prevedono di condurre. Le mappe dovranno così indicare non soltanto i superamenti di valori limite, ma anche i parametri di gerarchizzazione: periodo di esposizione, popolazione esposta, contributo preponderante di alcune sorgenti, sensibilità particolare conseguente all'impiego o all'occupazione dello spazio.

Infine le carte possono anche permettere di verificare l'impatto di alcuni interventi di risanamento o di comparare diversi scenari previsti. Dovranno allora presentare raffronti di situazioni prima/dopo l'intervento e dello stato attuale-stato futuro.

Oltre agli obiettivi minimi a cui devono mirare i piani d'azione, le mappe acustiche strategiche possono servire a supportare politiche locali di minimizzazione del rumore, in particolare nella limitazione dell'aumento del rumore sul territorio, nel controllo del rumore di nuovi progetti e sistemazioni, nella predisposizione del Piano Urbano del Traffico e nelle politiche di gestione delle zone edificabili presenti all'interno dei regolamenti urbanistici e dei regolamenti edilizi.

La mappatura acustica può dunque vedersi come uno strumento preventivo di lotta contro il rumore attraverso misure urbanistiche. A questo titolo, le mappe acustiche rappresentano un mezzo per individuare settori interessati dal rumore i quali, a loro volta, possono permettere di orientare le decisioni in materia di pianificazione territoriale. Inoltre, le carte possono servire, nel quadro dei piani urbani del traffico, a determinare le zone prioritarie e a valutare gli impatti acustici delle misure previste. Infine, le mappe di rumore possono essere accoppiate o incrociate con carte che rappresentano altre tematiche per avere una visione più ampia, ad esempio, su situazioni ambientali.[4]

### 3.2.1.2 Requisiti minimi delle mappe acustiche e mappe acustiche strategiche

Secondo il D. Lgs. 194/05, allegato 4, i **requisiti minimi** per la mappatura acustica e per le mappe acustiche strategiche sono i seguenti.

1. La mappatura acustica e le mappe acustiche strategiche costituiscono una rappresentazione di dati relativi ad uno dei seguenti aspetti:
  - a) la situazione di rumore esistente o prevista in funzione di un descrittore acustico;
  - b) il numero stimato di edifici abitativi, scuole e ospedali di una determinata zona che risultano esposti a specifici valori di un descrittore acustico;
  - c) il numero stimato delle persone che si trovano in una zona esposta al rumore;
  - d) il superamento di un valore limite, utilizzando i descrittori acustici di cui all'art. 5.
2. La mappatura acustica e le mappe acustiche strategiche possono essere presentate al pubblico in forma di:
  - a) grafici;
  - b) dati numerici in tabulati;
  - c) dati numerici in formato elettronico.
3. Le mappe acustiche strategiche relative agli agglomerati riguardano in particolar modo il rumore emesso:
  - a) dal traffico veicolare;
  - b) dal traffico ferroviario;
  - c) dal traffico aeroportuale;
  - d) dai siti di attività industriale, inclusi i porti.
4. Le mappe acustiche strategiche e la mappatura acustica fungono da base per:
  - a) i dati da trasmettere alla Commissione ai sensi dell'art. 7 del decreto;
  - b) l'informazione da fornire ai cittadini ai sensi dell'art. 8 del decreto;
  - c) i piani d'azione ai sensi dell'art. 4 del decreto.
5. I requisiti minimi per le mappe acustiche strategiche e per la mappatura acustica, in relazione ai dati da trasmettere alla Commissione, figurano nell'allegato 6 del decreto, punti 1.5, 1.6, 2.5, 2.6 e 2.7.
6. Per l'informazione ai cittadini ai sensi dell'art. 8 e per l'elaborazione di piani d'azione ai sensi dell'art. 4 sono necessarie informazioni supplementari e più particolareggiate, come:
  - a) una rappresentazione grafica;
  - b) mappe che visualizzano i superamenti dei valori limite;
  - c) mappe di confronto, in cui la situazione esistente è confrontata a svariate possibili situazioni future;

- d) mappe che visualizzano il valore di un descrittore acustico a un'altezza diversa da 4 m, ove opportuno;
  - e) la descrizione delle strumentazioni e delle tecniche di misurazione impiegate per la sua redazione, nonché la descrizione dei modelli di calcolo impiegati e della relativa accuratezza.
7. La mappatura acustica e le mappe acustiche strategiche ad uso locale o nazionale devono essere tracciate utilizzando un'altezza di misurazione di 4 m e intervalli di livelli di  $L_{den}$  e  $L_{night}$  di 5 dB come definito nell'allegato 6 del decreto.
  8. Per gli agglomerati devono essere tracciate mappature acustiche distinte per il rumore del traffico veicolare, ferroviario, aereo e dell'attività industriale. Possono essere aggiunte mappature relative ad altre sorgenti di rumore.

Qui di seguito i requisiti minimi che mappe acustiche e mappe acustiche strategiche devono soddisfare sono riorganizzati in funzione dei tre obiettivi funzionali individuati dalla legislazione vigente in accordo alla direttiva europea 2002/49/CE:

- raccolta di informazioni strategiche (dati da trasmettere alla Commissione);
- informazione al pubblico;
- elaborazione dei piani di azione.

### **Dati da trasmettere alla Commissione Europea**

Le informazioni da trasmettere alla Commissione Europea, in relazione alle attività di mappatura acustica e mappatura acustica strategica, prevedono l'elaborazione di due insiemi di dati che si diversificano per il contesto territoriale applicativo (agglomerati urbani ed ambito extraurbano) e le tipologie di sorgente che vi insistono.

I dati devono essere rappresentati sia sottoforma di informazioni relative al contesto comprendente una descrizione sintetica dell'agglomerato con relative dimensioni, numero di abitanti, autorità competente, eventuali programmi di contenimento e mitigazione del rumore, metodi di calcolo e/o di misura utilizzati, sia sottoforma di mappe acustiche relative al rumore emesso dalle quattro tipologie di sorgenti precedentemente descritte, ovvero:

- a) traffico veicolare;
- b) traffico ferroviario;
- c) traffico aeroportuale;
- d) siti di attività industriale, inclusi i porti;

ed infine l'insieme di tutte le sorgenti sopra indicate (mappa acustica strategica).

Le mappe relative alle singole sorgenti devono contenere i seguenti dati:

1. numero totale stimato (arrotondato al centinaio) di persone che vivono nelle abitazioni esposte a ciascuno dei seguenti intervalli di livelli di  $L_{den}$  in dB a 4 m di altezza sulla facciata più esposta: da 55 dB a 59 dB, da 60 dB a 64 dB, da 65 dB a 69 dB, da 70 dB a 74 dB, >75 dB;
2. numero totale stimato (arrotondato al centinaio) di persone che occupano abitazioni esposte a ciascuno dei seguenti intervalli di livelli di  $L_{night}$  in dB a 4 m di altezza sulla facciata più esposta: da 50 dB a 54 dB, da 55 dB a 59 dB, da 60 dB a 64 dB, da 65 dB a 69 dB, >70 dB. Questi dati potranno altresì essere valutati per la fascia da 45 dB a 49 dB anteriormente alla data del 18 luglio 2009 (D. Lgs. 194/05, allegato 6, punto 1.6).

Relativamente alle infrastrutture di trasporto principali nella descrizione delle informazioni generali occorre indicare le caratteristiche dell'infrastruttura stessa, l'ubicazione, i flussi di traffico, eventuale presenza di centri abitati nelle adiacenze, eventuali programmi di contenimento di rumore adottati ed infine metodologie di misura e calcolo adottati. Devono inoltre essere inviate:

- le mappe di esposizione contenenti le informazioni relative al numero di persone esposto agli intervalli di livelli sopra descritti.
- la superficie totale, in km<sup>2</sup>, esposta a livelli di  $L_{den}$  rispettivamente maggiori di 55 dB, 65 dB e 75 dB.
- il numero totale stimato di abitazioni, arrotondato al centinaio, ed il numero totale stimato di persone, arrotondato al centinaio, presenti in ciascuna zona. Le cifre includono gli agglomerati.
- le curve isolivello 55 dB e 65 dB su una o più mappe che devono comprendere informazioni sull'ubicazione di paesi, città e agglomerati all'interno delle curve isolivello.

### **3.2.1.3 Dati a supporto dell'elaborazione dei piani d'azione**

A supporto delle attività di pianificazione e progettazione degli interventi di risanamento occorre predisporre i seguenti elaborati:

- a) mappe acustiche (su di un piano orizzontale a 4 m di altezza e, quando opportuno, su di un piano di sezione verticale), per singole sorgenti, tracciate utilizzando gli indicatori a cui si riferiscono i valori limite di rumore;
- b) mappe acustiche strategiche (su di un piano orizzontale a 4 m di altezza e, quando opportuno, su di un piano di sezione verticale), tracciate utilizzando gli indicatori a cui si riferiscono i valori limite di rumore (solo per gli agglomerati);
- c) mappe di conflitto;
- d) strati informativi, da associare alle mappe di conflitto, con i seguenti contenuti minimi:
  - descrizione della sorgente/i che generano il conflitto;
  - stima del numero di ricettori esposti al superamento dei limiti per multipli di 5 dB(A);
  - zonizzazione acustica comunale e fasce di pertinenza delle infrastrutture.

### **3.2.1.4 Modalità di produzione mappatura acustica strategica**

I riferimenti metodologici in materia di mappatura acustica sono:

- la normativa di riferimento ed in particolare il D.Lgs. 194/05 (recepimento direttiva europea);
- le Good Practice Guide pubblicate dalla Commissione Europea;
- le linee guida UNI alla mappatura acustica strategica ed ai Piani d'Azione;

L'iter procedurale di realizzazione di una mappatura acustica può essere suddiviso nelle seguenti fasi:

- 1) raccolta dei dati informativi e territoriali;
- 2) monitoraggio acustico delle aree da mappare;
- 3) elaborazione del modello di calcolo per la stima dei livelli sonori;
- 4) generazione delle mappe acustiche, strategiche nel caso di agglomerati;
- 5) predisposizione dei risultati secondo i formati stabiliti;
- 6) divulgazione dei risultati della mappatura.

Ogni fase prevede l'implementazione di alcuni specifici processi metodologici connessi con l'attuazione degli schemi valutativi dalla legislazione vigente.

Nel caso di un agglomerato occorre sovrapporre i risultati ottenuti dalla modellazione delle quattro sorgenti descritte in precedenza [4,5]

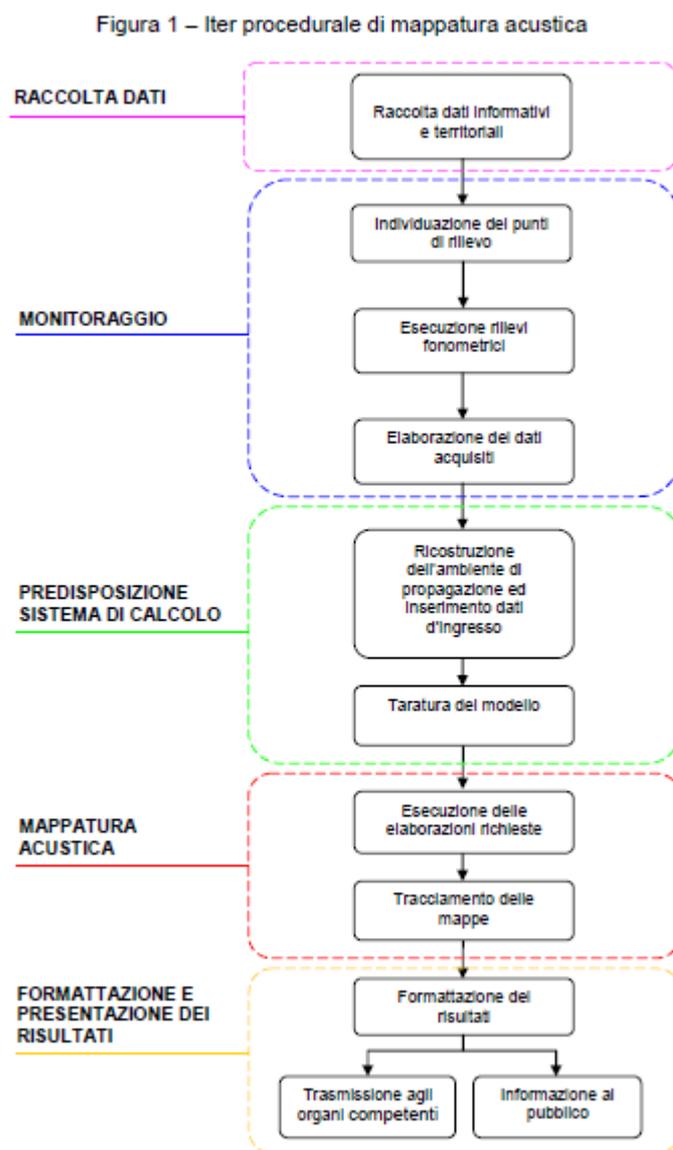


Figura 3 - Schema a blocchi

### 3.2.1.5 Raccolta di dati informativi territoriali

Per l'elaborazione delle mappe acustiche e mappe acustiche strategiche la Direttiva 49/2002/EC dispone l'uso di modelli di calcolo in grado di determinare i valori dei descrittori a lungo termine nei tre periodi di riferimento (diurno, serale, notturno), tenendo

conto degli effetti meteorologici e delle fluttuazioni dell'emissione acustica delle sorgenti nell'anno di osservazione.

I dati relativi alle caratteristiche geometriche e morfologiche del territorio devono essere acquisiti in formato vettoriale.

Devono in particolare essere acquisiti:

- la localizzazione e caratterizzazione dimensionale delle sorgenti di rumore;
- la localizzazione e caratterizzazione geometrica dell'edificio (perimetro, altezza, forma);
- l'acquisizione dell'andamento altimetrico del terreno;
- l'individuazione del perimetro delle aree con specifiche caratteristiche di attenuazione dell'onda sonora (tipo di copertura del suolo);
- la localizzazione e caratterizzazione dimensionale di ostacoli naturali o artificiali alla propagazione.

La fase di acquisizione di dati rappresenta, come spesso accade nell'implementazione di sistemi informativi territoriali, un fattore critico.

Il D.Lgs. 194/05 (art. 3 comma 1), richiede che la mappatura acustica sia riferita ad un anno fissato, ovvero all'anno precedente a quello in cui la mappatura deve essere consegnata.

I dati reperibili difficilmente hanno un livello di aggiornamento omogeneo.

E' quindi importante che venga dichiarato un periodo di riferimento a cui si riferiscono i dati.

Relativamente all'estensione dell'area da mappare, per quanto riguarda gli agglomerati, la direttiva 2002/49 specifica che la mappatura deve essere estesa a tutto l'agglomerato, entro i confini territoriali indicati dalla regione.

Generalmente l'agglomerato non coincide con un singolo comune, ma coinvolge anche un ambito urbanizzato omogeneo che generalmente comprende l'area di un comune centrale e le aree di comuni limitrofi che costituiscano nel loro insieme un ambito territoriale con caratteristiche relativamente omogenee dal punto di vista urbanistico.

Nel toolkit 1 della *Good Practice Guide*, è descritta una metodologia che consente di determinare l'estensione dell'area da mappare in funzione della densità abitativa, delle caratteristiche morfologiche dell'area, dei flussi di traffico, ecc.

### **3.2.1.6 Descrizione dei dati territoriali utilizzati come input di modelli numerici**

Come già ribadito, i modelli numerici richiedono l'utilizzo in formato vettoriale di dati relativi alle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'area da mappare. I formati devono permettere l'interoperabilità tecnica e rispettare quindi gli standard OGC.

Il formato shapefile è comunque accettato come standard di fatto.

Il sistema di riferimento richiesto dalla Commissione Europea è il seguente:

- il sistema geodetico (Datum) ETRF89 (Ellissoide WGS84);
- la rappresentazione conforme UTM (coordinate cartografiche UTM-WGS84).

I dataset utilizzati nella modellazione numerica sono i seguenti:

1. andamento altimetrico del terreno;
2. localizzazione e caratterizzazione dimensionale delle sorgenti di rumore;
3. localizzazione e caratterizzazione geometrica degli edifici (perimetro, altezza, forma);
4. perimetro delle aree con specifiche caratteristiche di attenuazione dell'onda sonora (tipo di copertura del suolo);
5. localizzazione e caratterizzazione dimensionale di ostacoli naturali o artificiali alla propagazione;
6. distribuzione della popolazione negli edifici residenziali, intesa come numero di residenti per ogni edificio ad uso abitativo oppure come numero di residenti per numero civico su file georeferenziato sovrapponibile a quello degli edifici.

Le basi cartografiche devono essere aggiornate all'anno di riferimento.

Relativamente al modello digitale del terreno, le *Good Practice Guide (toolkit 11)*, prevedono un'accuratezza non inferiore a 10 metri.

Relativamente alla copertura del suolo lo standard europeo è Corine Land Cover, la versione più aggiornata è CLC 2006.

Le caratteristiche acustiche del suolo possono essere state assegnate attribuendo ad ogni area identificata nel progetto *Corine* un valore di *ground factor* coerente con il toolkit 13 della *Good Practice Guide*, oppure attribuendo un valore di *ground factor* – per esempio sempre desunto dal toolkit 13 della *Good Practice Guide* da affinare durante il processo di calibrazione del modello di simulazione.

Relativamente agli edifici, è di fondamentale importanza l'altezza dal suolo degli edifici. In mancanza del dato occorre, secondo quanto previsto da *Good Practice Guide*, l'altezza di 8 metri.

Altra informazione essenziale è la destinazione d'uso, in quanto necessaria per poter distribuire la popolazione residente.

Per definire correttamente l'effetto della presenza degli edifici è inoltre necessario importare nei modelli il valore di assorbimento acustico delle facciate, (*Good Practice Guide*, toolkit 15 e 16).

I dati demografici georeferenziati possono essere acquisiti dall'ISTAT.

### **3.2.1.7 Dati relativi a sorgenti sonore**

Relativamente alle sorgenti stradali, in ambito urbano devono essere mappate tutte le strade indipendentemente dal flusso veicolare.

La *Good Practice Guide toolkit 1* riporta una procedura di valutazione che consente di individuare l'estensione degli assi da mappare in relazione ai flussi veicolari ed alla destinazione d'uso del territorio.

Secondo quanto richiesto dalla Commissione Europea inoltre ogni infrastruttura deve essere rappresentata come un grafo (archi e nodi).

Sarebbe importante utilizzare la segmentazione dinamica per rappresentarne le caratteristiche in termini di pendenza, flussi di traffico, velocità, tipologia di manto stradale. I software di modellizzazione, normalmente supportano questa funzionalità. La norma UNI/TS 11387 individua le caratteristiche e le soglie dimensionali relative all'infrastruttura che possono essere significative per quanto riguarda la variazione di potenza sonora.

Il livello di disaggregazione del dato ovviamente influisce sull'accuratezza della valutazione del livello di potenza sonora calcolato.

Le misure di traffico possono essere operate con sistemi di monitoraggio automatico fise o mobili, è comunque importante che venga effettuata la almeno una classificazione in veicoli leggeri e pesanti.

E' di fondamentale importanza che il ogni valore sia accompagnato dalla relativa incertezza.

I dati di traffico possono anche essere generati da modelli di calcolo, ma solitamente questi modelli di traffico devono essere adattati per renderli compatibili ai modelli di rumore relativamente ai seguenti aspetti:

- risoluzione spaziale;
- risoluzione temporale;
- livello di dettaglio prodotto;

Nei modelli di traffico inoltre, le strade vengono rappresentate da grafi la cui sovrapposizione con le strade non è garantita in quanto ininfluyente per le finalità del modello stesso.

I livelli di potenza sonora relativi alle sorgenti stradali, possono essere inoltre acquisite con misure rilevate con centraline di monitoraggio o con tecnica di campionamento. In questo modo è possibile ottenere la potenza sonora in bande di terzi d'ottava.

Occorre effettuare misure per ogni tronco omogeneo di strada lontano da interruzioni semaforiche.

Relativamente ai tempi di misura, occorre adottare una metodologia che consenta di ottenere un valore rappresentativo di un anno, come previsto dalla normativa vigente.

Relativamente alle sorgenti ferroviarie, in ambito urbano devono essere mappate tutte le tratte ferroviarie indipendentemente dall'entità del traffico ferroviario.

Analogamente alle infrastrutture stradali, la Commissione Europea richiede che ciascuna infrastruttura individuata sia sezionata in segmenti. Ogni segmento può essere costituito da uno o più archi del grafo.

I segmenti devono poi essere suddivisi dinamicamente in base a caratteristiche quali, velocità media dei convogli, tipo di armamento, numero di binari ecc..

Anche in questo caso la norma UNI/TS 11387 individua dei parametri di riferimento per la segmentazione.

Per ogni tronco omogeneo di tratta ferroviaria devono essere forniti i flussi medi di traffico relativi ai periodi di riferimento diurno, serale e notturno, suddivisi per tipologia e lunghezza dei convogli.

La classificazione dei convogli si esegue in funzione del numero di assi per unità di lunghezza del treno, della tipologia dei freni, della dimensione delle ruote utilizzate, delle caratteristiche funzionali (treni passeggeri e merci), del tipo di locomozione.

I dati di traffico richiesti includono:

- il numero di treni in transito;
- la velocità media dei convogli;
- la lunghezza dei convogli;
- la rugosità media delle ruote per ogni convoglio;
- lo stato della sorgente: stazionario, a velocità costante, in accelerazione, in decelerazione;
- la percentuale di convogli con sistema frenante attivo.

Il livello di potenza sonora può essere fornito al modello di calcolo in bande di terzi d'ottava rilevati mediante rilievi fonometrici acquisiti nei diversi periodi di riferimento. (diurno, serale e notturno).

Lo spettro di potenza sonora può essere determinato rilevando con continuità il livello di pressione sonora nell'arco della giornata, oppure prelevando un numero adeguato di campioni di durata opportuna che includano periodi rappresentativi della variabilità delle condizioni di esercizio.

Per la calibrazione del modello di calcolo i rilievi acustici si diversificano in funzione dello scenario sonoro presente nell'area analizzata:

- A: ricettori presenti non interessati da rilevanti sorgenti di rumore ambientale, ad eccezione del traffico ferroviario;
- B: ricettori interessati, oltre che dal traffico ferroviario, anche da altre rilevanti sorgenti di rumore, generalmente infrastrutture stradali e/o impianti produttivi;

Relativamente alle sorgenti aeroportuali, la stima dei livelli di pressione sonora viene espressa in  $L_{AE}$ , la cui determinazione avviene attraverso l'esecuzione delle seguenti fasi:

1. determinazione del livello di rumore generato dai movimenti dei singoli velivoli in alcuni punti di esposizione attorno all'aeroporto;
2. somma o composizione dei singoli livelli di rumore, calcolati nei rispettivi punti, in accordo con la formulazione dell'indicatore scelto;
3. interpolazione e rappresentazione grafica delle curve isolivello in relazione all'indicatore selezionato.

La determinazione del livello di rumore generato dai movimenti dei singoli velivoli comporta la definizione di una serie di punti di ricezione su cui effettuare la valutazione del livello di rumore al suolo.

Il valore assunto dall'indicatore di riferimento tiene conto delle condizioni meteorologiche medie di lungo periodo. Le condizioni standard per le quali non è prevista alcuna correzione sono:

- velocità del vento inferiore a 8 m/s;
- prodotto dei valori di umidità relativa (%) e temperatura (°C) > 500;
- temperatura dell'aria < 30°C;

Il calcolo delle curve isolivello presuppone la determinazione dell'impatto complessivo al suolo generato dall'insieme dei passaggi per ogni tipologia di aereo e per ogni traiettoria. Le curve isolivello derivano da un'interpolazione dei valori ottenuti ai ricettori.

L'elaborazione delle mappe acustiche richiede che siano acquisiti i seguenti dati:

1. centro di riferimento dell'aeroporto (ARP) e quota di elevazione nominale;
2. piste dell'aeroporto georeferenziate;
3. radioassistenze e punti notevoli georeferenziate;
4. traiettorie nominali di decollo/atterraggio;
5. dati topografici: modello digitale del terreno con passo 3" di arco (o migliore).

Relativamente ai siti di attività industriale, la mappatura acustica si applica ai "siti di attività industriale" interni agli agglomerati, nelle aree classificate in V e VI classe ai sensi del DPCM 14/11/97, nel quale sono inseriti attività industriali autorizzate con Autorizzazione Integrata Ambientale (direttiva IPPC).

Per la caratterizzazione geometrica e funzionale dei siti di attività industriale si devono acquisire i seguenti dati:

- estensione territoriale del sito industriale e aziende ad esso afferenti;
- rappresentazioni planimetriche georeferenziate del sito industriale;
- principali cicli produttivi e loro articolazione temporale, specificando gli orari di lavoro, particolari assetti di produzione che possano dare origine a variazioni dell'emissione sonora ed eventuali ciclicità stagionali;
- ripartizione delle linee produttive sull'area del sito ed eventuale collocazione all'interno di fabbricati industriali;
- operatività del sito in relazione ai periodi diurno, serale, notturno;
- descrizione dei flussi di materiale da e per il sito e modalità di trasporto.

Il parametro utilizzato per la caratterizzazione dell'emissione sonora di una sorgente o di un complesso di sorgenti costituenti il sito industriale è il livello di potenza sonora, espresso almeno come dato globale, ma preferibilmente come spettro in bande d'ottava o di un terzo di ottava, corredato dei dati eventuali di direttività, valutati secondo le norme tecniche applicabili.

I livelli di potenza devono riferirsi ai periodi diurno, serale e notturno e possono, all'occorrenza, essere espressi in relazione all'unità di superficie del sito industriale o di parte di questo.

Il dato sulla potenza sonora può essere anche desunto dalle informazioni acquisite attraverso campagne sperimentali di rumore ambientale pregresse e/o modellazioni matematiche del rumore ambientale sviluppate nell'ambito di procedimenti autorizzativi (per esempio Studi di Impatto Ambientale, Autorizzazione Integrata Ambientale, documentazione prodotta a seguito dell'approvazione della zonizzazione), previa opportuna verifica ed analisi della loro effettiva applicabilità nell'ambito della mappatura strategica.

Nel caso si renda necessario procedere alla stima delle caratteristiche emissive del sito industriale per via sperimentale e non risulti applicabile alcuna delle metodiche indicate nel toolkit 10, devono essere effettuate indagini fonometriche conformi alla normativa pertinente e alla legislazione vigente.

### **3.2.1.8 Dati meteorologici**

Le condizioni meteorologiche, influenzano in modo notevole la propagazione acustica, ed il valore di pressione può variare di alcuni dB(A), ad una distanza di qualche centinaio di metri dalla sorgente.

I fenomeni atmosferici che incidono maggiormente sulla propagazione sonora sono il vento e la temperatura dell'aria.

Il vento causa diversificazioni della propagazione che dipendono dalla posizione della sorgente e ricevitore, mentre la variazione verticale della temperatura determina effetti isotropi sul piano orizzontale.

Per ottenere dati significativi, occorre effettuare una valutazione su un set di dati di almeno decennale.

E' tuttavia importante notare che determinate zone, con caratteristiche orografiche particolari, possono presentare condizioni di propagazione del tutto peculiari; per questo motivo si ritiene che valutazioni raccolte a grande distanza dal punto di interesse possano essere utilizzate solamente qualora ci si trovi nelle seguenti condizioni:

- aree pianeggianti, con sporadica presenza di edifici e vegetazione bassa;

- assenza di grandi superfici d'acqua (laghi, grandi fiumi) lungo il percorso di propagazione;
- quota sul livello del mare non superiore a 500 metri.

In mancanza di questi requisiti è consigliabile acquisire dati meteorologici locali o introdurre i valori percentuali cautelativi, raccomandati dalla Commissione Europea (cfr. *Good Practice Guide*, toolkit 21). In sintesi tale toolkit raccomanda di usare, in ordine di preferenza:

- dati meteorologici locali;
- dati specificati in norme tecniche o regolamenti nazionali;
- dati meteorologici di default a livello nazionale;
- i valori di default di tabella seguente;

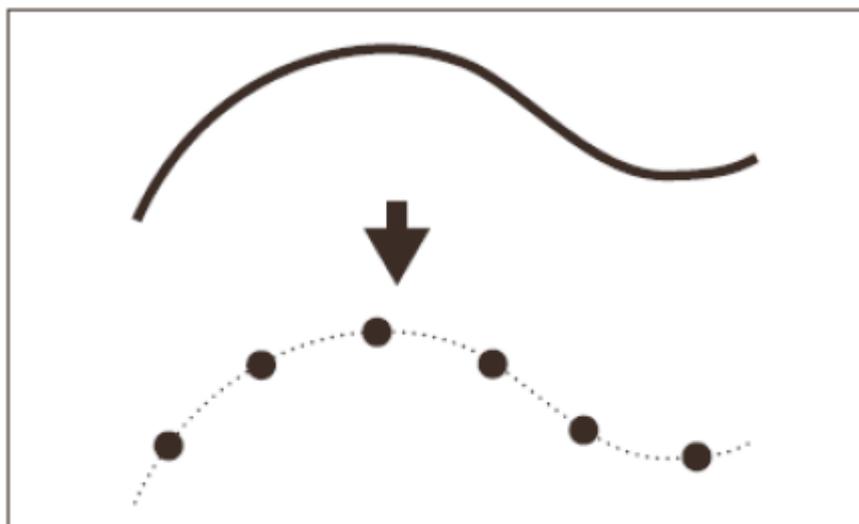
<b>Periodo di riferimento</b>	<b>Frazione <math>p</math> dell'anno solare di condizioni favorevoli alla propagazione sonora</b>
Giorno (06-20)	$p = 0,5$
Sera (20-22)	$p = 0,75$
Notte (22-06)	$p = 1$

Una determinazione più dettagliata dell'incidenza di condizioni favorevoli alla propagazione sonora può essere effettuata sulla base dei dati meteorologici forniti da una vicina stazione di monitoraggio ed elaborati secondo la UNI ISO 1996-2. Il metodo prevede il calcolo del valore del raggio di curvatura sonora. Tale calcolo richiede tuttavia la disponibilità di dati meteorologici di difficile disponibilità, riferiti ad un arco temporale di almeno un decennio.

### **3.2.1.9 Modalità di elaborazione delle mappe acustiche**

Per i trasporti terrestri, la previsione dei livelli sonori è spesso ottenuta secondo un modello che si basa sulla tecnica del *Ray Tracing* (o, più spesso, dell'*Inverse Ray Tracing*) [7]. Il metodo di segmentazione da parte sua è invece utilizzato per la costruzione di modelli del rumore aereo. I calcoli sono effettuati in bande di ottava, da 125 a 4.000 Hz per i rumori stradali e ferroviari, da 63 ad 8.000 Hz per il rumore d'origine industriale e da 50 a 10.000 Hz per il rumore aereo. Il risultato finale è espresso in dB(A) dato dalla somma energetica dei livelli sonori corrispondenti a ciascuna banda d'ottava.

Inizialmente, e per quanto riguarda la tecnica del tracciamento dei raggi, il principio di approccio previsionale è che ogni sorgente da considerare (di tipo puntuale, lineare, di superficie, volumetrica) è rappresentata da una sorgente specifica equivalente, o da un insieme di sorgenti specifiche elementari. Questo principio è illustrato qui di seguito per il caso di una sorgente stradale.



*Figura 4 - Scomposizione di una sorgente stradale areale in sorgenti puntiformi*

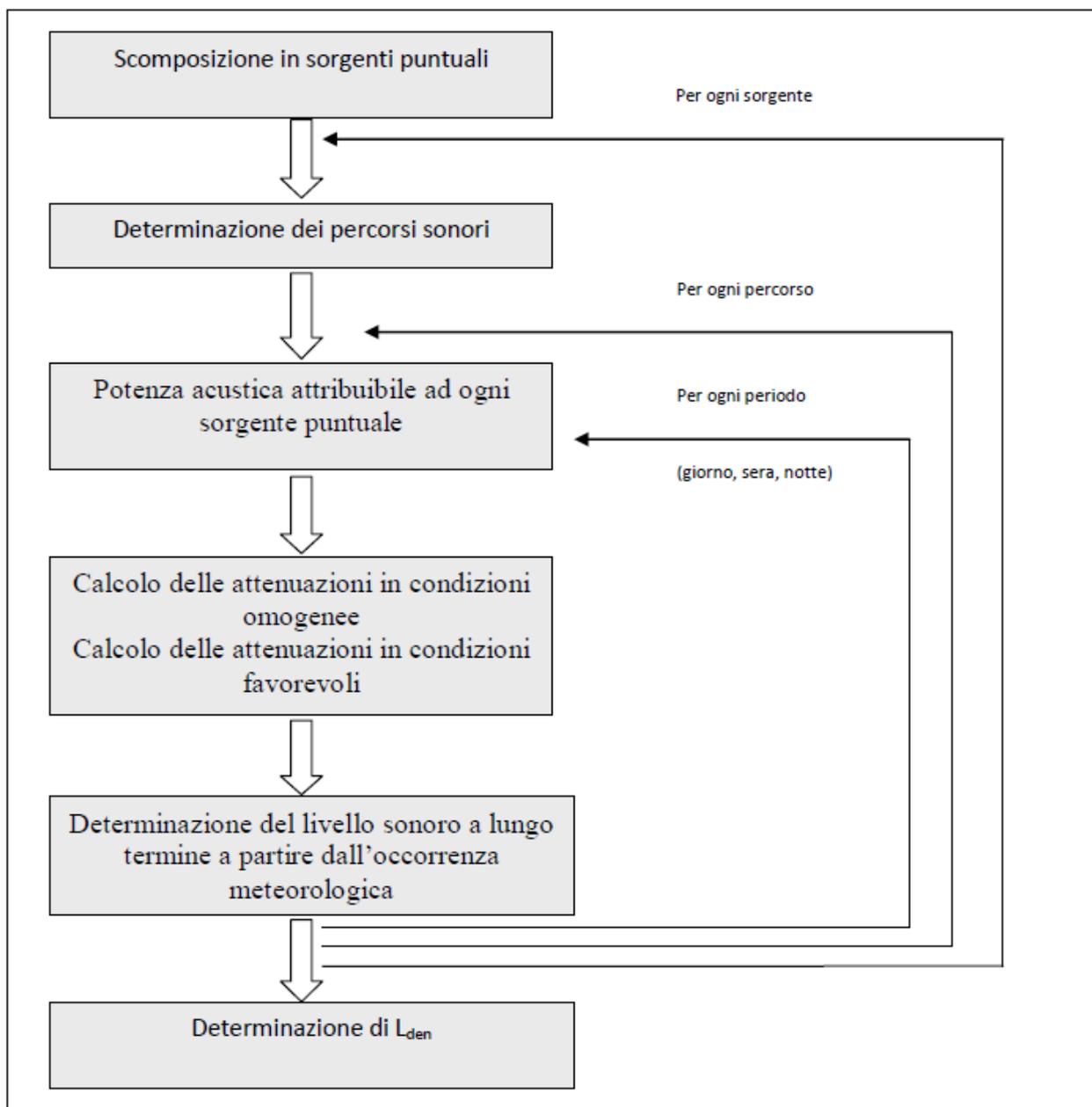
L'applicazione di questo principio di scomposizione delle sorgenti è la prima tappa dei calcoli di previsione. Successivamente, si determinano tutti i tragitti acustici possibili tra ogni sorgente specifica equivalente ed il ricevitore studiato, considerando i parametri dell'algoritmo di *Ray Tracing* come la densità dei raggi, il numero di riflessioni massime nel corso di un cammino acustico e la distanza di propagazione massima di un raggio. Secondo il metodo di determinazione dei tragitti di propagazione, queste prime due tappe possono essere invertite. La terza tappa del calcolo consiste nel destinare ad ogni sorgente specifica equivalente o elementare una potenza acustica e, secondo il tipo di sorgente e se necessario, di una direttività spaziale. In un quarto tempo, si calcolano, per ogni tragitto, tutte le attenuazioni sonore presenti nel corso della propagazione, come:

- la divergenza geometrica;
- l'assorbimento atmosferico;
- gli effetti del suolo;
- le diffrazioni degli ostacoli;

- le riflessioni ed assorbimenti delle superfici (generalmente verticali).

Per ogni tragitto, questa quarta tappa è ripetuta per due condizioni meteorologiche distinte: condizioni omogenee e condizioni favorevoli alla propagazione del suono. Il livello sonoro a lungo termine proprio di ogni tragitto è allora ottenuto dalla somma energetica dei livelli sonori corrispondenti in condizioni omogenee e favorevoli, ponderati dal verificarsi medio delle condizioni favorevoli a lungo termine nella direzione principale di propagazione di questo tragitto.

Il livello sonoro globale a lungo termine al ricevitore studiato è finalmente ottenuto dalla somma energetica dell'insieme dei livelli sonori propri di ogni cammino acustico, ultima tappa del processo. Per calcolare un descrittore composto come  $L_{den}$ , tutte queste tappe sono da ripetere per ciascuno dei tre periodi giorno, sera e notte, per determinare i livelli globali a lungo termine propri di ogni periodo di riferimento. L'organigramma qui di seguito (Figura 3.4) ricapitola le principali tappe del metodo generale di calcolo di previsione dei livelli sonori. Il metodo di segmentazione utilizzata per gli aerei è descritto in dettaglio nella versione rivista del doc. 29 ECAC.CEAC. Questo metodo consiste innanzitutto nel ritagliare la rotta di un aereo in molti segmenti diritti lungo i quali l'altitudine, la velocità e la potenza dell'aereo restano costanti. Si determina in seguito per ogni segmento il punto la cui perpendicolare rappresenta la più vicina al ricevitore. La tappa seguente consiste nel valutare il contributo di ogni segmento al livello d'esposizione al rumore indotto dal passaggio dell'aereo a partire dalla distanza sorgente-ricevitore, dai dati di potenza sonora dell'aereo, dalla direttività laterale della sorgente e dall'attenuazione laterale del rumore. Le "frazioni di rumore" dei segmenti significativi, cioè quelli che contribuiscono significativamente al livello di rumore generato dal passaggio dell'aereo, sono sommate. Il valore dell'indice  $L_{den}$  è finalmente ottenuto dalla somma energetica dei livelli sonori calcolati per ogni passaggio d'aereo tenendo in considerazione le ponderazioni predefinite per i tre periodi giorno/sera/notte.



*Figura 5 - Procedura per il calcolo del  $L_{den}$ .*

### **3.2.1.10 Modalità di acquisizione dei livelli sonori**

La Direttiva 49/2002/EC prevede l'impiego possibile di campagne di misura strumentali nel quadro della realizzazione delle mappe acustiche strategiche. L'elaborazione delle mappe acustiche con questa procedura è generalmente impraticabile a causa, oltre che dei costi spropositati, dell'estensione temporale richiesta (rappresentatività annuale del dato) e della risoluzione spaziale necessaria affinché i dati prodotti e la relativa mappa siano conformi alle

specifiche della END. Risulta difficile, infatti, realizzare campagne di misura abbastanza dettagliate per stimare un livello sonoro sulla facciata più esposta di ogni edificio interessato e in particolare riadattare tutte le misure su ipotesi di traffico medio per ogni periodo di riferimento.

Tuttavia, i rilievi strumentali *in situ* possono essere utilizzati nelle fasi di ricerca di dati di input o, più a valle, in occasione della taratura e poi della validazione dei risultati prodotti dal modello di calcolo necessari per l'elaborazione delle mappe acustiche. Queste situazioni corrispondono ad esempio alle necessità:

- di quantificare alcuni valori d'emissione, come quelli prodotti da sorgenti specifiche o non “catalogate” (impianti industriali, tram, elicotteri, barche, etc.);
- di raffinare alcuni parametri di input (valori estrapolati, valori sommari, etc.);
- di verificare l'accuratezza dei risultati dei calcoli e il livello di accuratezza di una mappa;
- di oggettivare una situazione complessa (multi-sorgente) o una situazione controversa (zona di reclami);
- di qualificare l'esposizione sonora dei ricettori sensibili (per le aree quiete, ad esempio);
- di facilitare l'accettazione dei risultati dei calcoli nel quadro di una comunicazione pubblica.

I livelli di rumore derivati da misure sono infatti spesso percepiti dalle popolazioni come più “credibili” rispetto ai risultati dei calcoli, per quanto accurati siano. Così, la realizzazione di misure offre il vantaggio di valorizzare le mappe di rumore allo stesso tempo sul piano tecnico e da un punto di vista informativo: grazie all'introduzione di fattori di temporalità (evoluzione, fluttuazione), “mascherati” in una rappresentazione cartografica globale, fornisce elementi supplementari.

Nel lavoro svolto, tenuto conto dell'estensione dei territori dell'agglomerato oggetto dello studio, le misure sono state accuratamente determinate in luoghi pertinenti e su durate adeguate, in funzione dell'impiego che si è voluto farne. Si è potuto trattare secondo i casi:

- di misure spot (della durata di almeno 45 min), accompagnate da osservazioni sulle sorgenti di rumore caratterizzate (rilievi manuali di traffico);
- di misure in continua (24 o 48 ore) con contestuale acquisizione audio in formato .wav che hanno permesso di considerare meglio le fluttuazioni locali (ripartizione secondo i periodi giorno/sera/notte, rumori a carattere impulsivo, ecc.);

È stato anche utile utilizzare i dati di misure già disponibili (misure realizzate ad esempio nell'ambito della realizzazione del clima acustico comunale o in occasione di lamentele dei singoli cittadini).

Il metodo di realizzazione di misure *in situ* ha seguito i dettami del D.M. 16 Marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico".

### **3.2.1.11 Limiti dell'approccio tradizionale**

La necessità di incrementare una conoscenza ottenuta con l'approccio tradizionale basato essenzialmente sulla creazione di un modello fisico dell'ambiente urbano, viene evidenziata dai diversi punti di debolezza che presenta questa metodologia.

Il primo di questi è senz'altro la limitata accuratezza dei modelli ottenuti, che in determinati situazioni può superare i 10 dB(A) corrispondenti a due classi acustiche. Questo problema è causato principalmente dalla inevitabile scarsità di rilievi fonometrici (seppure di qualità elevatissima) acquisiti in campo per la taratura del modello, causato sia da problemi di risorse economiche che di tempo necessario all'esecuzione di monitoraggi. Ma è causato anche da altri fattori quali:

- scarsa accuratezza dei dati di input relativi alle sorgenti sonore da modellare. Occorre segnalare peraltro che il problema della scarsità di risorse economiche per l'acquisizione di dati, non riguarda solamente i monitoraggi per la taratura del modello, in quanto i gestori di infrastrutture spesso si limitano a fornire all'autorità incaricata dalla regione per la produzione di mappatura acustica strategica, le informazioni previste dalla normativa (D.Lgs. 194/05) che sono assolutamente insufficienti a produrre un risultato di qualità accettabile (in concreto vengono fornite essenzialmente le isofoniche), mentre rendono disponibili dati con risoluzione più elevata dietro pagamento di cifre in grado di dissuadere l'autorità procedente.
- limitata rappresentatività del livello globale di rumore calcolato dal modello rispetto la situazione acustica reale. La mappatura acustica strategica si riferisce alla somma energetica prodotta dalle 4 sorgenti previste dalla normativa (traffico veicolare, ferroviario, aereo, rumore industriale) relativa a condizioni meteo medie rappresentative di un anno. Ci sono diverse situazioni in cui il clima acustico è caratterizzato da sorgenti sonore non modellizzabili (cantieri industriali la cui attività può proseguire per diversi anni, attività commerciali e pubblici esercizi con

relativi impianti di condizionamento, diffusione musica e rumore provocato da avventori, manifestazioni temporanee ma ripetute nel tempo ecc..).

- aggiornamento della mappatura con frequenza quinquennale.

I problemi causati dal rumore, non sono giustificabili esclusivamente dal livello sonoro a cui i soggetti sono esposti. L'annoyance e il disturbo, sono una diretta conseguenza della tipologia di paesaggio sonoro che circonda l'individuo in determinati contesti.

Per pianificare in modo efficace interventi di risanamento acustico, diventa quindi di fondamentale importanza l'acquisizione di informazione relativa alla percezione del rumore da parte dei fruitori nei vari contesti. Questa informazione qualitativa è acquisita attraverso una metodologia denominata "soundscape analysis" già testata in diversi casi a livello europeo e in Italia unicamente nel Piano d'Azione Strategico del comune di Firenze. Il metodo del paesaggio sonoro, fornisce elementi utili e indirizzi per la progettazione del design acustico e quindi dei progetti di riqualificazione.

## **3.2.2 Piani di Azione**

### **3.2.2.1 Elaborazione dei piani d'azione**

L'obiettivo principale della mappatura acustica e mappatura acustica strategica, è la pianificazione di interventi di risanamento e mitigazione.

Lo strumento utilizzato per questo fine è il Piano d'Azione.

Il D.Lgs 194/05 definendo i contenuti del piano d'azione, specifica che il piano deve riportare sia gli interventi pianificati dalle autorità competenti per i successivi cinque anni, che la strategia a lungo termine.

Possono quindi esistere piani di azione che riportino contenuti sia operativi che strategici e piani con contenuti esclusivamente strategici o esclusivamente progettuali.

Nel secondo caso avremo:

- piano d'azione strategico. Definisce le scelte strategiche, ed individua le priorità di intervento, tenendo in considerazione anche gli impegni di spesa associati a scenari di intervento.
- piano d'azione progettuale. Contiene la definizione di singoli progetti, almeno ad un livello preliminare, degli interventi previsti nel piano strategico.

Le fasi di pianificazione che portano alla redazione dei piani, comprendono una prima individuazione degli ambiti di intervento sui quali dovrà focalizzarsi il piano d'azione.

Successivamente vengono definiti gli interventi in programma con la relativa priorità, che porta ad una proposta di piano da sottoporre alla consultazione con il pubblico. Dopo le consultazioni il piano viene approvato.

Si passa quindi alla progettazione esecutiva con relativa esecuzione degli interventi.

Il piano è sottoposto a monitoraggio per la verifica dello stato di attuazione e dell'efficacia dei risultati conseguiti.

Sebbene i contenuti di un piano d'azione siano definiti, i criteri per la predisposizione e l'attuazione del piano stesso non possono essere stabiliti in modo univoco e rigido.

Un piano d'azione può rappresentare, uno strumento complesso di gestione del territorio, correlato a differenti tematiche connesse alla pianificazione, alla mobilità, allo sviluppo produttivo, all'inquinamento dell'aria.

Le fasi principali per la redazioni di un piano d'azione sono le seguenti:

1. fase 1 “**pianificazione strategica preliminare**”. È una attività di ricognizione che porta a definire gli ambiti di intervento e il quadro delle decisioni strategiche che orientano la predisposizione del piano d'azione;
2. fase 2 “**definizione del piano**”. Identifica gli interventi in programma e assegna un quadro di priorità generale. Successivamente viene predisposta una proposta di piano, la quale è oggetto di consultazione con il pubblico e di eventuali revisioni. Questa fase termina con l'approvazione del piano d'azione;
3. fase 3 “**attuazione del piano**”. Prevede la progettazione esecutiva e la realizzazione degli interventi. Anche in questa fase è previsto un momento di consultazione del pubblico;
4. fase 4 “**monitoraggio del piano**”. Questa fase prevede il monitoraggio sullo stato di attuazione del piano e sull'efficacia dei risultati conseguiti. Garantisce una corretta consequenzialità al succedersi dei piani d'azione di quinquennio in quinquennio.

Il piano d'azione è sottoposto a tre ordini diversi di verifiche mediante consultazione del pubblico durante la sua formazione, oltre ad una consultazione nella fase di monitoraggio dell'attuazione:

- il primo nella fase di avvio del piano (“*scoping*”) finalizzato ad una informazione preliminare del pubblico, ad avviare una raccolta di contributi sulla adeguatezza della mappatura strategica da cui si avvia il processo di analisi, a raccogliere indirizzi di tipo strategico dagli Enti che hanno competenze concorrenti sulle problematiche trattate dal piano;
- il secondo, relativo alla proposta di piano d'azione in senso stretto e all'organizzazione complessiva delle scelte strategiche alle quali si ispira;
- il terzo, più locale, relativo alla verifica delle soluzioni adottate e dell'inserimento proposto per esse in ciascuna area critica.

L'esito delle verifiche può richiedere una revisione delle decisioni già adottate nelle fasi precedenti di elaborazione del piano d'azione. In particolare si evidenzia che a seguito della progettazione esecutiva delle opere possono intervenire valutazioni sulla base di criteri “di opportunità” che rimettono in discussione la scelta della tipologia di intervento adottata o che ne modificano radicalmente l'efficienza o l'efficacia: in questi casi è opportuno rivedere, alla luce delle correzioni sopravvenute, le eventuali selezioni fatte a monte.

### **3.3 Smart city**

La sfida attuale dei paesi più avanzati e di quelli emergenti è far diventare le proprie città più “intelligenti”, nel senso di interconnesse, attrattive, sostenibili, confortevoli e inclusive. Alla base dello sviluppo delle smart city ci sono la crescente sensibilità ambientale da un lato e le potenzialità offerte dalle nuove tecnologie dall’altro. Si manifesta sempre più evidente una coscienza ambientale ed il contributo di cittadini attivi. Questi due elementi sono il primo passo fondamentale, tra l’altro a costo zero, verso città più sostenibili e vivibili.

L’ambiente come valore, diventa un’esigenza strutturale imprescindibile per il miglioramento della qualità della vita.

Oltre a promuovere ed incentivare comportamenti virtuosi verso l’ambiente, le città intelligenti cercano di massimizzare le potenzialità offerte dalle nuove tecnologie per aumentare la partecipazione e la responsabilizzazione attiva dei cittadini nelle decisioni pubbliche.

L’innovazione tecnologica diventerà sempre più importante per sostenere i bisogni generati dall’invecchiamento demografico delle città. Le persone non perfettamente autonome, ed in particolare gli anziani non rischieranno più di essere marginalizzati.

Le città intelligenti favoriscono una condizione attiva e una presenza di qualità, nella sempre più numerosa componente matura.

Altro aspetto che caratterizza le Smart Cities sono le abitazioni intelligenti, dotate di tecnologie pervasive che migliorano la qualità della vita delle persone che ci vivono.

L’intelligenza in definitiva è il salto evolutivo che le aree urbane devono effettuare per migliorare la propria competitività. Il punto di partenza è comunque la valorizzazione di persone e ambiente.

Il termine “intelligenza” è ormai molto inflazionato, si utilizza per individuare un modello di progettazione che parte dall’alto, che caratterizza grandi progetti di città costruite da zero, come ad es. Masdar negli Emirati Arabi, dotate di infrastrutture e servizi avanzati.

Ma esiste un’altro modello di intelligenza, ed è quello che sta emergendo da milioni di cittadini connessi in rete mediante le ICT, permettendo la formazione di una intelligenza “collettiva”.

Le Smart Cities non sono “organismi” dotati di un sistema nervoso comandato da una entità centrale che dall’alto ne condiziona il comportamento. Sono piuttosto assimilabili ad una rete di organismi legati debolmente che rispondono a sottili suggerimenti sociali e di comportamento che arrivano dai vicini, come una sorta di coordinamento digitale.

Esempio di questa modalità di azione la troviamo negli avvenimenti occorsi nel Tahir al Cairo, dove una folla all’apparenza indisciplinata, si è mossa mediante una sorta di coordinamento digitale, utilizzando ICT e socialnetwork, dimostrando in questo modo una visione alternativa di città intelligente.

La grande opportunità che si presenta, è quella di poter sfruttare l’intelligenza collettiva per permettere un approccio alla progettazione urbanistica dal basso verso l’alto, per creare città intelligenti dove siano le persone a produrre il cambiamento.

### **3.4 Pianificazione e intelligenza collettiva<sup>2</sup>**

La ormai nota difficoltà nel costruire politiche pubbliche è causata non tanto dalla incompetenza dei singoli soggetti politici/amministratori, quanto dalla imprevedibilità delle traiettorie seguite dai processi decisionali. La difficoltà nel decidere e realizzare nasce dal fatto che per ogni singola azione occorrono diverse risorse quali ad es. competenze amministrative, know-how, informazioni e risorse economiche. Raramente queste competenze sono a disposizione di un singolo soggetto in quanto difficilmente cumulabili.

Lo stile partecipativo ed inclusivo tra soggetti che controllano diverse risorse (introdotto da Bobbio) è senza dubbio un aspetto positivo, ma spesso non è sufficiente a risolvere il problema per la difficoltà nell’individuare e coinvolgere tutti gli stakeholders, in quanto gli effetti di una decisione non sono spesso facilmente prevedibili. Inoltre i portatori di interesse sono spesso in grande numero, e difficilmente è possibile coinvolgerli tutti nei processi di decisione pubblica.

Si fa quindi ricorso alla rappresentanza, mediante delegati di associazioni, rappresentanti ecc., ma spesso questa soluzione non basta a risolvere il problema, in quanto nella società della conoscenza in cui viviamo, l’autonomia d’azione è molto elevata e non è facile rappresentare realmente una intera categoria.

---

<sup>2</sup> I contenuti di questo paragrafo sono stati tratti principalmente da WIKICRAZIA di Alberto Cottica – Navarra Editore

A questi problemi relativi alla inclusione di tutti gli stakeholders, si aggiunge quello del tempo. Per valutare diverse alternative ed individuarne meriti e demeriti, condividere dati e informazioni, con i decisori occorre una discussione lunga, ed i processi inclusivi sono sottoposti ad una emorragia strutturale di persone e di conseguenza di competenze nella discussione, perché la disponibilità di tempo da dedicare alle questioni seleziona i partecipanti e ne riduce in questo modo la “biodiversità” e di conseguenza il contributo in termini di valore aggiunto. Questo ovviamente aumenta il rischio di contestazioni future.

Strutturare un processo partecipativo comporta un trade-off tra tempi e costi brevi con sale “piene” e poco tempo per approfondire, e tempi lunghi per l’approfondimento e costi elevati, ma con defezione progressiva (emorragia strutturale) dei partecipanti.

Esiste infine un altro problema, segnalato da Bobbio, ovvero una naturale predisposizione dei decisori pubblici alla esclusione, quando ritengono di averne la possibilità. Quindi capita spesso che i processi partecipati siano vissuti dagli amministratori come adempimenti formali e per questo tendano in qualche modo di eludere di fatto l’inclusione. Questo in qualche modo è percepito dai soggetti che partecipano e le decisioni finiscono in qualche modo per arenarsi.

L’uso efficace di strumenti amministrativi, anche se innovativi ed intelligenti dipende in definitiva dalla effettiva volontà di farli funzionare.

Non esiste soluzione organizzativa che promette risultati certi, l’unico modo per prendere decisioni realmente sagge è l’analisi approfondita dei problemi che deve per forza di cose essere gestita con scarsità di risorse relativamente all’unico bene da tenere in considerazione in questi contesti, ovvero l’intelligenza umana. Questa deve comunque essere intesa non tanto come capacità di “fare bene il proprio compito” quanto come capacità di elaborazione per gestire processi che molto spesso vengono svolti in serie, richiedendo quindi molto tempo.

Per migliorare realmente l’efficacia e l’efficienza di un processo decisionale, occorrerebbe l’impiego di un numero elevato di persone organizzate per collaborare e intenzionate a farlo. Si crea in questo modo una forma di intelligenza collettiva, la stessa che ha permesso la realizzazione di progetti di rilievo internazionale, come Linux e Wikipedia.

La potenzialità dell’intelligenza collettiva, viene descritta efficacemente dalla legge di Linux:

*“Se c’è abbastanza legge a guardare, tutti gli errori vengono corretti”.*

Quindi la variabile più critica diventa il numero di soggetti partecipanti, che in tempo brevi permettono una analisi approfondita delle questioni da affrontare, evitando contemporaneamente il rischio di atti di vandalismo, omissioni ed errori.

L'intelligenza collettiva, la cui velocità di elaborazione è qualcosa di simile alla somma delle velocità dei componenti più veloci di un sistema, mette quindi al riparo dai danni provocati da emorragie di partecipanti in termini di crisi di attenzione, ma può funzionare solo quando gli individui possono disporre di un sistema efficace e poco costoso per coordinarsi tra loro.

Internet è ovviamente la piattaforma più efficace per la creazione di intelligenza collettiva in quanto è ubiqua, facilmente accessibile, economica e asincrona. Quest'ultima caratteristica si riferisce al fatto di permettere comunicazioni non contemporanee tra utenti diversi, caratteristica fondamentale per le politiche wiki che possono mobilitare moltissime persone e snodarsi su tempi lunghi.

Attraverso la rete si riesce quindi ad attirare un numero elevato di partecipanti e quindi un elevato numero di contributi. Di questi ultimi una parte sarà di qualità elevata e di conseguenza la decisione sarà di livello tendenzialmente migliore.

### **3.5 Approccio bottom-up**

Il successo delle città nel corso del tempo è stato reso possibile dalla interazione e stratificazione di reti sociali organizzate, di commercio, culto e governo. Questa crescita organica delle città classiche, ha molto da insegnare alle future città intelligenti.

L'imposizione di schemi preordinati non permette di creare città a misura delle esigenze degli abitanti, riflettere la loro cultura e creare un ricco insieme di attività proprio dei luoghi importanti.

I progetti centralizzati presumono quello che le persone vogliono e questo rende i progetti fragili rispetto ai cambiamenti.

Le visioni top-down ignorano il potenziale innovativo degli sforzi provenienti dal basso.

Concentrandosi sulla socializzazione come punto iniziale per la progettazione e sui cittadini come fonte di innovazione, il punto di partenza naturale, diventa sfruttare la gamma crescente di dispositivi personali intelligenti e impiegare le persone come sensori della città, invece di contare solo sui sistemi formali integrati nelle infrastrutture. Vengono così sfruttate reti di osservatori volontari anonimi, dotati di mobile-devices che trasmettono flussi informativi su vari temi (es. traffico), successivamente ridistribuiti ai cittadini mediante tematismi che descrivono l'evolversi del fenomeno monitorato in tempo reale. Questo scenario illustra il modo in cui le città intelligenti possono essere sia un luogo in cui socializzare sia un luogo più efficiente senza l'imposizioni di ordini dall'alto.

Si inserisce in questo contesto l'idea di Volunteered Geographic Information, illustrata in modo molto efficace nell'articolo 'Citizens' as sensors' di Michael Goodchild del 2007.

Il fenomeno si riferisce ai contenuti informativi geografici raccolti e diffusi attraverso l'impegno volontario dei cittadini, in modo spontaneo e indipendente da qualifiche formali. È un caso particolare del più ampio fenomeno web di "user generated content".

Rappresenta un cambio di prospettiva rispetto al passato, poiché gli strumenti e i servizi derivati da questo nuovo modello mettono in discussione il ruolo centrale degli enti istituzionali, tradizionalmente deputati a produrre e gestire l'informazione geografica e territoriale.

Approcci al rilevamento dal basso possono fornire anche un rapido economico impiego di nuovi tipi di sensori che misurano e registrano dati su attività umane, fenomeni ambientali, movimenti ecc..

Un esempio esplicativo, lo troviamo nel progetto montre verte.



*Figura 6 - Sensore “montre verte” per il rilievo dell’inquinamento acustico*

Un sensore legato al polso che raccoglie informazioni relative all'inquinamento che si da lo indossa durante le passeggiate per la città. La Montre Verte (La ronda verde) segue l'esempio di progetti simili a Londra, New York e San Francisco e mette l'ozono ed il rilevamento dell'inquinamento da rumore nelle mani dei cittadini.

La Montre Verte è il risultato di una collaborazione tra un numero di società in Francia (come i giganti delle telecomunicazioni SFR, il laboratorio CITU a Parigi, e Xilabs Altran) sotto la guida di Internet Nouvelle Génération Foundation (Fing). Il progetto mira a moltiplicare il numero di sensori ambientali in un'area urbana di almeno un migliaio, incoraggiando la gente che ci vive a partecipare. Così come un orologio, ogni dispositivo contiene un chip GPS, un chip Bluetooth e sensori per il rumore e l'ozono. Trasportato da chi lo indossa, esegue il campionamento quotidiano di inquinanti nelle zone frequentate abitualmente dai volontari che si prestano per il progetto.

Le letture vengono poi inviati via Bluetooth ad un telefono cellulare fornito da SFR che a sua volta invia i dati ad un database centrale, il portale CityPulse.

Nel corso del primo test, in un solo quartiere della città sono state fatte oltre 130.000 rilevazioni.

L'esperimento ha dimostrato come una rete di monitoraggio partecipato possa essere messa in campo in brevissimo tempo, ad un costo molto basso, ed in ogni caso molto minore del costo necessario ad espandere le vecchie stazioni fisse in città. Il progetto ha anche dimostrato che i cittadini possono essere pienamente coinvolti nel monitoraggio e nel controllo urbano.

I sensori per il monitoraggio collaborativo, sarebbero inseriti in oggetti di uso quotidiano (quindi pervasivi) [20].

## 4 Metodo tradizionale e nuovi approcci

### 4.1 Approccio del Soundscape nella pianificazione delle azioni di risanamento

Come descritto nell'introduzione, l'attuale situazione di criticità acustica in cui si trovano le città, richiede una attiva collaborazione della popolazione nella scelta delle azioni di risanamento da adottare. La scelta delle azioni di risanamento deve essere riferita a indicatori, quantitativi e qualitativi, a partire dai livelli di fruizione delle aree urbane, chiamando i cittadini ad esprimersi in fase di stesura e di attuazione del piano.

Questo approccio in Italia è stato testato solo nell'ambito del Piano Strategico d'Azione dell'agglomerato urbano di Firenze, dove la progettazione delle aree di quiete è stata effettuata su basi qualitative legate alla percezione e alla fruizione, utilizzando la metodologia del soundscape, mentre a livello europeo questo approccio è stato sperimentato più diffusamente.

Il termine paesaggio sonoro è stato definito da Schafer, nella sua opera fondamentale "*Il paesaggio*

*sonoro*" (1977-85) come la totalità dei suoni che ci circondano, dai suoni del nostro corpo fino al tuono più distante, in quanto *percettima*, ossia oggetto della percezione riferito ad un soggetto.

Il termine si differenzia quindi, dal concetto di campo acustico, che designa esclusivamente lo spazio acustico-fisico di un oggetto. Il paesaggio in tal senso, non è solo ciò che è esterno a noi, come siamo abituati a pensarlo nella nostra cultura di tipo visivo, ma è l'insieme di tutto ciò che si presenta ai nostri sensi.

Inoltre, dobbiamo a Schafer anche la definizione della terminologia appropriata:

- con *signal sound* (segnale sonoro) si indicano tutti i tipi di suono "utili" che si staccano da uno sfondo sonoro.
- *Soundmark* (marchio sonoro) è un evento sonoro che risalta e allo stesso tempo è significativo per un luogo e i suoi abitanti ed è paragonabile ad un elemento visivo di spicco. Ad esempio, possono appartenere a questa categoria le campane, i venditori ambulanti e il fischio delle locomotive.
- *Keynote sound* (tonalità) è l'insieme dei suoni che caratterizzano un luogo in senso acustico e spaziale; possono essere segnali sonori, marchi sonori, ma anche rumori.

L'approccio del soundscape in definitiva, fornisce un metodo capace di descrivere le aree in base alla valutazione delle reazioni delle persone ai suoni che le caratterizzano.

Ciò permette di misurare la qualità del suono esterno, ma tale qualità non è descritta solo dai metodi fisici per la misurazione del livello di pressione sonora, perché in un certo senso, il metodo del soundscape considera come strumento stesso di misura la mente e le sensazioni delle persone, quindi, si può dire che si tratta di una metodologia focalizzata essenzialmente sulla percezione umana.

Per queste ragioni, non può essere preso in considerazione solo il livello della pressione sonora, perché non è rappresentativo della percezione umana e, tra l'altro, non è sufficiente per un'adeguata descrizione di un paesaggio sonoro.

Una visione ingenua del design acustico urbano può finalizzare l'obiettivo della riqualificazione a massimizzare la riduzione del livello di pressione sonora. In una visione più moderna, non si ricerca di appiattire il paesaggio sonoro, ma di ottimizzarlo in base al contesto.

La tradizionale tecnica di controllo del rumore ha due svantaggi principali quando è applicata solo al fine di ridurre il rumore nelle zone urbane più tranquille adibite a scopi ricreativi, quali piazze e parchi urbani.

Il primo difetto di questo approccio è che può provocare uno spostamento del livello sonoro su altri luoghi.

Il secondo e più importante difetto dell'approccio tradizionale è dovuto al fatto che considera tutti i suoni come rumore, mentre alcuni di questi si adattano bene a determinati ambienti e andrebbero per questo preservati piuttosto che eliminati. Un approccio più positivo e olistico è finalizzato alla progettazione di tutti gli ambienti in modo da renderli più gradevoli.

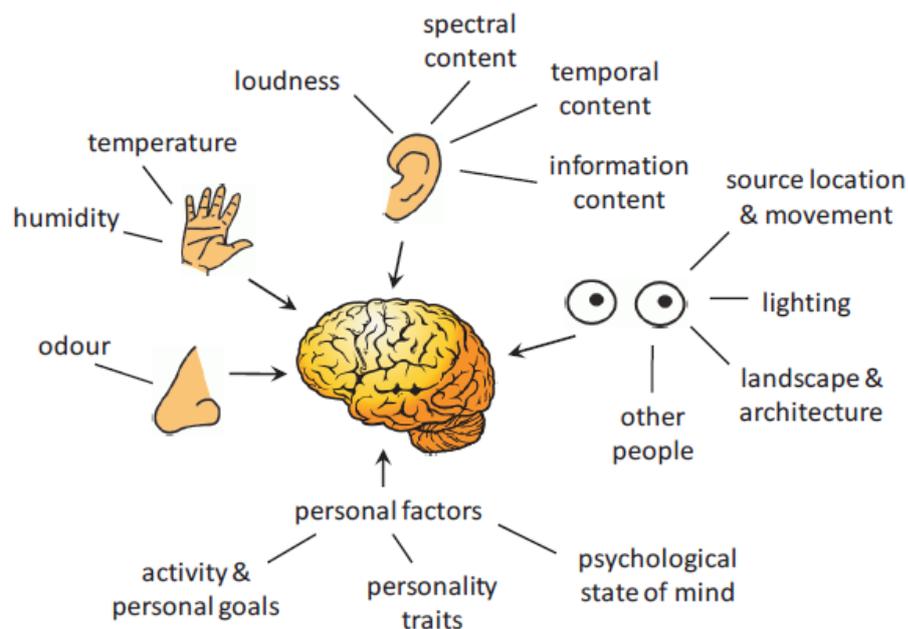
Un ambiente di alta qualità sonora può essere definita come un ambiente sonoro in cui vi è una buona corrispondenza tra i suoni che possono essere ascoltati (comunemente indicato come il paesaggio sonoro, come analogia al termine paesaggio), ed i suoni che ci si aspetta. In altre parole, una elevata "soundscape quality" contiene svariate tipologie di suoni che possono essere chiaramente uditi, e meno rumore di fondo.

Purtroppo, l'individuazione dei suoni percepiti come gradevoli in un determinato ambiente è un problema complesso e interdisciplinare.

Comprendere i fattori che influenzano la percezione di suoni ambientali costituisce l'oggetto principale dell' ecologia acustica, che è lo studio delle interazioni, mediata attraverso il suono, tra gli esseri umani e il loro ambiente (Truax, 1978; Wrightson, 2000). Mentre la tradizionale tecnica di controllo del rumore comporta unicamente misure fisiche, l'ecologia acustica parte da un punto di vista antropocentrico.

La percezione dei suoni ed il grado di adattamento all'ambiente, è determinato sia da fattori sensoriali che personali (Job et al., 1999). Fattori che includono gli aspetti sensoriali uditivi, come il volume, componente spettrale, temporale ed altre caratteristiche fisiche del fenomeno sonoro, unitamente ad aspetti visivi come la posizione e il movimento della sorgente (se è visibile), il paesaggio naturale e costruito, l'architettura, le attività di altre persone, aspetti sensoriali quali tatto, temperatura, umidità e olfattivi.

Esistono poi fattori personali che includono caratteristiche come la sensibilità al rumore e l'atteggiamento nei confronti di diversi tipi di fonti, l'attività in corso e gli obiettivi personali, nonché lo stato emotivo. Questi vari fattori sono visualizzati nella figura successiva.



*Figura 7 - Fattori che influiscono nella percezione del rumore*

## 4.2 Design acustico

L'aspetto visivo è stato fino ad ora, il fattore più importante nella progettazione di parchi urbani e spazi aperti. Tuttavia, anche la progettazione acustica basata sulla percezione e sui paesaggi sonori ha un grande potenziale (Brown & Muhar, 2004).

Gli spazi pubblici urbani possono essere progettati per incoraggiare le attività che generano suoni particolari come soundmarks che attirano l'attenzione e portano a riflettere su elementi tradizionali e culturali. Un primo esempio è la musica. Gli studi suggeriscono che il contenuto a bassa frequenza nella musica dal vivo spesso non è abbastanza forte da mascherare il suono del traffico (Kang, 2007). Diversamente, componenti ad alta frequenza, spiccano dallo sfondo, rendendo il paesaggio sonoro più piacevole. Un altro esempio è il suono dall'acqua delle fontane. Modulare i flussi e plasmare lo spettro di giochi d'acqua, offre un grande potenziale per il mascheramento del rumore da traffico. L'aggiunta di verde in spazi ben organizzati può aumentare il sentimento naturale dell'ambiente e alterare il livello di pressione sonora, ma può anche attirare uccelli.

Il metodo del paesaggio sonoro ha come obiettivo quello di fornire dei dati utili per indirizzare la progettazione di sistemi, e talvolta anche di strategie, per il risanamento e il miglioramento qualitativo del clima acustico delle aree considerate.

Lo studio del paesaggio sonoro fornisce infatti dati utilizzabili, insieme a quelli fonometrici, urbanistici, trasportistici, ecc. , per la progettazione di ambienti acustici piacevoli, e non soltanto rispettosi dei limiti di legge.

Esso rappresenta un mezzo attraverso il quale migliorare la qualità della vita, e in particolare per rendere più gradevoli o meno disturbanti gli ambienti urbani esterni nella cui atmosfera sonora quotidianamente siamo immersi.

Devono essere accuratamente stabiliti, oltre ai livelli di rumore, gli effetti che determinati suoni possono avere sulle persone residenti nell'area esaminata e su tutti coloro che ne usufruiscono, considerando che la piacevolezza degli ambienti di vita scaturisce da un'effettiva politica che riconosce gli impatti del suono sulle persone, trasformandoli in dati da utilizzare come all'interno specifici progetti di riqualificazione ambientale.

L'analisi del paesaggio sonoro, combinando le misure fisiche del suono, attraverso indagini scientifiche, con valutazioni legate esclusivamente alla percezione del rumore da parte delle persone e della comunità può fornire un pratico e utile strumento per raggiungere

ottimi risultati nel campo della progettazione ambientale e del design per quanto riguarda la qualità del suono esterno.

Tutte le strategie mirano a incrementare la presa di coscienza pubblica e privata riguardo al valore del suono per tutti, portando le questioni dell'ambiente acustico all'attenzione del pubblico in generale, e a non limitarsi agli specifici problemi di disturbo individuale [12, 13].

### **4.3 Valutazione delle zone silenziose**

Generalmente, una zona calma viene definita come un'area che è più silenziosa rispetto alla regione circostante, che inoltre ha un effetto psicologico di richiamo sulla gente che lo visita.

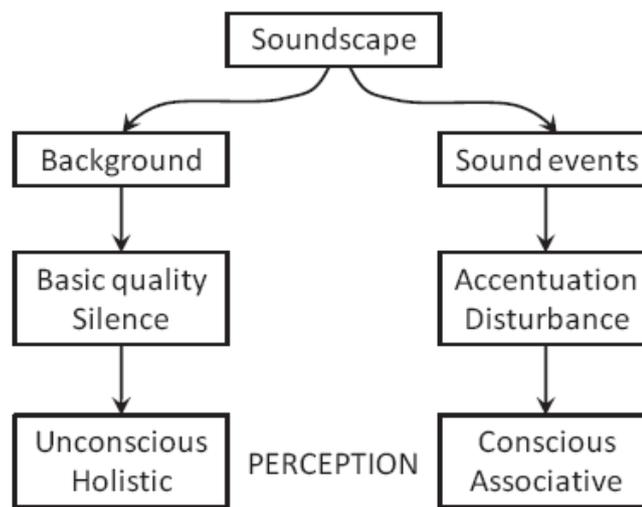
Vi è una crescente consapevolezza che le zone tranquille meritano particolare attenzione e conservazione, e questo obiettivo è stato pertanto sottoscritto nella direttiva sul rumore ambientale 2002/49 e perseguito dalle politiche di molti paesi. In linea con le idee di cui sopra, una zona urbana tranquilla come un parco o uno spazio aperto, non implica l'assenza di suono (che sarebbe il silenzio). Piuttosto, il suo rumore di fondo, deve essere vissuto come silenzio da parte del visitatore medio. Per la valutazione relativa alla qualità acustica di queste aree non è possibile utilizzare metodologie basate su indicatori quantitativi.

Un punto di partenza potrebbe essere quello di considerare il paesaggio sonoro delle aree urbane quiete come la sovrapposizione a un rumore di fondo di eventi sonori. Tale suddivisione è illustrata nella immagine sottostante. Il background determina in larga misura la sensazione generale di pace, e quindi la qualità di base del paesaggio sonoro. Può essere ascoltato, ma non suscita reazioni perché non è ascoltato consapevolmente. Gli eventi possono disturbare il paesaggio, ma è anche possibile che determinati suoni, possano accentuare la qualità di base. È noto che la percezione di eventi sonori ne comporta il riconoscimento dell'origine. Il background invece, non può portare al riconoscimento dell'origine, ma può essere sperimentato in modo più olistico.

Un approccio multicriteriale per la valutazione della qualità delle aree urbane tranquille deve affrontare la qualità sia del background che degli eventi sonori ed includere i diversi fattori percettivi descritti più avanti. E' basata su una meta-analisi di numerosi studi sulla percezione del paesaggio sonoro. La valutazione della qualità consiste in criteri soggettivi e

oggettivi: relativi alla presenza e gradevolezza di suoni eventi spot, determinato utilizzando un questionario.

La qualità del rumore di fondo, misurato con indicatori per loudness, con analisi temporale e spettrale, congruenza della zona, biologica, il valore naturale e paesaggistico di l'ambiente. Il set di indicatori proposto costituisce un equilibrio tra validità scientifica, applicabilità e comprensibilità.



*Figura 8 - Metodologia soundscape analysis*

Si devono infatti, considerare tutte le caratteristiche dei suoni che possono causare nelle persone, reazioni positive, quali calma, gioia, ispirazione artistica o al contrario, reazioni negative, come fastidio, ansia e intolleranza, quasi da eguagliarsi ad effetti patogeni [14, 15].

#### **4.4 Caso studio – Applicazione del metodo nell’ambito del piano strategico d’azione del Comune di Firenze**

Il metodo dell’analisi del paesaggio sonoro è stato testato nell’ambito del Piano Strategico di Azione del Comune di Firenze, su alcune aree quiete possibile oggetto di risanamento acustico.

L’indagine è stata effettuata su un campione di 8 scenari campione di diversa tipologia:

- parchi urbani: Parco San Donato;
- aree verdi: Giardini della Fortezza da Basso;
- giardini pubblici: Giardino dell’Orticoltura;
- percorso di collegamento con parchi periferici:
- percorso Cascine- Renai;
- piazze: Piazza d’Azeglio(SC04), Piazza Tanucci e Piazza d’Istria;
- resede scolastico: pertinenza della scuola Don Minzoni;

L’applicazione della metodologia del soundscape è in grado di fornire dei dati di indirizzo per la progettazione di eventuali sistemi e strategie di risanamento e di miglioramento del clima acustico di un’area.

Innanzitutto si è proceduto ad individuare e suddividere l’area in zone acusticamente funzionali in base a parametri relativi all’utilizzo, alla tipologia di arredo urbano, al tipo di fruizione e alla presenza di vegetazione, cercando anche di capire le motivazioni delle persone nella scelta di una particolare sub-area rispetto a un’altra.

La metodologia applicata del soundscape consiste nel rilevamento di dati oggettivi sottoforma di misure di livello di pressione sonora e di dati soggettivi in termini di valutazioni qualitative espresse da fruitori delle aree, come percezione.

Le misure spot di breve durata (10 minuti) vengono eseguite all’interno delle aree classificate “quiete” utilizzando fonometri con microfono posizionato a 1,5 metri dal suolo, individuando punti significativi all’interno delle aree stesse. Oltre al livello di pressione sonora viene misurato lo spettro in bande di 1/3 di ottava.

Sono inoltre stati effettuate registrazioni binaurali, utilizzando cuffie dotate di una coppia di microfoni e dispositivi microtrack per l'acquisizione audio ad alta definizione. Le registrazioni sono state riascoltate ed analizzate in fase di postelaborazione.

Le valutazioni qualitative soggettive sono state raccolte per ciascuna area mediante questionari proposti ai fruitori dell'area in contemporanea ai rilievi acustici effettuati all'interno del area stessa, al fine di avere una buona corrispondenza tra esposizione sonora e valutazione del soggetto.

Sono state coinvolte nel test circa 30 persone per ogni area.

Le conclusioni dedotte dall'analisi psico-acustica che ha tenuto in conto e messo in correlazione sia il contributo delle indagini oggettive che di quelle soggettive, ha fornito un quadro accurato dello stato di fatto del paesaggio sonoro delle aree quiete considerate.

Tali dati servono da indirizzo per la progettazione di sistemi e strategie volte a sanare queste aree e ad assicurare il comfort acustico.

#### **4.4.1 Utilizzo dei dati**

L'accurata analisi del paesaggio sonoro, che si avvale del contributo delle indagini oggettive e delle indagini soggettive, fornisce informazioni utili per la progettazione di interventi correttivi, in quanto:

- dalle indagini statistiche emerge il livello di gradimento dell'area e il motivo per cui viene frequentata;
- dalle indagini oggettive si ottengono i livelli quantitativi di pressione sonora tipici dell'area e delle sub-aree, aventi maggior dettaglio e rappresentatività di quelli che si possono derivare dalla mappatura acustica del territorio comunale;
- da un'indagine di tipo più qualitativo, sono messe in evidenza le sorgenti sonore prevalenti;
- dall'indagine soggettiva emerge il grado di preferenza delle sub-aree (alto-medio-basso) con relativa motivazione;
- un grafico confronta il giudizio di qualità del clima acustico dell'area nel suo complesso rispetto alla qualità del clima acustico delle varie subaree.

Tutti questi dati possono fornire un pratico e utile strumento per raggiungere ottimi risultati nel campo della progettazione ambientale e del design per quanto riguarda la qualità del suono esterno (paesaggio sonoro) integrata con la qualità del paesaggio propriamente detto.

Da questa attenta analisi si possono perseguire, attraverso la progettazione di sistemi e strategie, i seguenti obiettivi di qualità:

- massimizzazione della superficie fruibile,
- massimizzazione del numero di fruitori,
- massimizzazione dell'indice di gradimento dell'area.

Possibili azioni per il raggiungimento degli obiettivi possono essere la redistribuzione del flusso di fruitori nelle varie sub-aree, in modo da evitare che si creino aree poco frequentate.

Le sub-aree possono infatti essere ritenute troppo affollate e quindi non preferite perché rumorose o, in scenari diversi, prive di attrattiva perché, per quanto silenziose, non abbastanza piacevoli dal punto di vista dell'ascolto.

Dall'analisi quantitativa e qualitativa del paesaggio sonoro delle aree si possono individuare alcune possibili azioni, specifiche per le sub-aree che possono aggiungere importanti elementi di caratterizzazione soggettiva.

## **5 Cambiamento in atto**

### **5.1 Nuove Tecnologie per monitoraggi**

Il rapido sviluppo della sensoristica e della tecnologia pervasiva associata ad una crescente infrastrutturazione che permette un costante aumento dell'offerta di connettività, permette di poter sperimentare nuove strategie di monitoraggio ambientale in grado di acquisire dati con una elevatissima risoluzione spazio-temporale.

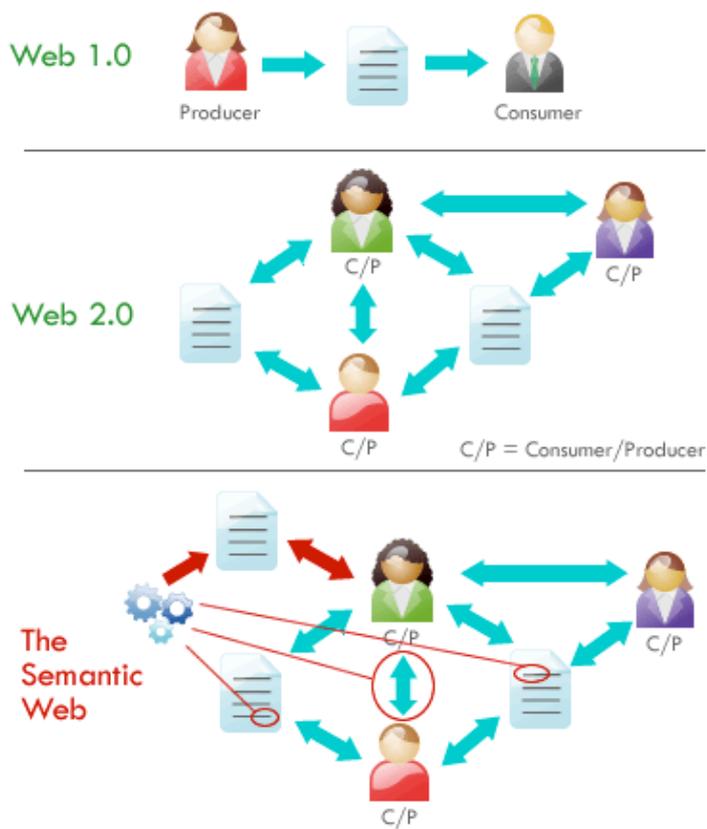
Questi nuovi approcci contrappongono ad una tecnologia tradizionale, focalizzata sulla massimizzazione della qualità di dati a bassissima risoluzione spazio temporale, ottenuta con strumenti "isolati" di elevata precisione e accuratezza, una tecnologia basata su reti di strumenti interconnessi, distribuiti su aree vaste, in grado di garantire il monitoraggio in tempo reale di varie tipologie di fenomeni fisico-chimici. La minore accuratezza del singolo dato acquisito da ogni sensore di una WSN può essere compensata dai vantaggi offerti dalla configurazione a rete dello strumento di acquisizione, in grado di monitorare in continuo aree intere, eliminando in questo modo la necessità di interpolazioni, indispensabili nel metodo tradizionale (e causa principale delle incertezze).

Le reti di sensori (descritte nell'allegato 2), hanno ancora qualche problema tecnico da risolvere che di fatto ne impedisce il massiccio impiego in vari campi.

Si tratta in particolare di risolvere il problema della calibrazione di ogni sensore della rete al fine di permettere il confronto tra i valori misurati in ogni nodo e problemi legati al problema delle frequenze utilizzate dai nodi per comunicare tra loro.

Un'altra opportunità offerta dalle nuove tecnologie è quella di affiancare/integrare i modi tradizionali di fare indagini presso cittadini e imprese - attraverso questionari e richieste dirette alle persone – elaborando informazioni spontanee veicolate dagli strumenti tecnologici, per mezzo di social network, blog, microblog.

Le sfide da affrontare per l'elaborazione delle enormi quantità di informazioni non strutturate, prodotte da queste piattaforme di condivisione, riguardano la semantica. Per questa finalità stanno emergendo tecnologie che aggiungendo logica al WEB permettono ai computer di comprendere il linguaggio umano.



*Figura 9 - Evoluzione del WEB*

La combinazione di opportunità offerte da un Web 2.0 “avanzato”, il Semantic Web (qualcuno lo definisce forse impropriamente WEB 3.0), associato alle tecnologie pervasive e più in generale alla sensoristica diffusa, può permettere di effettuare monitoraggi ambientali nello stile del social networking e con una prospettiva collaborativa [21].

## **5.2 Mobile-device e monitoraggi collaborativi**

Le ultime generazioni di mobile-device (smartphone, tablet ecc..), sono a tutti gli effetti delle piattaforme tecnologiche avanzate contenenti sensori ambientali che, combinati con tecnologie di posizionamento GPS e connettività alla rete, possono diventare strumenti di monitoraggio ambientale.

Tra le varie tipologie di monitoraggio oggetto di sperimentazione, quella che presenta il maggior grado di affidabilità e maturità, è il monitoraggio del rumore.

Si parla di “collaborative monitoring”, quando oltre a tecnologia e sensori, sono coinvolte persone che contribuiscono volontariamente alla realizzazione di monitoraggi ambientali, riproducendo gli effetti di una “rete mobile di sensori connessi in rete”.

Ad oggi sono state sperimentate diverse piattaforme che permettono di trasformare mobile-device in fonometri (EarPhone[9] , NoiseSPY[10],WideNoise, NoiseWacth, NoiseTube), ma ad oggi sono disponibili concretamente solo NoiseTube e NoiseWatch per dispositivi con sistema operativo Android, Java e WideNoise per sistema operativo IOS.

Nell’ambito del presente lavoro abbiamo scelto di testare l’applicazione NoiseTube.

Il progetto di NoiseTube, coordinato dal gruppo BrusSense presso il dipartimento di Computer Science della Vrije Universiteit di Brussel, si pone l’ambizioso obiettivo di realizzare una piattaforma che permetta la realizzazione di un monitoraggio acustico continuo dell’ambiente frequentato dalla popolazione delle città nel mondo.

Il progetto di ricerca è iniziato nel 2008 presso la Sony Computer Science Lab a Parigi e attualmente ospitato dal Team BrusSense presso la Vrije Universiteit Brussel.

L’obiettivo principale è quello di utilizzare i sensori trasportati dai cittadini, che misurando la propria esposizione al rumore nel loro ambiente quotidiano, partecipano alla creazione di una mappa collaborativa di inquinamento acustico attraverso la condivisione di dati di misure georiferite con coordinate spazio-temporali.

Con questi dispositivi è possibile realizzare quanto accennato sopra relativamente alle reti di sensori “mobili” in quanto trasportati da volontari.



*Figura 10 - Piattaforma NoiseTube*

La piattaforma non si limita a raccogliere la misura fisica del rumore, ma può registrare il “vissuto” del soggetto esposto, in forma di commento, alla traccia acquisita.

L’applicazione registra il livello di pressione sonora in decibel, con ponderazione A mediante il lato client (cittadini dotati di mobile-device con installato l’applicazione NoiseTube) e produce, attraverso il lato server le rappresentazioni dei dati rilevati utilizzando la base geografica di Google Earth.

I dati relativi a tutte le misure effettuate da tutti gli utenti, sono scaricabili in formato aperto machine-readable (.json) e, a scelta dell’utente, possono essere condivisi.

La varietà di telefoni per cui è attualmente disponibile è interessante (Android e JavaME), a breve dovrebbe essere disponibile la versione iOS.

Il problema principale, per rendere credibile questa metodologia di monitoraggio basata su sensori con un livello di accuratezza decisamente più basso di quello ottenibile da fonometri anche solo di classe terza, è il livello di qualità del prodotto finale, la mappatura acustica.

La caratteristica che rende interessante questa metodologia di monitoraggio è la potenziale capacità di raccogliere un dataset con una risoluzione spazio-temporale molto elevata. Si potrebbe infatti realizzare un monitoraggio continuo e diffuso di interi agglomerati. L’unico limite sarebbe l’accessibilità ai luoghi da parte di cittadini, e la relativa disponibilità di questi di partecipare al monitoraggio.

L’enorme quantità di dati raccolti con elevata risoluzione spazio-temporale, permette di compensare la scarsa accuratezza della singola misura acquisita da microfoni progettati per un uso diverso da quello dei microfoni di cui sono dotati i fonometri. Occorre comunque sottolineare che le performance dei microfoni in dotazione ai mobile-devices (come descritto in precedenza) segue i progressi della tecnologia. Al momento tutti i dispositivi di fascia medio-alta utilizzano microfoni MEMS, con un livello di qualità più

elevato rispetto ai microfoni ad elettretre. Altra caratteristica fondamentale per i microfoni di ultima generazione, è la costanza del livello di performance nel tempo.

Concretamente, l'applicazione NoiseTube è composta da due parti, lato client e server.

Sul lato client NoiseTube misura i livelli a cui sono esposti gli utenti, mediante il microfono del mobile-device, mentre sul lato server questi dati vengono inviati in formato XML al sito di NoiseTube, per essere elaborati e pubblicati su WEB.

Ad oggi la piattaforma NoiseTube è stata sperimentata prevalentemente per singole misure acquisite come tracce. Vere e proprie campagne di misura coordinata sono state testate solo di recente, come descritto nel presente paragrafo.

L'obiettivo del progetto è quello di produrre mappe acustiche confrontabili con quelle istituzionali, quindi il problema più importante da affrontare affinché questo sistema diventi realmente utilizzabile per le finalità di cui si propone, riguarda il livello di accuratezza dei rilievi effettuati dal "crowdsourcing".

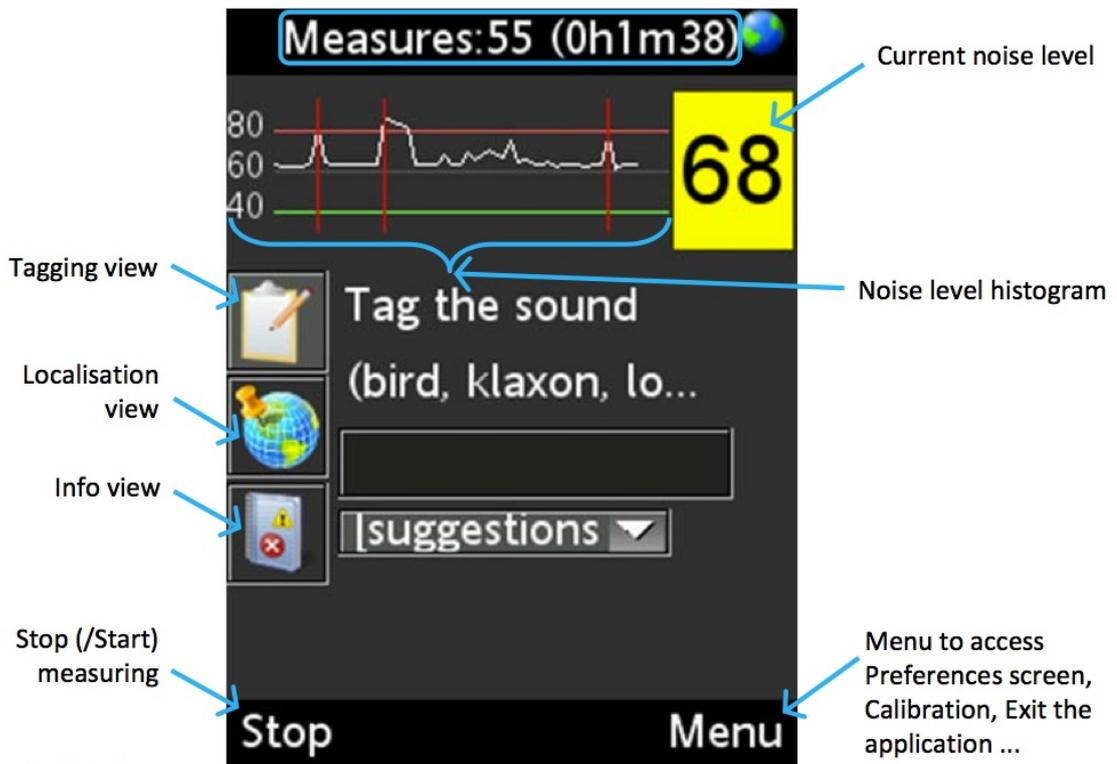


Figura 11 - Interfaccia NoiseTube

Uno degli aspetti problematici di applicazioni di questo tipo, come abbiamo visto nel capitolo dove si descrivono i sistemi di monitoraggio basati su Wireless Sensor Network, è la calibrazione, poiché ogni cellulare può produrre output differenziati a seconda del tipo di microfono e di hardware di cui è composto.

L'applicazione prevede già delle calibrazioni specifiche per marca e modello di cellulare, soprattutto per Nokia e Sony. Per i cellulari non calibrati è prevista una procedura che richiede la raccolta di dati accoppiati da cellulare a fonometro a parità di emissione sonora. Inviando tali dati agli sviluppatori, essi li integrano nelle versioni seguenti dell'applicazione.

Al fine di dimostrare il livello di accuratezza della mappatura finale, ottenuta con il monitoraggio collaborativo supportato dalla piattaforma NoiseTube, i responsabili del gruppo di ricerca del progetto di NoiseTube, hanno effettuato un test sperimentale in un contesto di citizen-science ad Anversa, su un'area di 1 Km<sup>2</sup>.

Per l'esecuzione del test sono stati impiegati 10 smartphone di livello medio basso, ma con caratteristiche compatibili con l'utilizzo di NoiseTube.

Questi mobile-device, sono stati sottoposti ad una procedura di calibrazione eseguita in camera anecoica utilizzando come segnale di riferimento, rumore bianco.

Nel corso della sperimentazione sono state osservate tre tipologie di variabilità:

- diversi dispositivi;
- diverse frequenze;
- diversi livelli sonori;

Sono in particolare state testate frequenze da 50 Hz a 20 KHz., mentre per quanto riguarda i livelli sonori, sono stati testati livelli da 60 a 90 dB(A) ad intervalli di 5 dB(A).

La calibrazione in frequenza è comunque stata ritenuta meno significativa di quella relativa al livello sonoro e per le finalità del monitoraggio partecipativo, diventa già un problema non indifferente la calibrazione in termini di livello sonoro.

Questa procedura è di importanza fondamentale per la riduzione di errori sistematici, che pregiudicherebbero in modo pesante i risultati di un test eseguito con dispositivi identici. In realtà uno dei punti di forza del monitoraggio collaborativo è la compensazione della scarsa accuratezza della singola misura con grossi moli di dati acquisiti da diversi dispositivi.

La figura seguente evidenzia le risultanze della risposta media dei dieci dispositivi testati (a sinistra) e del fonometro integratore (a destra).

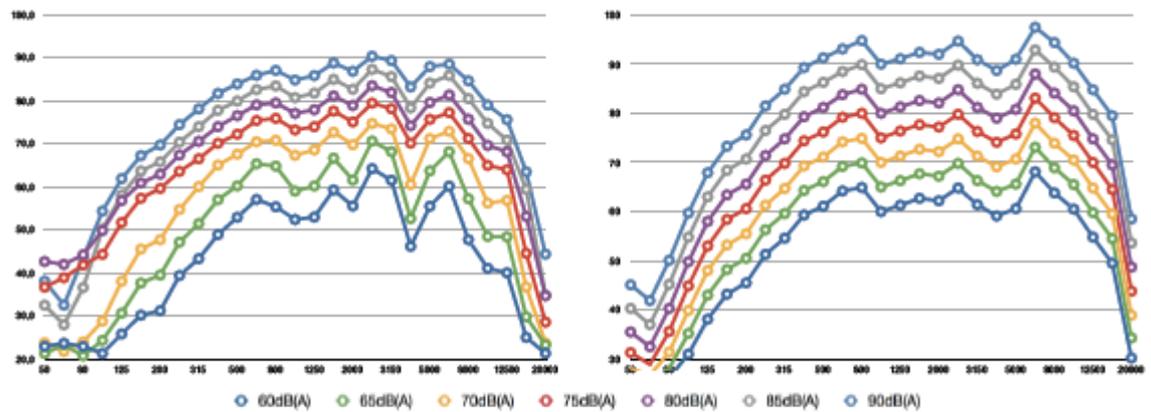


Figure 1: Outcomes of frequency-dependent calibration experiments, giving dB(A) values in term of frequency. Nokia 5230 #0 phone on the left, reference microphone on the right.

L'errore medio, secondo quanto dichiarato dagli autori dell'articolo è di dB(A) 1,07. Ovviamente nella realtà non è possibile ottenere questo risultato in quanto è impossibile disporre di attrezzature professionali quali camera anecoica e sorgenti di rumore bianco.

Per avere un'idea delle reali performance di un mobile-device calibrato, rispetto un fonometro in classe 2, è stato effettuato un rilievo in campo libero con entrambi gli strumenti, "camminando" per la durata di 1,5 ore in una determinata area. Lo scarto tra i due dispositivi è risultato di dB(A) 1,4 (con un'incertezza di 0,77 dB).

Dopo questa sperimentazione, la cui finalità era di testare le massime performance ottenibili dall'applicazione NoiseTube su smartphone, sono state eseguite due simulazioni per verificare il grado di accuratezza ottenibile da una mappatura ottenuta con monitoraggio collaborativo.

I rilievi sono stati eseguiti con due modalità:

- la prima era finalizzata a testare il funzionamento degli smartphone in condizioni di esercizio verosimili limitando la libertà di azione dei volontari che hanno partecipato a questa sperimentazione;
- la seconda aveva come obiettivo quello di simulare le condizioni reali, i soggetti volontari non avevano restrizioni come nella modalità precedente, l'unico vincolo era quello di produrre un certo numero di misure nell'arco di diversi giorni della settimana.

La prima metodologia rappresenta un monitoraggio collaborativo organizzato (es. comitati che decidono di verificare la reale situazione acustica in determinate aree, oppure amministrazioni pubbliche con esigenza di ottenere in tempi rapidi la mappatura di una determinata zona), mentre la seconda rappresenta la condizione più frequente di un monitoraggio continuo.

Sono stati acquisiti con la prima metodologia c.a. 36.000 misure elementari su un'area di 0,4\*0,4 Km con traccie di 2 km c.a. di lunghezza. La densità media di punti è stata di c.a. 160 punti per ogni griglia con maglia (10 metri di lato). Il confronto tra mappe ufficiali e mappe ottenute con il metodo collaborativo evidenziano una sostanziale convergenza in termini di distribuzione del livello sonoro ed inoltre hanno una deviazione standard (5 dB) simile a quelle ottenute con metodo collaborativi.

Con la seconda metodologia è stata coperta un'area di 1 km\*1km, mentre i volontari non hanno avuto limitazioni di nessun tipo nell'esecuzione del rilievo. L'aumento della dimensione dell'area di riferimento per l'esecuzione del test, ha provocato una diminuzione della densità di misure e questo ha costretto i responsabili del progetto ad incrementare le dimensioni della griglia. Gli esiti ottenuti con questa modalità, confermano quanto osservato con il metodo di monitoraggio "organizzato".

Questa prima sperimentazione dove vengono simulate condizioni verosimili di monitoraggio, evidenzia risultati incoraggianti, ma si ritiene che per valutare veramente le performance di questa metodologia, sarà necessario ottenere un volume di dati molto maggiore.

### 5.3 Qualità dei dati ottenibili da monitoraggio partecipato<sup>3</sup>

Il problema principale da affrontare per rendere credibile una mappatura acustica ottenuta con monitoraggio collaborativo è quello relativo alla qualità dei dati acquisiti con mobile-device.

Secondo quanto dichiarato dagli sviluppatori, l'applicazione per NoiseTube è in grado di misurare livelli di pressione sonora ogni 1-2 secondi con la risoluzione di 1 dB ed un range di misurazione che dai 40 ai 95.

Le misure sono il prodotto di un algoritmo di elaborazione del segnale registrato in input dal microfono del telefono. In realtà, alcuni modelli di cellulari meno recenti, ad esempio, il Nokia E71, producono una misura ogni 2, 3 o anche 4 secondi e scendono raramente sotto i 45 decibel anche in condizioni di silenzio.

Uno degli aspetti problematici di applicazioni di questo tipo è la calibrazione, poiché ogni cellulare può produrre output differenziati a seconda del tipo di microfono e di hardware di cui è composto.

L'applicazione prevede già delle calibrazioni specifiche per marca e modello di cellulare, soprattutto per Nokia e Sony.

Per i cellulari non calibrati è prevista una procedura che richiede la raccolta di dati accoppiati da cellulare a fonometro a parità di emissione sonora. Inviando tali dati agli sviluppatori, essi li integrano nelle versioni successive dell'applicazione.

La procedura prevede la disponibilità di:

- un fonometro;
- l'emissione di rumore rosa
- coppie di misure fonometro-cellulare, a diversi livelli di dB con passo 5, con limiti 35-105 dB(A).

Al fine di sperimentare concretamente l'accuratezza delle misure ottenibili con l'applicazione NoiseTube installata su mobile-device, nel giugno 2011, grazie alla disponibilità di ARPAV ed il Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova, è

---

<sup>3</sup> Elaborazioni statistiche a cura di Rina Camporese

stato possibile effettuare una calibrazione delle applicazioni per Smartphone, nella camera riverberante a disposizione dello stesso Dipartimento.

La camera riverberante è un ambiente con pareti molto lisce, dove la pressione sonora, tranne in vicinanza della sorgente è uniforme in tutto il locale.

Caratteristica fondamentale di queste camere è la mancanza di rumore di fondo, di vibrazioni meccaniche esterne ed interne, di frequenze proprie e soprattutto la capacità di riflettere più volte le onde sonore in modo da generare un tempo di riverbero sufficientemente lungo.



*Figura 12 - Camera anecoica*

In queste condizioni quindi, potendo contare su una sostanziale omogeneità della pressione acustica dell'ambiente, possiamo confrontare la risposta di diverse unità microfoniche allo stesso livello di pressione sonora.

Il test condotto inoltre, aveva come obiettivo quello di misurare oltre alla diversa risposta dei due microfoni, anche la precisione con diversi livelli di carica dell'accumulatore dei mobile-device.

La prova è consistita nel rilievo contemporaneo i livelli crescenti di rumore, da 45 a 105 dBA a intervalli di 5.

Non è stato ritenuto utile misurare livelli inferiori a 45 dB(A) in quanto l'APP di NoiseTube non riesce a rilevarli.

Il test ha evidenziato una differenza rilevante tra i valori misurati dal fonometro integratore in classe A ed i valori misurati dai mobile-device testati.

La differenza è inferiore nella fascia centrale della scala (55-75 db(A)), che dovrebbe essere la situazione più frequente in ambiente urbano.

Per il cellulare Nokia E71 sono state effettuate due prove a due livelli di batteria diversi, per verificare che la misurazione non risentisse del diverso livello di carica. Le due serie di misure sono quasi identiche, il che è un indizio del fatto che il livello di batteria non influenzi la qualità delle misure. Sarebbe opportuno, comunque, effettuare altre prove per verificarlo con certezza.

La relazione tra le due serie di misure può essere espressa con una relazione lineare o quadratica, anche se non perfetta. Per un cellulare, Nokia E65, si sono verificate delle misurazioni anomale nella parte bassa della scala.

Gli smartphone tendono a sovrastimare sistematicamente i livelli bassi di pressione acustica e a sottostimare i valori alti. Tendono ad avere quindi una dinamica decisamente più ristretta.

Il livello maggiore di accuratezza nella fascia centrale è probabilmente dovuto al fatto che i microfoni in dotazione agli smartphone, sono ottimizzati per la voce umana, che ha una dinamica di c.a. 15 dB e con un range compreso tra 55 a 70 dB.

Separatamente per ogni modello di cellulare, si è cercato di stimare i dB\_A\_sound\_meter attraverso una trasformata dei dB\_A\_NoiseTube: non sempre è sufficiente una regressione lineare, talvolta è necessario usare una funzione quadratica.

Qui di seguito l'esito delle regressioni lineari:

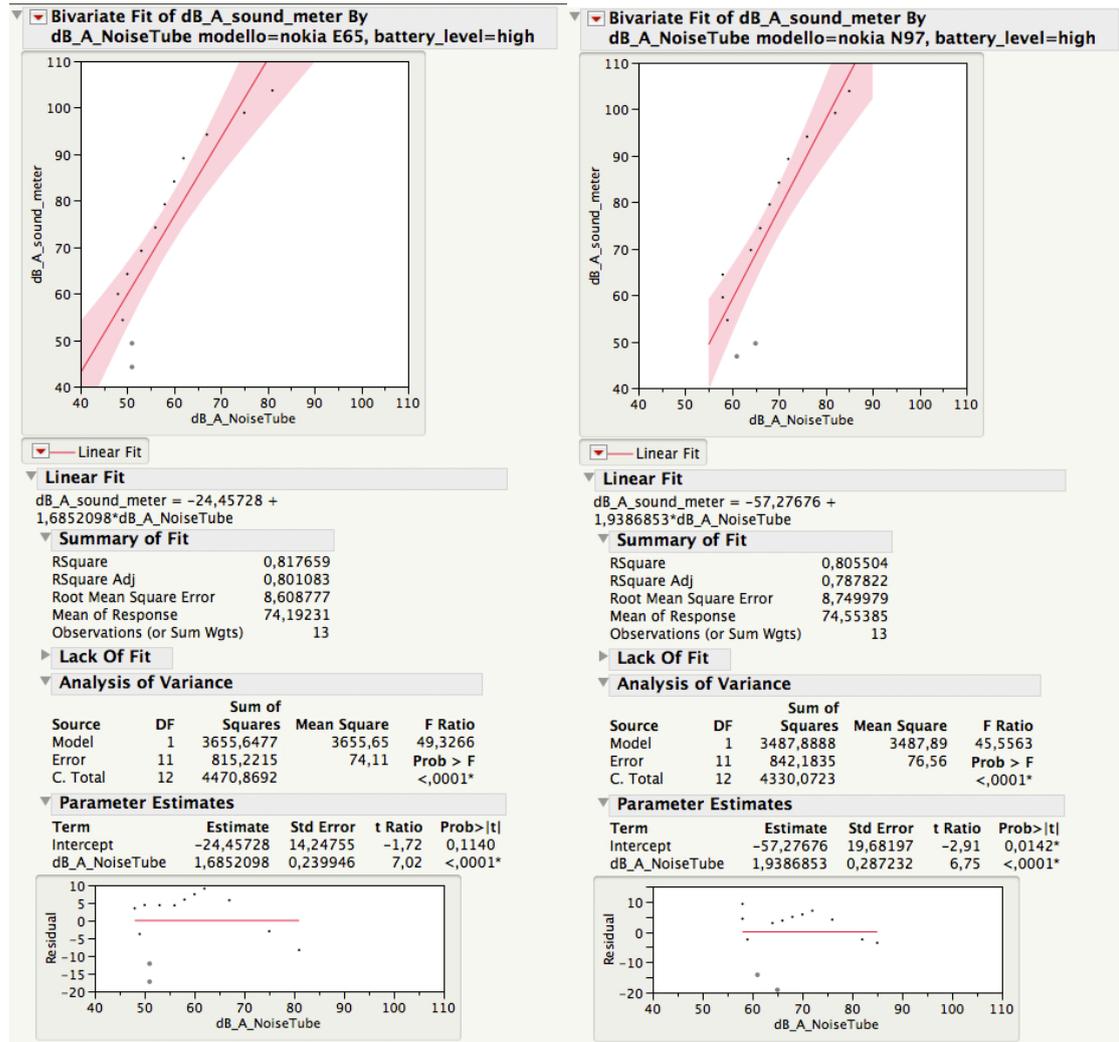


Figura 13 - Regressioni lineari

I valori di  $R^2$  evidenziano che i coefficienti di regressione lineare confermano la bontà del modello.

In certi casi, su alcuni modelli, la regressione quadratica può dare risultati migliori. In teoria occorrerebbe testare il modello di regressione per ogni applicazione installata su diversi dispositivi mobili.

Di seguito le regressioni quadratiche:

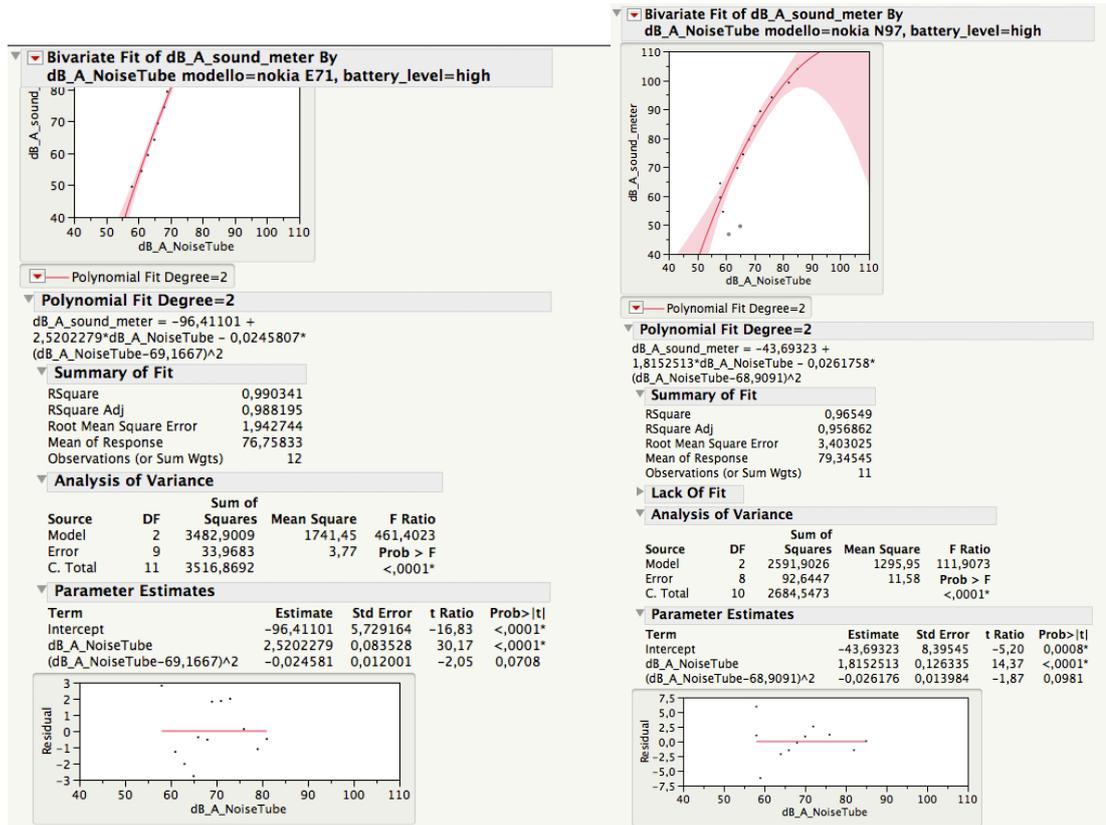
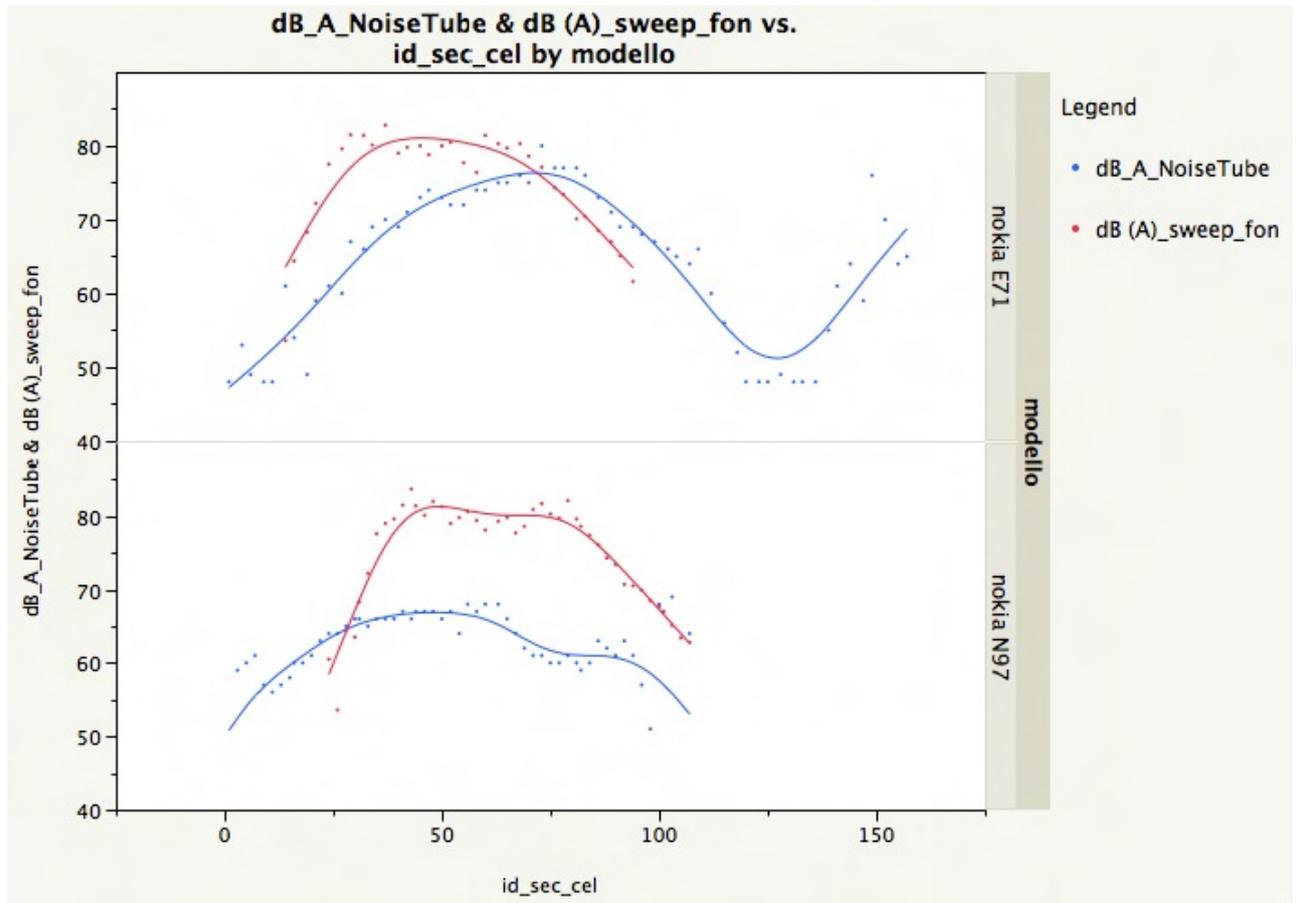


Figura 14 - Regressioni quadratiche

La retta di regressione per il cellulare Nokia E71, per il quale il coefficiente di regressione lineare è ottimo, assume la forma:

$$\text{db\_fonometro} = -96,41101 + 2,5202279 \cdot \text{db\_E71}$$

Successivamente, è stata effettuato anche un altro tipo di prova soltanto con due cellulari, Nokia E71 e Nokia E97. In gergo tecnico, si tratta di uno sweep: 99 secondi con livello globale di pressione sonora costante, ma frequenza crescente da 20 a 20.000 Htz.



*Figura 15 - Prova Sweep*

I valori prodotti da NoiseTube sono quasi sistematicamente sottostimati rispetto a quelli rilevati dal fonometro.

L'applicazione NoiseTube non riesce a rilevare correttamente i livelli bassi e i valori alti.

Difficilmente scende infatti sotto i 50 dB e sottostima sistematicamente i valori elevati.

Il range di valori dove troviamo la massima concordanza tra fonometro e smartphone, è compreso tra i 60 e i 65 dB.

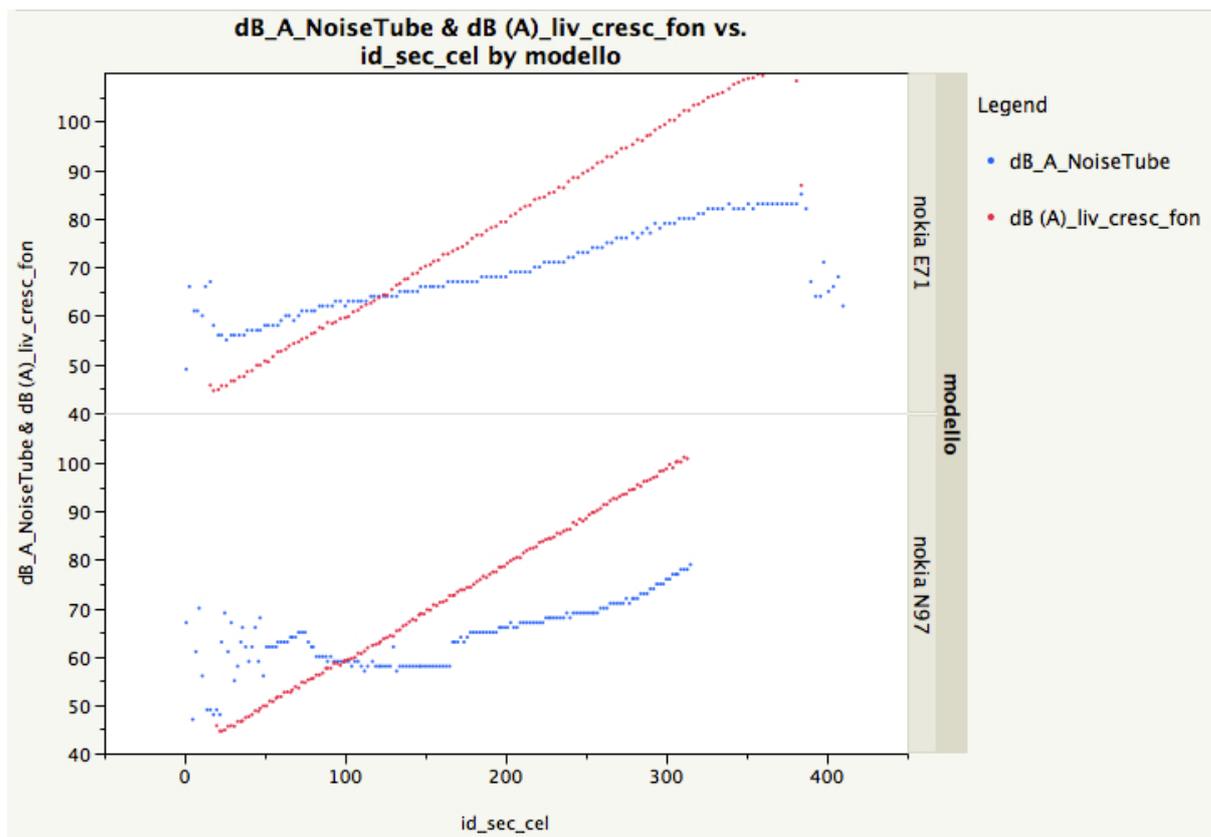


Figura 16 - Calibrazione con livelli crescenti d rumore

Tuttavia, non è impossibile pensare che una trasformata delle misure di NoiseTube possa fornire una stima dei dB(A) da fonometro.

Di seguito le sintesi statistiche e grafiche delle regressioni lineari ponendo dB(A)sound-meter come variabile dipendente e dB(A)NoiseTube come variabile indipendente, per E71 e N97.

Per il Nokia E71, la regressione lineare è ottima (Rsquare 0,98), mentre per l'N97 la qualità della regressione è peggiore, a causa dei problemi nei valori iniziali della scala. Concentrando l'attenzione sull'E71, si osserva una regolarità della distribuzione dei residui, cioè delle differenze tra i valori osservati e i valori stimati dal modello.

Sono sistematicamente negativi nella parte bassa e nella parte alta della scala, fino a 65 dB oltre i 75 dB. Ciò può costituire un problema perché il calcolo del  $Leq$ , a causa della sua espressione logaritmica, è particolarmente sensibile alla presenza di valori elevati: pochi valori alti nel periodo di tempo considerato trascinano in alto il valore di  $Leq$  complessivo. Di conseguenza, particolare attenzione deve essere posta nella stima dei valori elevati della

scala e, una loro sovrastima costante, anche se leggera, può determinare una distorsione nel calcolo del Leq.

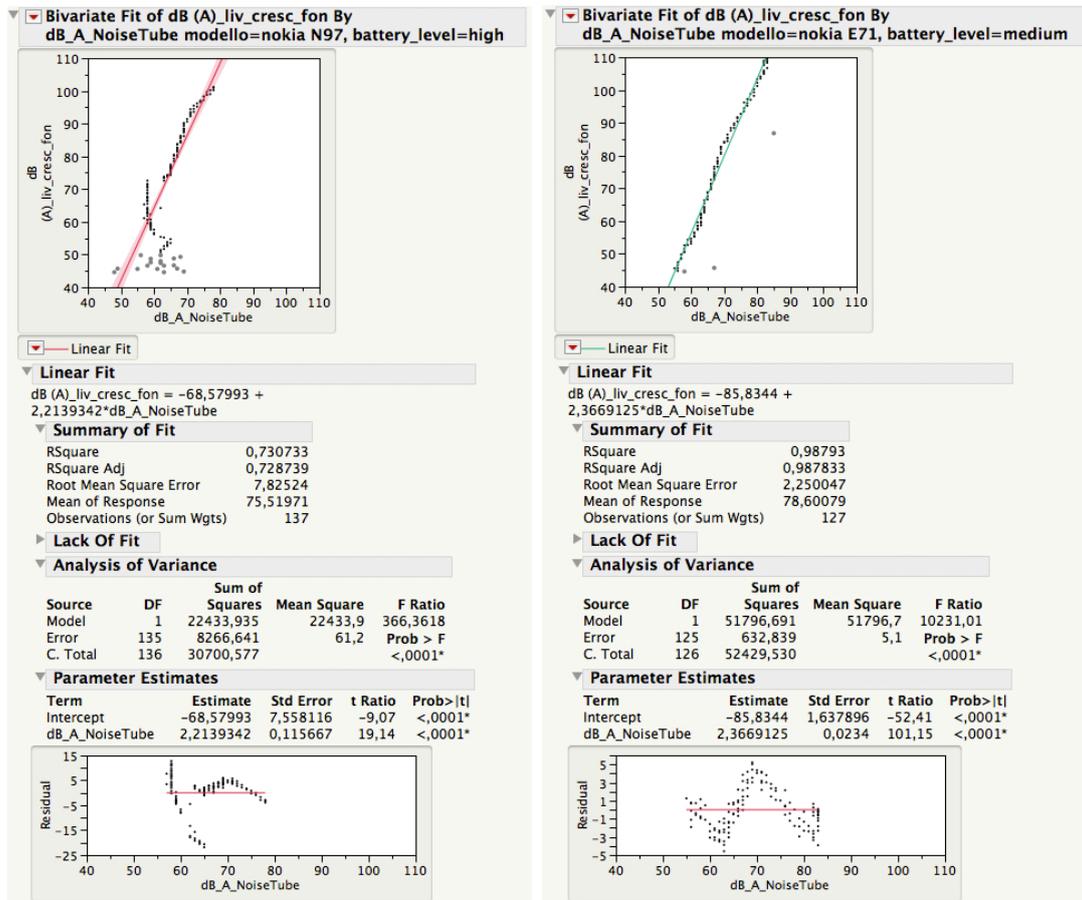


Figura 17 - Regressioni valori smartphone Nokia

La presenza di valori anomali per alcuni modelli di cellulare agli estremi bassi della scala e le riflessioni sui valori più alti, fanno supporre che si potrebbe limitare il modello di regressione ad un intervallo centrale di dB, ad esempio tra 55 e 75.

Dall'insieme di queste prove iniziali emergono alcuni spunti sulla qualità delle misure che ci si può attendere da applicazioni per cellulari. Per una verifica più approfondita sarebbero necessarie ulteriori prove in ambiente controllato, per affinare, ad esempio, il modello di correzione dei dati in uscita da NoiseTube o per verificare l'indipendenza dei risultati dal livello di batteria.

Procedure analoghe di confronto tra fonometro e cellulare sono state effettuate in ambiente controllato, per verificare se veniva confermata la possibilità di definire una funzione di trasformazione da dB(A)NoiseTube dB\_A\_sound\_meter. In questo caso sono state seguite le linee guida degli sviluppatori dell'applicazione, per le quali sono necessari

- 1) casse audio collegate a un computer che possano generare un rumore sufficientemente alto, almeno 100dB
- 2) un file audio di rumore rosa; lo si è generato con il programma gratuito Audacity
- 3) un fonometro

Il rumore rosa viene prodotto a livelli crescenti fino a che il fonometro si stabilizza, partendo dal valore di 35 dB (soglia di udibilità teorica per il cellulare) per arrivare fino a 100, con passo 5. Contemporaneamente, si registrano i dB misurati dal cellulare. In tal modo, si ottengono delle coppie di misure fonometro-cellulare, che rappresentano l'associazione tra i valori reali di dB - espressi dalle misure del fonometro - e quelli rilevati dall'applicazione NoiseTube.

Il 12 dicembre 2011 questa procedura è stata effettuata per i cellulari Nokia E71 e Samsung Galaxy Ace GT-S5830.

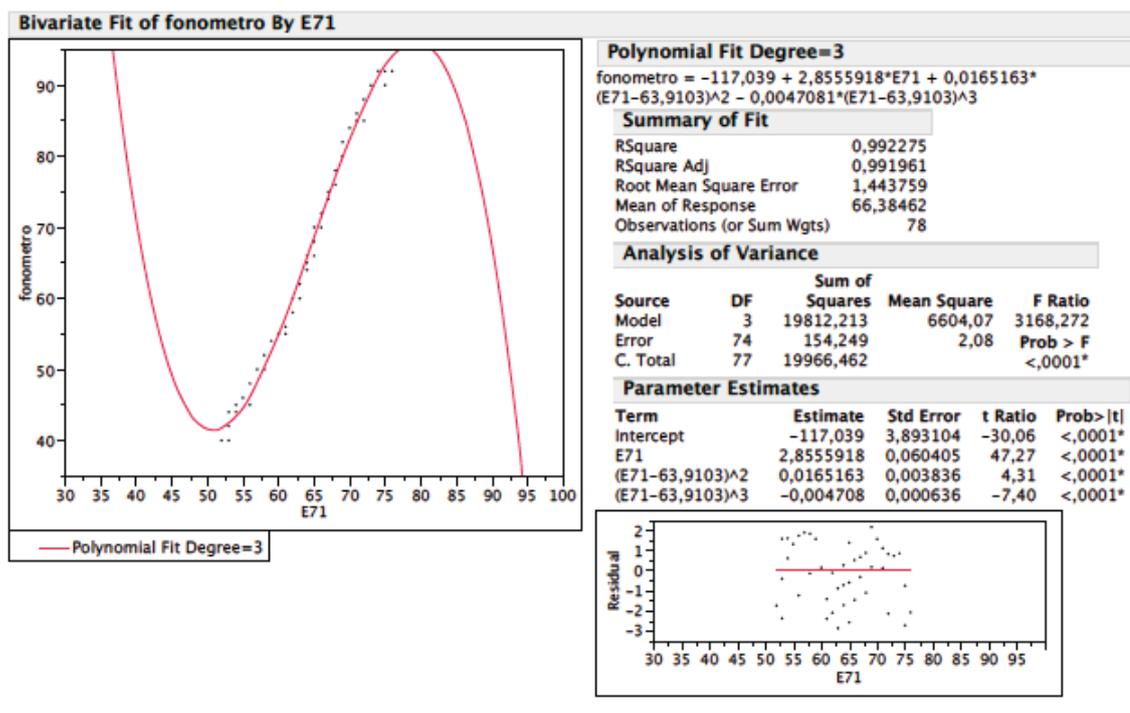


Figura 18 - Regressione polinomiale di terzo grado

La regressione lineare è già piuttosto buona, ma quella polinomiale di terzo grado è migliore, in termini di adattamento complessivo (Rsquare 0,99) e di distribuzione dei residui (range da -3 a +2 dB), a patto che ci si limiti al range di valori compresi tra 50 e 75 dB.

Per il cellulare Samsung, non è possibile definire un'unica linea di regressione, poiché il grafico delle quattro prove sovrapposte evidenzia due insiemi di punti - due linee - distinte.

### **Misure in campo libero**

Per verificare le performance “fonometriche” degli smartphone, nelle condizioni reali in cui dovrebbero operare (presenza di vento, maggiore variabilità della pressione sonora ecc..), sono state effettuati rilievi utilizzando contemporaneamente smartphone e un fonometro integratore per misure di rumore ambientale (classe 1), nelle stesse posizioni utilizzate da ARPAV per i effettuati per la zonizzazione acustica di Padova. Questo per essere sicuri di effettuare il confronto tra i dispositivi, nelle condizioni acusticamente significative (zone con traffico intenso ma costante, zone con rumore molto variabile ecc..).

Le misure spot sono state effettuate:

- bordo strada;
- altezza microfono di 1,5 metri da terra;
- condizioni meteo normali;
- vento praticamente assente;

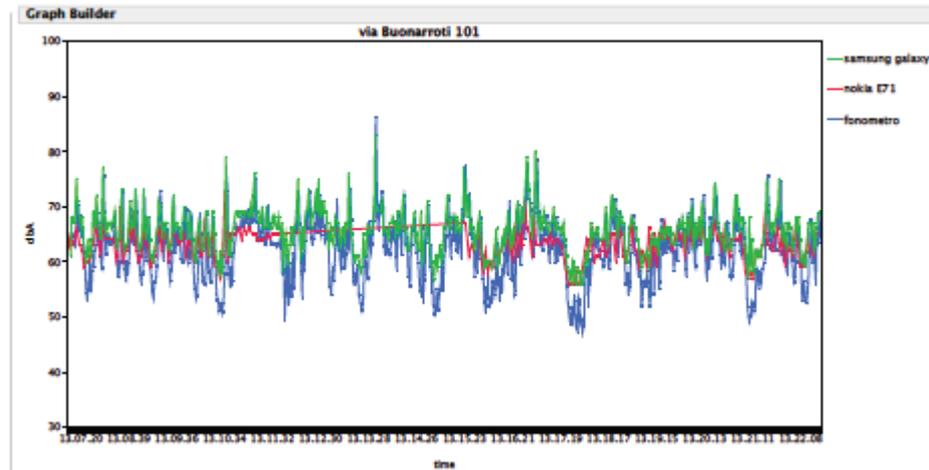
Sono state eseguite 25 rilevazioni tutte comprese nell'intervallo tra le 9,30 e le 13.

Una volta raccolte in un'unica banca dati tutte le misure, per ciascun punto e per ciascuno strumento sono stati calcolati i  $L_{eq}(A)$  e i livelli statistici Max, L1, L10, L50, L90, L99, Min.

Ai dati in uscita dal Nokia E71 è stata applicata la trasformata polinomiale di terzo grado individuata attraverso le prove di calibrazione in ambiente non controllato.

Ci si è limitati a trasformare soltanto i valori compresi tra 50 e 75, poiché si è osservato che la trasformazione dei rari valori più elevati avrebbe prodotto dei dB ancora più alti, con la conseguenza di aumentare eccessivamente il  $L_{eq}$  complessivo. Il  $L_{eq}$ , infatti, è molto

sensibile ai valori alti, anche se poco numerosi. Dopo di che, si è calcolato il Leq misurato dal cellulare Nokia E71 utilizzando i valori corretti.



strumento	Leq
fonometro	66
iphone	65
nokia	64
nokia corretto	67

Figura 19 - Esempio di elaborazione dati in uno dei punti

Come si era già evidenziato durante le prove in ambiente controllato, le applicazioni per cellulare non risultano adeguate a cogliere i livelli di rumore agli estremi della scala per durate brevi.

Tuttavia, il calcolo dei Leq per un periodo di 15 minuti produce risultati più confortanti. L'applicazione per iPhone, in particolare, produce valori di Leq(A) assolutamente confrontabili con quelli del fonometro: su 20 punti, 6 sono esattamente identici e per gli altri 14 il Leq(A) in uscita da iPhone è inferiore di un solo decibel (in realtà pochi decimali) rispetto a quello del fonometro.

Nel complesso, se l'obiettivo è quello di calcolare i Leq(A) a cui si è esposti in ambiente stradale urbano, le applicazioni per cellulari utilizzate nel test sembrano adeguate, a patto che si effettuino misure per un periodo abbastanza lungo, di almeno 10-15 minuti. Nascono per misurare l'esposizione personale al rumore mentre ci si muove in città. Il senso dell'operazione, infatti, non è misurare i livelli di rumore in un punto preciso della città,

ma, piuttosto, misurare i livelli di rumore a cui è esposto un pedone che si muove lungo le strade urbane.

## **6 Progettazione di una piattaforma di conoscenza condivisa**

### **6.1 Tema applicativo**

Nella presente tesi verrà descritta l'integrazione di informazione relativa alla tematica inquinamento acustico, prodotta da attori non istituzionali in un quadro di conoscenze condivise in un contesto multiattoriale a supporto della pianificazione acustica.

Le fonti informative trattate nel seguente progetto sono le seguenti:

- flussi informativi wiki ottenuti dal monitoraggio collaborativo;
- valorizzazione di giacimenti informativi mediante riutilizzo di dati ambientali prodotti per valutazioni ambientali;
- gestione del feedback dei cittadini concretizzato mediante segnalazione di inconvenienti acustici

La gestione della tematica inquinamento acustico è un processo estremamente trasversale nella pianificazione urbanistica e territoriale e coinvolge un insieme molto vasto di attori istituzionali e non istituzionali.

Obiettivo del presente lavoro è una descrizione per forza di cose generale e sommaria di un quadro di conoscenza a supporto della pianificazione acustica in un'ottica di governance, e la progettazione con un più elevato grado di dettaglio, dell'integrazione di conoscenza/informazione ottenuta da processi "bottom up", quali monitoraggi collaborativi, segnalazione di cittadini, valorizzazione giacimenti informativi.

### **6.2 Confinamento territoriale**

Nel presente lavoro vengono analizzate problematiche relative la gestione di conoscenza nelle attività di mappatura acustica strategica e redazione di piani di azione/risanamento.

Una parte dell'attività relativa alla preparazione di questa tesi sono state effettuate nel territorio del comune di Padova, in particolare:

- rilievi acustici in campo libero con misure simultanee con fonometro integratore e mobile-device di varie tipologie;

- calibrazioni sia in camera riverberante (presso il Dipartimento di fisica/tecnica dell'Università di Padova, che in ambiente indoor con fonometro integratore e sorgente sonora di rumore rosa;
- simulazioni di monitoraggi e misure spot utilizzando smartphone con NoiseTube.

Non vengono trattate problematiche che riguardano un determinato ambito territoriale, e si ritiene che la metodologia trattata possa essere applicata a qualsiasi agglomerato.

**Si precisa inoltre che nel Comune di Padova non è ancora stata eseguita la mappatura acustica strategica, mentre ad oggi risulta che l'unico agglomerato ad aver adottato il Piano d'Azione sia quello relativo al Comune di Firenze.**

### **6.3 Analisi della domanda informativa**

L'analisi della domanda informativa parte dalla mappatura degli attori, ognuno dei quali, esprime una domanda in relazione alle proprie competenze/azioni esercitate.

Esse in parte sono caratterizzate da criticità che, attraverso una loro corretta interpretazione, possono essere superate strutturando adeguatamente il disegno strategico, in parte sono immediatamente riconoscibili.

### **6.4 Mappatura degli attori**

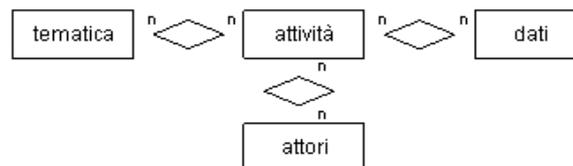
La valutazione dei portatori di interessi e di diritti di cui ci occupiamo, in relazione al tema della pianificazione acustica, ha portato all'individuazione di differenti tipologie di attori coinvolti, tra i quali distinguiamo:

- 1) quelli "istituzionali" che a varia scala si occupano attivamente della pianificazione del territorio, della pianificazione urbanistica in generale e dei piani di classificazione acustica;
- 2) i cittadini, in forma singola o associata, che sono i soggetti direttamente interessati dalle politiche di gestione del territorio nonché soggetti esposti all'inquinamento acustico;
- 3) altre categorie di attori (associazioni di categorie quali commercianti, artigiani, industriali) i cui effetti della pianificazione acustica possono influire in modo anche significativo.

Regione  
Provincia  
Comune  
Arpa  
AzUSL  
Gestori infrastrutture stradali  
Gestori infrastrutture ferroviarie  
Gestori infrastrutture aeroportuali  
cittadini  
Associazioni di categoria

In questa fase per ogni singolo macroattore, una volta individuate le attività coinvolte nel processo di pianificazione acustica, si individueranno le domande informative relative alle singole macrofunzioni alle quali il quadro di conoscenza dovrà dare una risposta.

Le informazioni necessarie ad effettuare la presente analisi, possono essere sistematizzate in una base dati come quella sottostante



**oppure possono essere più sinteticamente rappresentate con le seguenti matrici attore/domanda**

		classificazione acustica	pianificazione territoriale	pianificazione dei trasporti	pianificazione risanamento (Piani d'Azione)
Macro Attori	Attori				
enti locali	<b>Regione</b>	osservazioni e pareri su piano di classificazione acustica	osservazioni e pareri su piano territoriali	osservazioni e pareri su piano dei trasporti	redazione del piano d'azione, nel caso la regione non individui allo scopo una'altra autorità, osservazioni e pareri su piano di azione altrimenti.
	<b>Provincia</b>	osservazioni e pareri su piano di classificazione acustica	osservazioni e pareri su piano territoriali	osservazioni e pareri su piano dei trasporti	redazione del piano d'azione, nel caso la regione individui la provincia per la pianificazione del risanamento, osservazioni e pareri su piano di azione altrimenti.
	<b>Comune</b>	adozione e approvazione del piano di classificazione	adozione e approvazione di piani territoriali	adozione e approvazione di piani dei trasporti	adozione e approvazione di piani d'azione
agenzie controllo	<b>Arpa</b>	esprime pareri su adozione di piani di classificazione acustica	esprime pareri su adozione di piani e programmi urbanistici	esprime pareri su adozione di piani e programmi territoriali	espressione di pareri sul piano
	<b>AzUSL</b>	esprime pareri su adozione di piani di classificazione acustica	esprime pareri su adozione di piani e programmi urbanistici	esprime pareri su adozione di piani e programmi territoriali	espressione di pareri sul piano
Gestori infrastrutture	<b>RFI</b>			osservazioni su pianificazione dei trasporti	
	<b>ANAS</b>			osservazioni su pianificazione dei trasporti	
portatori di diritti	<b>cittadini, WIKI</b>		presentazione di osservazioni	presentazione di osservazioni	
portatori di interessi	<b>associazioni di categoria</b>		presentazione di osservazioni	presentazione di osservazioni	

		attenuazione mediante tecniche di insonorizzazione	controllo emissioni acustiche alla sorgente	mappatura acustica e mappatura acustica strategica
<b>Macro Attori</b>	<b>Attori</b>			
enti locali	<b>Regione</b>	nn	nn	redazione di linee guida per la mappatura acustica - acquisizione dati mappatura strategica
	<b>Provincia</b>	nn	nn	realizzazione mappatura acustica di strade provinciali e/o di mappatura acustica strategica
	<b>Comune</b>	progettazione di interventi		realizzazione mappatura acustica e mappatura acustica strategica
agenzie controllo	<b>Arpa</b>	valutazione di progetti su interventi di mitigazione attivi e passivi	effettuazione di misure puntuali e monitoraggi per il controllo di sorgenti puntuali, lineari o areali	eventuali prestazioni su convenzione (monitoraggi, supporti tecnici)
	<b>AzUSL</b>			
gestori infrastrutture	<b>RFI</b>	progettazione di interventi di risanamento acustico		redazione di mappatura acustica relativa alla sorgente infrastrutturale di competenza
	<b>ANAS</b>	progettazione di interventi di risanamento acustico		redazione di mappatura acustica relativa alla sorgente infrastrutturale di competenza
portatori di diritti	<b>cittadini, WIKI</b>			
portatori di interessi	<b>associazioni di categoria</b>			

**Si descrive con maggiore grado di dettaglio la domanda informativa relativa alle macrofunzioni/attività svolte dagli attori nell'ambito della pianificazione acustica.**

macrofunzione	domanda informativa
mappatura acustica agglomerato	modello digitale terreno
	tipo di copertura del suolo
	edifici
	dati demografici
	rilievi fonometrici puntuali
	infrastrutture stradali - segmento (pendenza, % veicoli pesanti, velocità veicolare, accelerazione, decelerazione ecc..)
	infrastrutture ferroviarie -segmento (flusso di traffico, percentuale treni merci, velocità media, direzione di marcia, numero binari)
	sorgenti aeroportuali (centro di riferimento aeroportuale, piste dell'aeroporto georiferite, traiettorie nominali di decollo/atterraggio, dati topografici con passo minimo 3")
	sorgenti sonore industriali (potenza sonora singole sorgenti)
	dati ambientali - giacimenti informativi
dati misure wiki	
Pianificazione territoriale	piano di classificazione acustica
	piani strategici d'azione
Pianificazione risanamento (piani d'azione)	mappe di conflitto
	mappe di criticità
	mappe di opportunità
	mappe d'esposizione
Valutazione Piani/Progetti	piano di classificazione acustica
	piano d'azione
	segnalazioni inconvenienti acustici
partecipazione/cooperazione alla redazione dei piani d'azione	piani d'azione
	mappe di conflitto
	mappe di criticità
	mappe di opportunità
	mappe d'esposizione
	dati misure wiki
	dati qualitativi percezione wiki (ambiti)

monitoraggio effetti piano d'azione	dati misure wiki
	dati qualitativi percezione wiki (ambiti)
	dati misure ambientali
	dati monitoraggi ufficiali
progettazione interventi di mitigazione, valutazioni impatto e clima acustico	piano di classificazione acustica
	dati ambientali - giacimenti informativi
	Dati morfologici – modello digitale suolo edifici
	Grafi stradali

## **6.5 Costruzione del disegno strategico e prospetto delle risorse informative necessarie per le domande di conoscenza relative al tema della Pianificazione Acustica**

Riprendo brevemente l'obiettivo che intendo perseguire con la progettazione del sistema informativo finalizzato alla gestione di conoscenza prodotta da processi "bottom up" e dalla valorizzazione di conoscenza ottenuta dal riutilizzo di dati ambientali ottenuti da altri processi di valutazione ambientale.

La collettività produce una enorme quantità di informazione relativa alla tematica inquinamento acustico sottoforma sia di feedback qualitativi che di misure fisiche del clima acustico che caratterizza l'ambiente urbano.

L'integrazione e la valorizzazione di questa informazione nei processi di pianificazione acustica potrebbe dare un valore aggiunto di grande entità, sia da un punto di vista tecnico sia da un punto di vista relativo ad un allargamento della base di condivisione delle scelte di pianificazione adottate.

I flussi informativi che intendo gestire nel presente progetto riguardano:

- monitoraggi collaborativi per la produzione di mappatura acustica;
- valorizzazione di dati acustici prodotti nell'ambito di procedure valutative;
- flusso informativo qualitativo relativo alla percezione del rumore a supporto di metodologia "soundscape analysis";
- feedback della cittadinanza sottoforma di segnalazioni di inconvenienti acustici;

L'informazione per essere integrata nei processi di pianificazione acustica, deve essere discretizzata e rappresentata su strati informativi che andranno ad incrementare le mappe di criticità che sono la base di partenza per la pianificazione di interventi di risanamento e tutela contenuti nei Piani di Azione.

L'informazione "ancillare" (wiki, segnalazioni di cittadini, giacimenti informativi), viene utilizzata inoltre per il monitoraggio degli interventi di risanamento adottati per mezzo dei Piani di Azione.

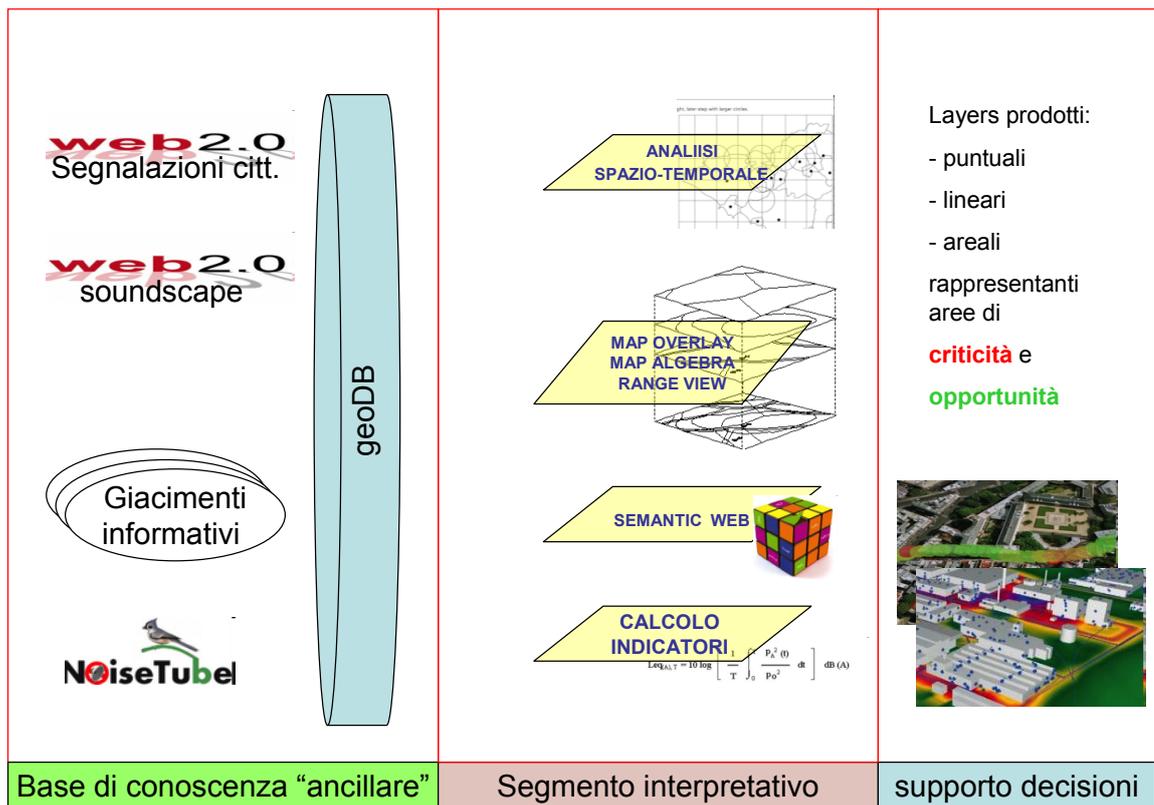


Figura 20 - Layer da processi bottom up

Le mappe di **criticità** vengono ottenute:

- da contributi quantitativi, mediante confronto di livelli di pressione sonora ottenuti da monitoraggi collaborativi e dati prodotti per valutazioni ambientali (giacimenti informativi);
- da contributi qualitativi da segnalazioni di criticità acustiche sottoforma di esposti, commenti sottoforma di tag.

Le mappe di **opportunità** vengono ottenute analizzando contributi qualitativi e riguardano zone da sottoporre ad eventuale tutela e zone da sottoporre ad interventi di risanamento acustico.

L'informazione soggettiva che rappresenta di fatto la percezione del rumore da parte dei soggetti esposti all'inquinamento acustico, può essere raccolta in modo non strutturato,

sottoforma di commenti (TAG) alle tracce rilevate utilizzando piattaforme come NoiseTube, che permettono il contemporaneo rilievo di dati oggettivi sottoforma di livello di pressione sonora e valutazione soggettiva, esclusivamente legata alla percezione di eventi sonori che generano fastidio o sensazioni piacevoli.

L'informazione qualitativa relativa alla percezione del rumore da parte di soggetti fruitori delle aree, al fine di permettere una elaborazione efficace, deve essere raccolta in modo strutturato. Le informazioni georiferite, raccolte mediante una interfaccia WEB 2.0, vengono archiviate nel geoDB ed elaborate mediante query spaziali incrociandole con dati di uso del suolo acquisiti da coperture con idoneo livello di risoluzione spazio-temporale (es. precisoLand),

I risultati delle elaborazioni possono essere utilizzati a supporto della metodologia "soundscape analysis" per la progettazione del Design Acustico delle aree da riqualificare.

Si riporta di seguito uno schema delle fasi procedurali della metodo soundscape analysis:

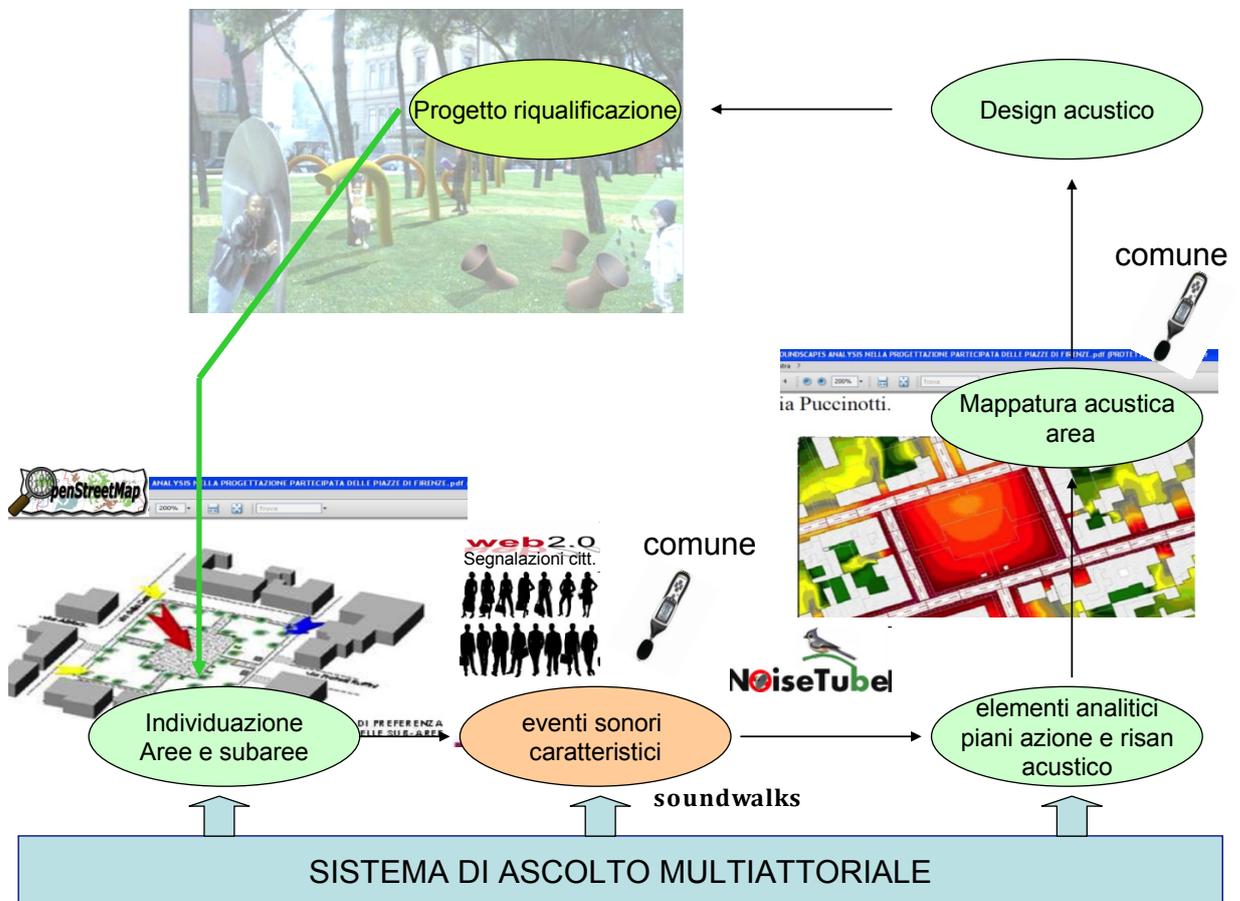


Figura 21 - Fasi procedurali della metodo soundscape analysis

I layer prodotti con processi bottom-up vengono integrati nel geoDB istituzionale quale base di conoscenza condivisa in contesto multiattoriale, a supporto della pianificazione acustica. Nell'immagine sottostante viene rappresentato il disegno strategico complessivo.

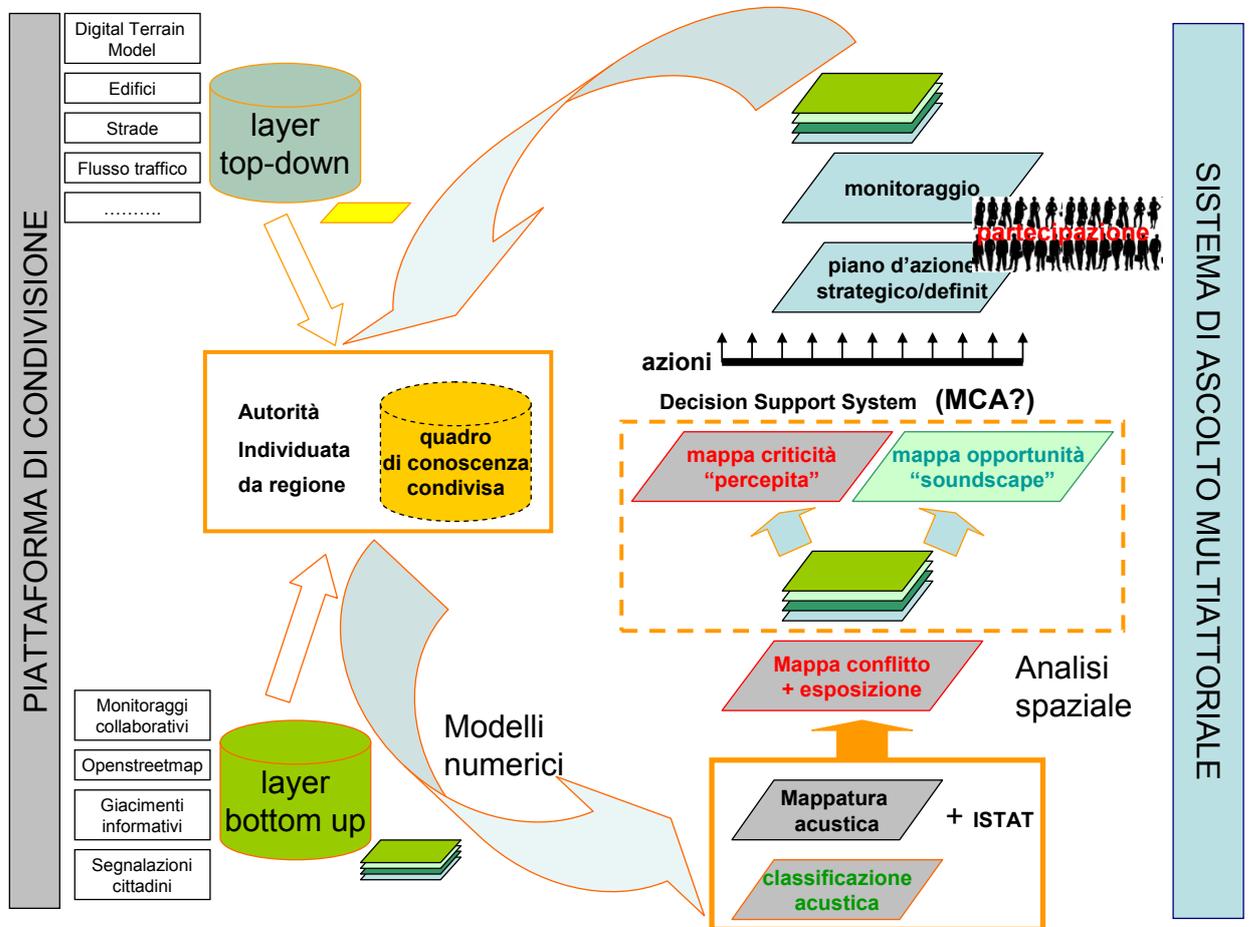


Figura 22 - Disegno strategico complessivo

Si riassumono brevemente le fasi del processo di pianificazione acustica che partendo dal piano di classificazione acustica, portano alla redazione del piano (strategico) d'azione relativo ad agglomerati.

- 1) dal confronto tra piano di classificazione, che definisce i limiti massimi d'immissione assoluta su ambiti omogenei e mappatura acustica strategica che rappresenta il modello rappresentante il clima acustico globale ottenuto da misure e dati di traffico relativi alle infrastrutture che impattano sull'agglomerato (output della modellazione contemporanea delle quattro sorgenti prese in considerazione o in alternativa

sommando il contributo energetico dei risultati delle singole modellizzazioni), otteniamo la mappa dei conflitti, che rappresenta le aree di non conformità per l'incongruenza tra limiti e risultati della mappatura acustica. L'impatto totale di queste aree di conflitto va pesato con i dati relativi ai residenti negli edifici esposti alle sorgenti modellate, ottenendo in questo modo mappe di conflitto/esposizione.

2) questa base di conoscenza ottenuta con processi "top down", ed in particolare:

- monitoraggi commissionati dall'ente individuato dalle regione;
- dati di traffico ottenuti dai gestori delle infrastrutture di trasporto (strade, ferrovie, aeroporti);
- modelli di calcolo conformi a norme UNI ;
- dati meteo medi annui prodotti da servizi meteorologici regionali;
- viene confrontata con una conoscenza che definiamo "bottom-up" ottenuta da:
- (ri)utilizzo di dati ambientali prodotti nell'ambito di procedure autorizzative di valutazione di impatto ambientale, piani/progetti urbanistici, autorizzazioni ambientali integrate ecc.. Questi dati oltre ad essere riutilizzati nell'ambito della pubblica amministrazione, dovrebbero essere pubblicati e diffusi come Open-Data che ne permettano il riutilizzo da parte di privati (licenza creative commons).
- feed-back da parte di cittadini sia sottoforma di segnalazioni di inconvenienti acustici , che di percezione del rumore su determinate aree sulla base del tipo di fruizione. Questa informazione è estremamente preziosa, perché rappresenta la qualità percepita dai cittadini e di fatto l'obiettivo della pianificazione acustica
- informazione quali/quantitativa da monitoraggi collaborativi, che rappresenta di fatto un flusso informativo complementare a quello istituzionale perché acquisito con una metodologia "antropocentrica". Le piattaforme come NoiseTube o WideNoise sono le uniche attualmente disponibili per il supporto alla mappatura acustica collaborativi.

L'acquisizione di informazione qualitativa basata sulla percezione (associata comunque a quella quantitativa in termini di livelli sonori), permette di adottare metodologie per l'analisi del soundscape e di ottenere informazioni/indirizza utili per la riqualificazione acustica che non deve necessariamente focalizzarsi sulla riduzione globale del livello di pressione sonora, ma puntare sulla mitigazione di rumori che percepiti come fastidiosi e causa di annoyance.

L'individuazione delle azioni da adottare nei vari scenari saranno valutate sulla base di criteri di fattibilità economica ed efficacia in termini di riduzione del livello di pressione acustica su un determinato numero di persone o massimizzazione del numero di persone esposte a una determinata riduzione del livello.

Le fasi di adozione del piano prevedono momenti di partecipazione (art. 8 D.Lgs. 194/05) con la cittadinanza che può depositare osservazioni.

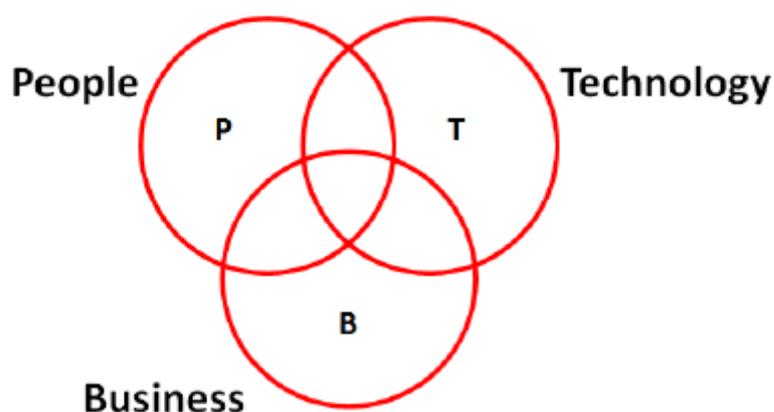
Anche per quanto riguarda il monitoraggio degli effetti del piano è prevista la partecipazione della cittadinanza.

Relativamente alla suddetta attività, di monitoraggio, occorre precisare che la produzione di tematismi "bottom-up" opera in continuo ed in modo diffuso permettendo un aggiornamento in tempo che possiamo definire "reale" o pertinente rispetto il fenomeno che stiamo osservando.

### 6.5.1 Analisi delle funzionalità e degli attori coinvolti

Le funzionalità verranno analizzate sulla base dei

- **people** - macroattori interessati ad avere o fornire informazione;
- **technology** - come acquisire e fornire l'informazione;
- **business** - costi/benefici nell'utilizzo del quadro di conoscenza condiviso.



*Figura 23 - Analisi delle funzionalità e degli attori coinvolti*

Nel presente lavoro ci si limita ad analizzare la componente della base conoscitiva prodotta da processi che abbiamo definito “bottom up”. Occorre peraltro precisare che il problema della raccolta e la gestione dei dati, nel processo di produzione di mappatura acustica strategica è forse la criticità più importante in grado di condizionarne pesantemente l’accuratezza.

Da informazioni acquisite presso autorità competenti (es. Comune di Bologna), confermate peraltro da articoli scientifici redatti da soggetti coinvolti nei suddetti processi (M.Garai, D.Fattori, L.Barbaresi, P.Guidorzi, “*La mappa acustica strategica del Comune di Bologna*” – DIENCA - Univ. Di Bologna), le difficoltà nella raccolta di dati aggiornati e con idoneo grado di risoluzione spazio-temporale, obbliga i responsabili del processo di mappatura acustica, in determinate circostanze, a trovare soluzioni di compromesso. Mi riferisco in particolare ai dati relativi ai flussi di traffico che i gestori delle infrastrutture forniscono solo dietro pagamento di cifre spesso proibitive per le amministrazioni.

#### **6.5.1.1 PEOPLE**

Si descrivono le esigenze informative espresse dagli attori e specificate nella fase di analisi della domanda informativa.

##### **Autorità competenti**

Le autorità competenti individuate dalla regione per la produzione di mappatura acustica strategica e la redazione dei piani di azione, possono essere:

- la regione stessa;
- la provincia;
- il comune (nel caso di aree metropolitane il comune centrale);

Le funzioni supportate dall’informazione “ancillare” trattata nel presente lavoro sono quelle relative alla redazione dei Piani di Azione, in quanto la mappatura acustica strategica viene prodotta quasi esclusivamente con strati informativi appositamente acquisiti (processi Top Down).

Per la redazione di scenari di risanamento acustico, le funzionalità che il sistema informativo deve avere sono le seguenti:

- visualizzazione degli strati informativi relativi al piano di classificazione acustica e mappatura acustica strategica;

- visualizzazione mappe di criticità e opportunità ottenute mediante elaborazione di dati ancillari;
- funzioni di overlay e mapalgebra per evidenziare aree di conflitto;
- possibilità di eseguire query spaziali per quantificare il numero di abitanti interessati da ogni scenario di mitigazione.

### **Cittadini/WIKI**

Per poter coinvolgere efficacemente la componente wiki/cittadinanza ed instaurare con la stessa un rapporto di cooperazione, sia per la produzione di informazione quali/quantitativa, che per la partecipazione attiva nel processo di pianificazione degli interventi di mitigazione, occorre fare in modo di conformare uno spazio di relazione fra le Amministrazioni e la componente wiki (cittadini, utenza).

I cittadini devono quindi poter:

- visualizzare i tematismi relativi a classificazione acustica, mappatura acustica strategica e mappe prodotte mediante l'elaborazione di dati ancillari (mappe di criticità e opportunità).
- ambiti individuati dalla pianificazione strategica di azione e gli scenari di mitigazione da valutare (per i quali sono previste le rituali fasi di partecipazione).
- inserire mediante apposita interfaccia le informazioni relative alla percezione dei rumori/suoni nelle aree dagli stessi frequentate per scopi diversi (supporto metodologia "soundscape analysis");
- segnalare mediante apposita interfaccia inconvenienti acustici (esposti) ed eventualmente inviare, ad un indirizzo di posta certificata, richiesta ufficiale di sopralluogo.
- visualizzare le tracce dei rilievi effettuate con mabile-device.e NoiseTube.

### **Progettisti**

I dati ambientali relativi a rilievi fonometrici effettuati da privati per valutazioni di impatto/clima acustico nell'ambito di procedure amministrative, sono a tutti gli effetti dati ambientali e come tali disciplinati dal D.Lgs. 195/05 che prevede l'obbligo, per le amministrazioni che li detengono, di pubblicarli. Si ritiene che il loro riutilizzo per altre valutazioni ambientali (clima/impatto acustico, mappature acustiche), permetterebbe di

ottenere elaborati con livelli di accuratezza maggiore a vantaggio della collettività. Questo è possibile se si “liberano” mediante licenze tipo Creative Commons.

I progettisti devono poter eseguire upload e download di dati relativi a dati di monitoraggio acustico.

### **Enti con funzione di valutazione di piani programmi**

Gli attori istituzionali con funzioni di valutazione di piani e programmi, hanno l’esigenza di accedere a tutta la conoscenza prodotta in materia di acustica ambientale.

Per questa funzione, è di grande interesse la componente della conoscenza prodotta da attori non istituzionali che di fatto rappresentano più da vicino il punto di vista dei soggetti esposti all’inquinamento acustico.

Occorre tra l’altro precisare che mentre il flusso informativo istituzionale (che nell’ambito del presente lavoro definiamo top down), si attiva ad intervalli temporali non certo frequenti (la frequenza minima di aggiornamento è 5 anni), il flusso di dati quali/quantitativi prodotti con processi “bottom up”, è aggiornato in un tempo che potremmo definire “quasi reale” o quantomeno tempo pertinente per il fenomeno che stiamo osservando (G. Borga, “City Sensing” 2011).

Le funzionalità che devono essere implementate a supporto della valutazione di piani e programmi riguardano la visualizzazione di tutti gli strati informativi, ma per le motivazioni sopra menzionate, acquisisce particolare importanza la visualizzazione delle mappe di criticità in quanto evidenziano con maggiore grado di confidenza, le situazioni acustiche da valutare con maggiore attenzione.

#### **6.5.1.2 TECHNOLOGY**

Le soluzioni tecnologiche per la realizzazione di un SIT per la gestione di un quadro di conoscenza condiviso in contesto multiattoriale, sono molteplici, dalla realizzazione di un “corporate database” alla realizzazione di una rete di servizi web OGC compliance, in grado quindi di assicurare l’interoperabilità tecnica e lo scambio automatico di dati tra gli attori coinvolti nel processo di pianificazione acustica.

Si ritiene che soluzioni orientate alla seconda soluzione siano più facilmente percorribili perché permettono ai vari attori una gestione pienamente indipendente del problema.

Nel presente lavoro ci siamo occupati della gestione dei flussi informativi “bottom up”. Questi richiedono la valutazione di due ordini di problemi, ed in particolare:

- livello di interazione con la componente wiki – Per instaurare un rapporto di cooperazione con i cittadini/volontari, occorre progettare iniziative di sensibilizzazione, educazione che permettano non solo di avviare il flusso informativo ma anche di mantenerlo attivo e di adattarlo alle esigenze che nel tempo si evidenziano. Per fare questo è quindi necessario realizzare meccanismi d’ascolto e prevedere continue manutenzioni della piattaforma realizzata (principio “beta per sempre”).
- tipologia di interazione con la componente wiki – A seconda della tipologia di funzioni che si intende implementare nella piattaforma di condivisione, esistono molteplici soluzioni tecnologiche che possono distribuire il carico computazionale in modo diverso tra server e client. Le soluzioni denominate “thick client” hanno il vantaggio (sfruttando la capacità computazionale del client a vantaggio di un minore carico della rete per continui scambi di dati client/server), di permettere l’implementazione di applicazioni più impegnative dal punto di vista del carico computazionale. Questa condizione potrebbe però essere limitativa per l’impiego su dispositivi mobili nel brevissimo periodo, perché la rapida diffusione degli smartphone, disponibili per una fascia sempre più ampia di utenza, risolverebbe agilmente questo problema. Le soluzioni “thin client” all’opposto, tendono a sbilanciare il carico computazionale sul lato server, con conseguente maggiore carico del traffico di rete.

**A prescindere dalla soluzione che si intende seguire, condizione necessaria è la rapidità di implementazione, per garantire continui adeguamenti alle esigenze in continuo cambiamento percepite mediante i meccanismi d’ascolto attivati.**

Per una fase prima fase di avvio è sempre consigliabile progettare architetture tecnologiche orientate ai servizi (SOA) e utilizzare software open source, per ovvi motivi di economicità. Un orientamento verso tecnologie Open Source dovrebbe essere l’indirizzo comune per tutte le pubbliche amministrazioni, in quanto permette maggiore libertà nella scelta e nella migrazione tra soluzioni tecnologiche diverse e nasce già OGC compliance.

Relativamente alla gestione della base di conoscenza “integrativa”, di cui ci occupiamo nella presente tesi, si ritiene che la tecnologia open source, sperimentata durante il biennio di studi, sia assolutamente adeguata.

Ci si riferisce in particolar modo a:

- PostgreSQL/postGIS per la realizzazione del geoDB;
- geoserver per realizzare web service e come base per l'interfaccia WEB;
- Open Layer per l'implementazione di interfacce;
- Perl , Java e Javascript come linguaggi di programmazione lato server e client.

### 6.5.1.3 BUSINESS

Rappresenta i vincoli economici con i quali siamo obbligati a confrontarci nella scelta della soluzione più adeguata per soddisfare le esigenze informative degli attori utilizzando le tecnologie disponibili rispetto il suddetto budget, tenendo in considerazione i benefici attesi dall'utilizzo della piattaforma di condivisione.

### 6.5.1.4 Costi e benefici

Per effettuare una valutazione tra diverse alternative progettuali, occorre individuare e quantificare i criteri di costo e di beneficio per ogni funzione implementata sulla base della domanda informativa espressa ed implicita dei nostri attori.

macroattore	funzione da implementare	beneficio atteso dal committente	unità misura	valore
cittadino/wiki	visualizzazione tracce NoiseTube inviate	minore numero di campagne di monitoraggio per verificare qualità mappatura acustica	ore totali di misura	.....
cittadino/wiki	acquisizione informazione qualitativa su percezione rumore supporto metodologia "soundscape analysis"	minore tempo necessario per acquisire conoscenza attraverso questionari da distribuire ai cittadini	ore uomo	
progettista rumore	upload/download di misure fonometriche	valutazioni più accurate, minori richieste di integrazione e risparmio di tempo per istruire pratiche urbanistiche	ore uomo	
valutatore piani/programmi	visualizzazione piano classificazione acustica, mappatura acustica e mappe di criticità/opportunità	minore tempo necessario per eseguire istruttoria	ore uomo	

### 6.5.1.5 Valutazione rispetto ai tre elementi (people, technology, business)

Il processo valutativo ha due funzioni importanti:

- permette di verificare se la soluzione progettuale individuata consente di centrare il nostro obiettivo (contempera le esigenze delle tre sfere descritte sopra);
- consente di argomentare in merito al percorso valutativo che ci ha condotto alla scelta individuata ed eventualmente offre spunti agli attori per ridimensionare la domanda informativa (feedback).

#### Metodologia

Per valutare le diverse soluzioni progettuali (**technology**) sulla base delle rispettive performance in termini di soddisfacimento dei bisogni informativi (espliciti ed impliciti) degli attori coinvolti nel sistema informativo (**people**) e dei costi associati alle suddette alternative progettuali (**business**) **si costruisce una matrice di valutazione che analizzi:**

- soluzioni progettuali;
- criteri di valutazione performance SIT rispetto alla domanda informativa di ciascun attore ;
- costi associati a ciascuna performance;

Viene effettuata una ponderazione tra criteri per definirne il grado di importanza relativa rispetto agli altri.

Utilizzando un algoritmo di aggregazione, si ottiene un ordinamento delle soluzioni progettuali individuate.

Successivamente si esegue una analisi di sensitività che permette di verificare la robustezza dell'ordinamento al variare del peso associato a ciascun criterio di valutazione.

Questo ci fornisce gli elementi per argomentare sull'ordinamento ottenuto ed eventualmente di rivedere il peso associato a eventuali domande informative espresse dagli attori.

**Fase 1** – elencare le domande informative individuate nella matrice attori domande ed i rispettivi criteri di valutazione.

In particolare, per ogni criterio occorrerà specificare semantica e metrica.

Nella selezione dei criteri occorre verificare che tra gli stessi non vi sia ridondanza (analisi di correlazione tra i criteri stessi). In caso di forte correlazione può essere opportuno eliminare criteri ridondanti.

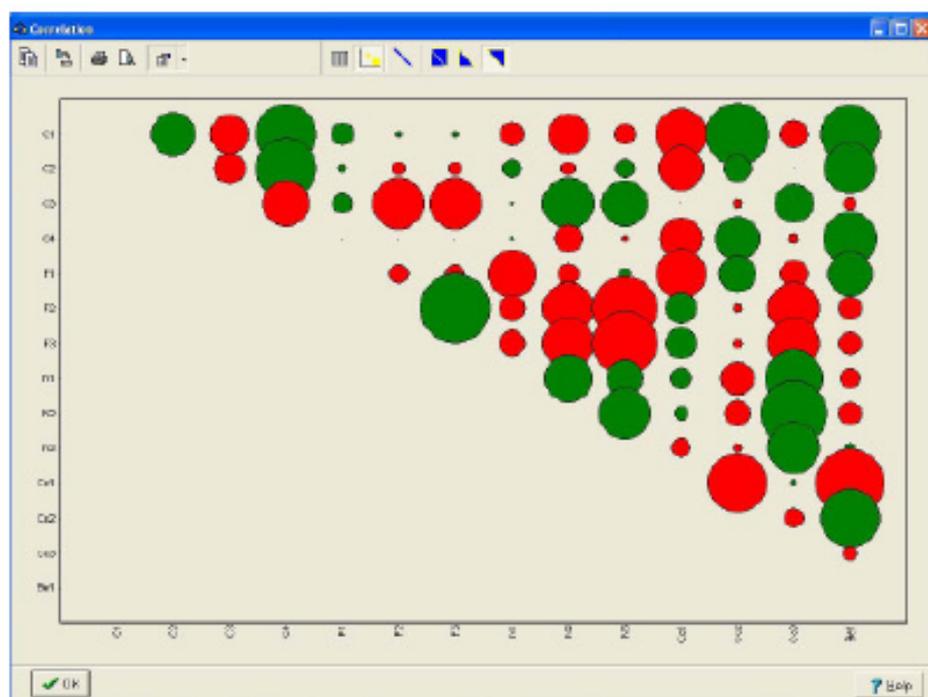
**Fase 2** – ponderazione dei criteri, dove si stabilisce un ordine di importanza di un criterio rispetto agli altri.

Diversi sono i modi di assegnare i pesi ai criteri. Essi si distinguono fra modalità diretta e indiretta.

Modalità diretta: sono valori attribuibili direttamente da un valutatore; possono però anche essere generati tramite procedure come Delphi, Nominal Group Teatre o con Focus Group.

Modalità indiretta: Attraverso numerose interazioni di tecniche numeriche come:

- Confronto a coppie (Parwise Comparison), che permette di confrontare un criterio rispetto ad altri e di analizzare la dominanza di uno rispetto all'altro;
- Valore Atteso (Expected Value);
- Metodo casuale (Random), con i quali è possibile definire dati numerici da dati qualitativi, è possibile definire un ordinamento in base al quale vengono assegnati i pesi.



*Figura 24 - Ponderazione dei criteri*

**Fase 3** – elencare e descrivere ogni alternativa progettuale in termini di:

- caratteristiche tecniche (HW, SW, sensori.....);
- dati e informazioni;
- contesto organizzativo necessarie costi associati;
- costi associati ad ogni soluzione progettuale (progettazione, implementazione, manutenzione....);

**Fase 4** – costruzione matrice di valutazione;

criteri	unità di misura	SIT 1	SIT 2	SIT 3	SIT n
costi progettazione	euro	2000	13000	5000	...
costi implementazione	euro	20000	50000	10000	...
costi di manutenzione	euro/anno	500	200	800	...
tempo caricamento mappe	ordinale	2	5	3	...
funzionalità GIS	ordinale	3	4	4	...
scalabilità del sistema	ordinale	2	4	3	...
affidabilità	ordinale	4	5	4	...
...	...	...	...	...	...

**Fase 5** - . standardizzazione. La standardizzazione dei criteri è una procedura che permette di eliminare l'effetto scala perfezionare la strategia di giudizio.

*Standardizzazione lineare:* la funzione è lineare e decrescente ed è definita dividendo gli effetti della tavola per il massimo valore della tavola stessa. In seguito a tale tipo di standardizzazione i pesi vengono generati automaticamente;

*Standardizzazione intervallare:* è sempre una funzione lineare in cui i valori sono interpolati tra valori di minimo e di massimo, tra il migliore e il peggiore "score";

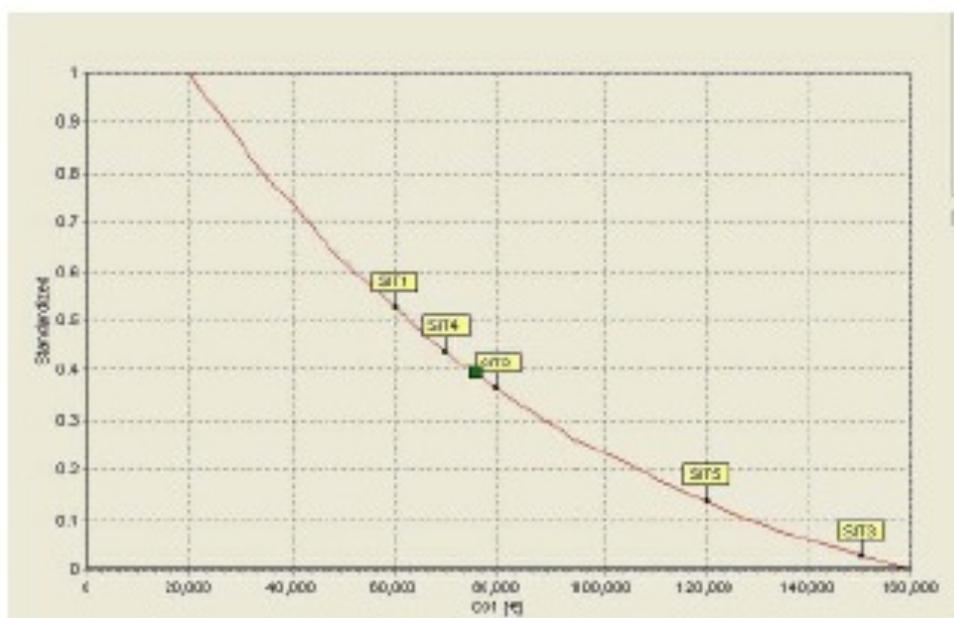
*Standardizzazione "GOAL":* con la funzione lineare goal è possibile definire delle soglie di minimo e di massimo specificati, realizzando così una standardizzazione rispetto a valori obiettivo. Nel caso dei costi, i valori da considerare sono soglie di minimo, nel caso di benefici soglie di massimo.

La funzione di trasformazione della variabile costi non è di tipo lineare. Per poter capire quale funzione di trasformazione è la più adatta bisogna analizzare in che rapporto stanno i costi con la funzione di utilità.

Nella funzione lineare il rapporto tra la variazione della funzione di utilità e la variazione dei costi è costante. Questo implica che per costi elevati del sistema corrispondono variazioni elevate di utilità. La funzione di trasformazione dei costi deve essere di tipo convesso, cioè una funzione di domanda corrispondente al prezzo che si è disposti a pagare per ottenere una

unità nel consumo di un determinato bene. A questo tipo di curva è associata l'elasticità della domanda che può essere alta, media o bassa. La funzione convessa è decrescente e presenta una elasticità bassa in corrispondenza di prezzi alti, avendo così un'utilità bassa. Gli stakeholder non sono disposti a pagare una cifra maggiore. Viceversa a prezzi più bassi si ha un'utilità maggiore, data da una elasticità maggiore che porta il committente a spendere una cifra maggiore.

Quindi la funzione di trasformazione utilizzata per i costi è del tipo convesso.



*Figura 25 - Curva dei costi*

### **Fase 6 – analisi di sensitività**

Conclusa la fase precedente, dobbiamo ora occuparci dell'analisi di sensitività.

Sviluppare un'analisi di sensitività significa studiare qual è l'elasticità dell'ordinamento al variare di alcuni input.

In particolare nell'analisi di sensitività andremo per esempio a verificare come varia l'ordinamento:

- al variare dei pesi dei criteri;
- all'incertezza nell'identificazione di alcuni parametri (es. di costo).

### 6.5.2 Fonti informative di base per mappatura acustica strategica

Si riportano di seguito le fonti informative normalmente impiegate nei processi di mappatura acustica

Descrizione	Fonte/Produttore risorsa

### 6.5.3 Fonti informative prodotte da processi “bottom up” per mappatura acustica strategica e piani d’azione

In questo paragrafo descrivo nel dettaglio tipologia, acquisizione, qualità e le modalità di elaborazione delle suddette fonti informative.

Come descritto nel disegno strategico, l’informazione prodotta da processi “bottom-up” che si intende integrare nel quadro di conoscenza istituzionale a supporto della pianificazione acustica è la seguente:

- 1) Flusso informativo ottenuto da monitoraggi collaborativi supportati da piattaforme del tipo NoiseTube e WideNoise.

In questo lavoro abbiamo sperimentato l’applicazione NoiseTube realizzata nell’ambito di un progetto di ricerca iniziato nel 2008 presso la Sony Computer Science Lab a Parigi e attualmente proseguito dal Team Brussense presso la Vrije Universiteit Brussel. Questa iniziativa propone un approccio partecipativo per il monitoraggio dell’inquinamento acustico, coinvolgendo il pubblico in generale.

L’obiettivo è quello di produrre una mappatura acustica collaborative, grazie alla condivisione automatica di misure geolocalizzate.

2) Dati ambientali relativi a rilevazioni fonometriche prodotte da privati nell'ambito di procedure di valutazione di impatto/clima acustico a corredo di piani - progetti urbanistici, autorizzazioni ambientali (AIA, nuovi insediamenti produttivi), autocontrollo (es. IPPC) e depositate nei giacimenti informativi nelle pubbliche amministrazioni. Questi dati hanno un livello di accuratezza analogo a quello dei dati acquisiti nei monitoraggi per la calibrazione dei modelli revisionali utilizzati per la produzione di mappatura acustica strategica. Occorre inoltre sottolineare che si tratta di dati ambientali che la pubblica amministrazione avrebbe l'obbligo di pubblicare ai sensi del D.Lgs. 195/05. Nella maggioranza dei casi questo non avviene per il semplice motivo che questi dati restano immobilizzati su supporto cartaceo negli archivi e di conseguenza inutilizzati. Si sottolinea inoltre che questa informazione potrebbe essere non solo pubblicata ma anche ceduta come Open-Data con licenza creative commons.

3) Feed-Back della cittadinanza sottoforma di segnalazione di inconvenienti ambientali. Anche questa informazione viene gestita dalle amministrazioni pubbliche con procedure consolidate, che analizzano e tentano di dare una risposta ad ogni singolo caso.

Nella maggior parte dei casi ogni pratica viene archiviata su base cartacea, mentre l'informazione contenuta rimane come nel caso precedente, immobilizzata su cartaceo. Una soluzione che permetterebbe di riutilizzare questa informazione che costituisce di fatto un importante feed-back della cittadinanza relativamente alla percezione di questo fenomeno, è l'impiego di una applicazione su base geografica che mediante meccanismi WEB 2.0, permetta di ottenere e gestire informazioni georiferite, sfruttando tra l'altro le enormi potenzialità di quello che viene definito "paradigma dell'immagine".

L'esempio classico di grande successo, è l'applicazione IRIS del Comune di Venezia che, grazie anche alle capacità tecnico/organizzative dei soggetti che l'hanno progettato e lo gestiscono, sono riusciti a far percepire ai cittadini che mediante quella interfaccia, si può stabilire realmente una comunicazione bidirezionale con l'amministrazione.

Le informazioni raccolte con questa modalità possono essere successivamente analizzate con tecniche di statistica spaziale e con tecniche tipo “eventi sentinella” utilizzate in epidemiologia, per estrarre informazione utile a supportare la pianificazione di interventi per il risanamento.

## **6.6 Fast prototyping**

### **6.6.1 Schema del flusso dei dati e del piano delle elaborazioni**

#### **6.6.1.1 Dati quantitativi**

##### **6.6.1.1.1 Monitoraggio collaborativo**

Il flusso informativo prodotto dal monitoraggio partecipato mediante l'applicazione NoiseTube è formato sia di dati quantitativi che qualitativi;

I primi sono misure di Leq (Livello equivalente) rilevati con una frequenza che varia da 1 a 3 secondi a seconda del sistema operativo impiegato.

Ad ogni valore è associato un riferimento spazio-temporale:

- coordinate geografiche
- timestamp

L'applicazione installata nel mobile-device, memorizza le informazioni in formato XML di cui si riporta un frammento di codice:

```
<measurement   timeStamp="2011-10-04T10:34:29+01:00"   loudness="63"
location="geo:45.42367434467284,11.89142306999999" />
```

Il file xml può essere inviato alla parte server dell'applicazione, direttamente dal dispositivo mobile, oppure può essere eseguito un upload del file da pc al server di NoiseTube.

Il server a sua volta trasforma il file XML in KML, standard OGC che permette l'utilizzo delle piattaforme WEB Google Earth e Google Maps.

Nel frammento di codice sotto riportato, viene descritto una misura elementare di Leq acquisita nella traccia rappresentata nell'immagine sottostante:

```
<Placemark>
  <ExtendedData>
    <Data name="decibel">
```

```

    <value>59</value>
  </Data>
  <Data name="decibel">
    <value>59</value>
  </Data>
  <Data name="geo-corrected">
    <value>true</value>
  </Data>
</ExtendedData>
<styleUrl>#db_index_2</styleUrl>
<Point>
  <coordinates>11.879341233185,45.413672569437,0</coordinates>
</Point>
<TimeStamp>
  <when>2011-11-04 15:50:41 UTC</when>
</TimeStamp>
</Placemark>

```

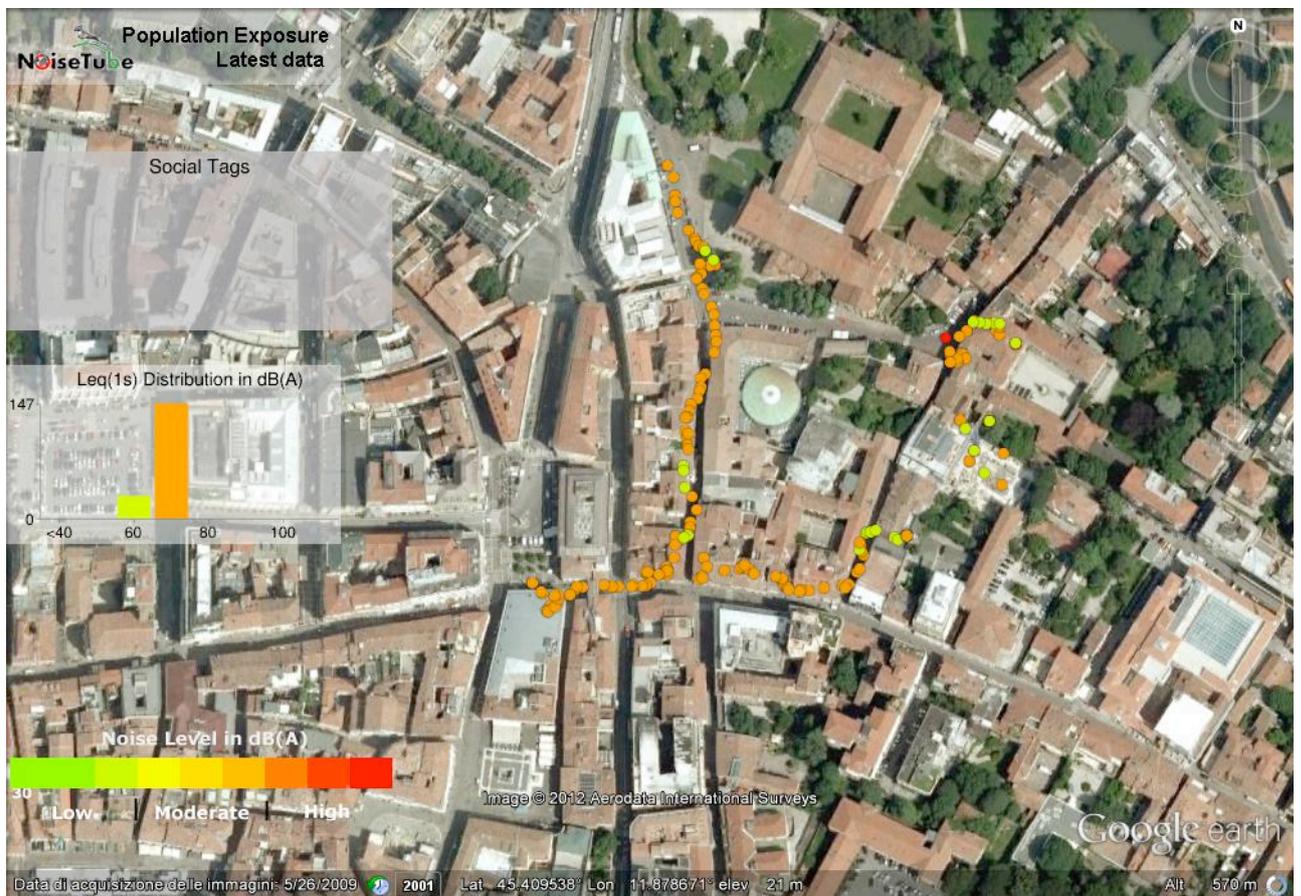


Figura 26 - Visualizzazione traccia di NoiseTube

Ogni singola traccia inviata al server di NoiseTube, può essere visualizzata utilizzando l'applicazione Google Earth.

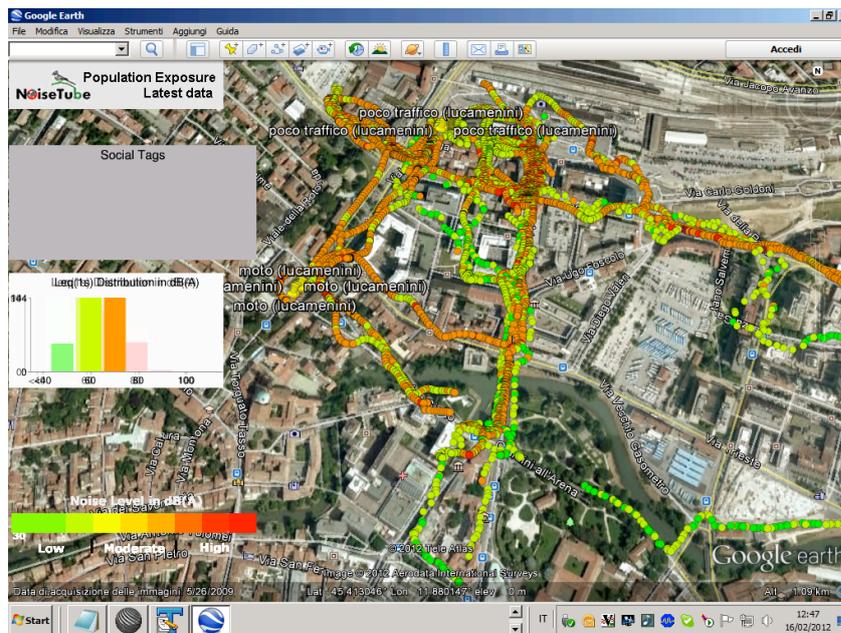
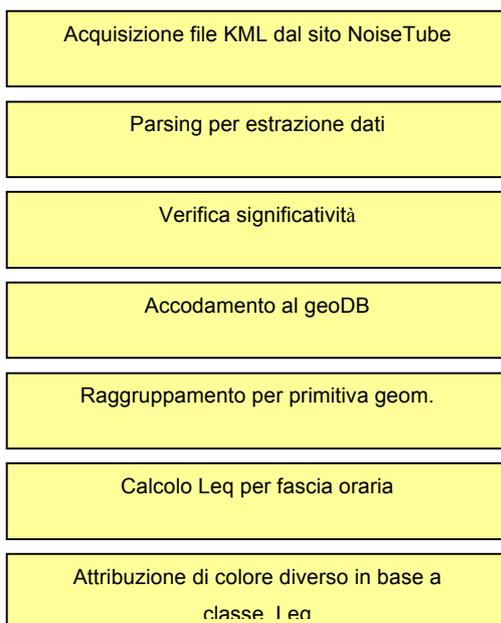
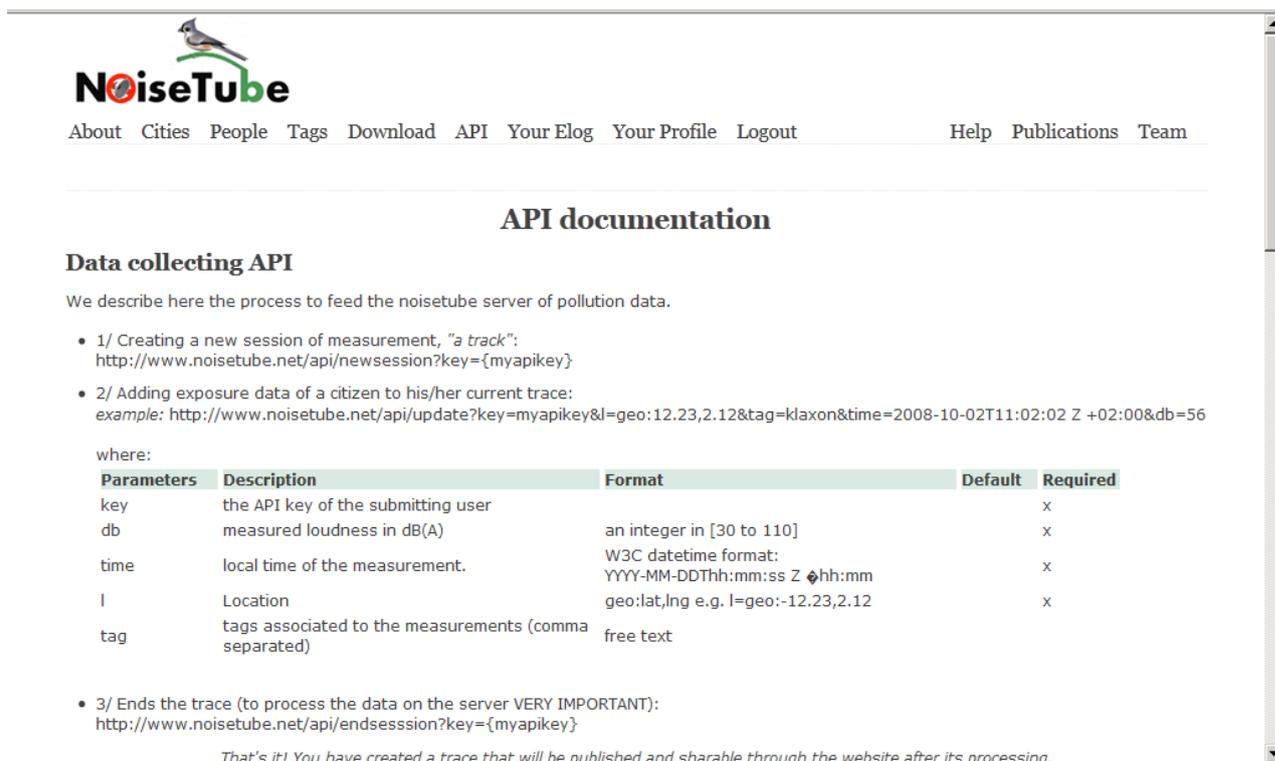


Figura 27 - Visualizzazione di più tracce di NoiseTube

Vengono di seguito descritte tutte le fasi che portano alla realizzazione di un layer con dati acquisiti da NoiseTube.



## Acquisizione di dati dal server di NoiseTube



**NoiseTube**

About Cities People Tags Download API Your Elog Your Profile Logout Help Publications Team

### API documentation

#### Data collecting API

We describe here the process to feed the noisetube server of pollution data.

- 1/ Creating a new session of measurement, "a track":  
`http://www.noisetube.net/api/newsession?key={myapikey}`
- 2/ Adding exposure data of a citizen to his/her current trace:  
example: `http://www.noisetube.net/api/update?key=myapikey&l=geo:12.23,2.12&tag=klaxon&time=2008-10-02T11:02:02 Z +02:00&db=56`

where:

Parameters	Description	Format	Default	Required
key	the API key of the submitting user			x
db	measured loudness in dB(A)	an integer in [30 to 110]		x
time	local time of the measurement.	W3C datetime format: YYYY-MM-DDThh:mm:ss Z ±hh:mm		x
l	Location	geo:lat,lng e.g. l=geo:-12.23,2.12		x
tag	tags associated to the measurements (comma separated)	free text		

- 3/ Ends the trace (to process the data on the server VERY IMPORTANT):  
`http://www.noisetube.net/api/endsession?key={myapikey}`

*That's it! You have created a trace that will be published and sharable through the website after its processing.*

Figura 28 - Interfaccia server NoiseTube

Possono essere scaricati dal server di NoiseTube, file CSV o KML, inserendo nel form di richiesta le key descritte nelle API sul sito, es.:

- *key* = chiave dell'utente che effettua la richiesta;
- *users* = username dell'utente;
- *tag* = commento associate alla misura;
- *city*= città dove è stata effettuata la misura;
- *geo*= coordinate degli angoli "left,bottom,right,top".

Poi ci sono altri parametri non ancora implementati nel sito quali:

*dbmax, dbmin, since* ecc.. relativi alle caratteristiche della misura.

Alcuni esempi di request al sito:

- le ultime 100 misure in una città

<http://www.noisetube.net/api/search.json?key={apikey}&city={cityID}&max=100>

- tutte le misure nelle quali compare nel tag, la parola "sirena" nella city ID

<http://www.noisetube.net/api/search.json?key={apikey}&tag=neighbour&city={cityID}>

## Parsing dei dati con linguaggio Perl per estrarre le informazioni relative a:

- coordinate lat, long;
- timestamp;
- livello sonoro;

```
sub estrai {
    my $stringa = $_[0];
    my $tag     = $_[1];
    my $nome    = $_[2];
    if( $nome ne "" ) {
        $tag_a = "$tag $nome";
    } else {
        $tag_a = $tag;
    }
    $stringa =~ s/.*<$tag_a>//;      # elimina tag e quello che precede
    $stringa =~ s/<\/$tag>.*/;      # elimina chiusura tag e seguente
    return $stringa;
}

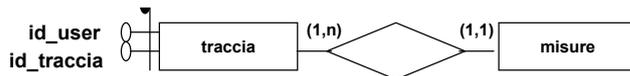
open( IN , "<D:/Documenti_RRiberti/7307.kml" );
$placemark = "no";
while (<IN>) {
    chomp;
    $_ =~ s/^\s*/g;                # toglie indentazione
    if( $placemark eq "no" ) {
        if( $_ eq "<Placemark>" ) {
            $stringa = $_;
            $placemark = "si";
            next;
        } else {
            next;                  # ignora esterno a placemark
        }
    } else {
        $stringa .= $_;           # aggiunge a stringa
        if( $_ ne "</Placemark>" ) {
            next;
        } else {
            # print "$stringa\n";
            $coord = estrai( $stringa , "coordinates" );
            $quando = estrai( $stringa , "when" );
            $t = estrai( $stringa , "Data" , 'name="decibel"' );
            $decibel = estrai( $t , "value" );
            print "$decibel $coord $quando \n";
            $placemark = "no";
        }
    }
}
}
```

## Verifica significatività

Si ritiene che tracce troppo brevi non siano significative, è quindi opportuno fare una verifica prima dell'accodamento che la traccia contenga almeno 30 valori di livello sonoro misurati.

## Accodare i dati al geoDB

Dopo aver creato nel geoDB implementato con PostgreSQL/postGis la struttura dati di seguito rappresentata,



si utilizza il seguente codice scritto con linguaggio Perl, per l'accodamento nelle tabelle:

```
$comando = "insert into dati.misure(timestamp,misura,coord_x,coord_y,id_traccia,id_users)
values ('$quando', '$decibel', $coord_xyz[0], $coord_xyz[1], $traccia, $user)";
$sth=$dbh->prepare( $comando );
$st = $dbh->errstr ;
if ( $st ne "" ) {
    print "<br>Errore prepare $t<br>\n" ;
    print "$comando<br>\n" ;
    exit ;
}
$sn = $sth->execute() ;    # $n e' il numero di n-ple selezionate
$st = $sth->errstr ;
if ( $st ne "" ) {
    print "<br>Errore execute $t<br>\n" ;
    print "$comando<br>\n" ;
    exit ;
}
}
```

Per il calcolo del livello equivalente relativo al periodo di riferimento di interesse, si raggruppano le singole misure acquisite per ogni traccia con query spaziale per ogni singola linestring, utilizzando la funzione di postGis **st\_dwithin()** che potendo sfruttare la potenza dell'indice GIST (mediante l'uso dei bounding box), è particolarmente efficiente:

```
SELECT
distinct on(mis.id_misura) mis.id_misura,10^(mis.misura/10.0),
sd.gid,st_distance(mis.geom_p,sd.geom_p)
FROM
dati.misure as mis, dati.strade sd
where st_dwithin(mis.geom_p,sd.geom_p,100)
```

```

order by mis.id_misura,st_distance(mis.geom_p,sd.geom_p)

select gid,length,(10*log(sum(misura))-10*log(count(gid)) as logavg
from
(
SELECT
distinct on(mis.id_misura) mis.id_misura,mis.id_traccia,10^(mis.misura/10.0) as misura,
sd.gid,st_length(sd.geom_p) as lenght,st_distance(mis.geom_p,sd.geom_p)
FROM
dati.misure as mis, dati.strade sd
where st_dwithin(mis.geom_p,sd.geom_p,100)
order by mis.id_misura,st_distance(mis.geom_p,sd.geom_p)
)
as ps group BY gid ,length

```

Per rappresentare il livello di rumore in dB(A) associate ad ogni linestring del grafo, si utilizza il seguente codice XML che specifica mediante lo standard OGC Styled Layer Descriptor, il colore da attribuire alla singola linestring, per determinati intervalli di valori di pressione acustica.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<StyledLayerDescriptor version="1.0.0"
  xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/sld StyledLayerDescriptor.xsd"
  xmlns="http://www.opengis.net/sld"
  xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc"
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <NamedLayer>
    <Name>Attribute-based line</Name>
    <UserStyle>
      <Title>SLD Cook Book: Attribute-based line</Title>
      <FeatureTypeStyle>
        <Rule>
          <Name>Low Noise</Name>
          <Title>Less than 50db</Title>
          <ogc:Filter>
            <ogc:PropertyIsLessThan>
              <ogc:PropertyName>logavg</ogc:PropertyName>
              <ogc:Literal>50</ogc:Literal>
            </ogc:PropertyIsLessThan>
          </ogc:Filter>
          <LineSymbolizer>
            <Stroke>
              <CssParameter name="stroke">#00FF00</CssParameter>
              <CssParameter name="stroke-width">2</CssParameter>
            </Stroke>
          </LineSymbolizer>
        </Rule>
        <Rule>
          <Name>Medium Noise</Name>
          <Title>Between 50db and 60db</Title>
          <ogc:Filter>
            <ogc:And>
              <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
                <ogc:PropertyName>logavg</ogc:PropertyName>
                <ogc:Literal>50</ogc:Literal>
              </ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
            </ogc:And>
          </ogc:Filter>
        </Rule>
      </FeatureTypeStyle>
    </UserStyle>
  </NamedLayer>
</StyledLayerDescriptor>

```

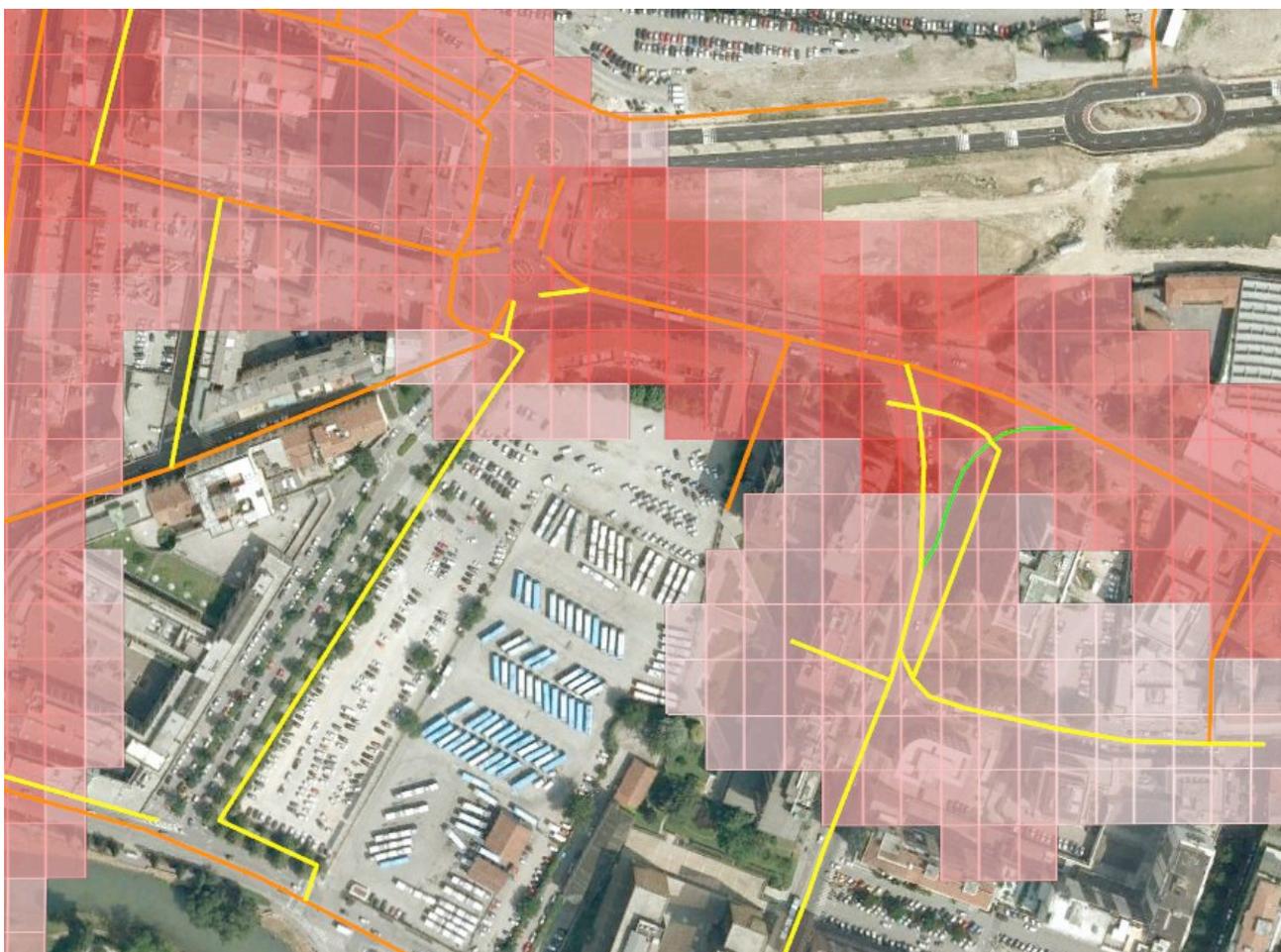
```

      <ogc:PropertyIsLessThan>
        <ogc:PropertyName>logavg</ogc:PropertyName>
        <ogc:Literal>60</ogc:Literal>
      </ogc:PropertyIsLessThan>
    </ogc:And>
  </ogc:Filter>
  <LineStyle>
    <Stroke>
      <CssParameter name="stroke">#FFFF00</CssParameter>
      <CssParameter name="stroke-width">3</CssParameter>
    </Stroke>
  </LineStyle>
</Rule>
<Rule>
.....

```

Una seconda possibilità per rappresentare il livello medio di pressione acustica acquisito attraverso con tracce di NoiseTube, è creare una griglia di poligoni da utilizzare come “aggregatori” spaziali per il calcolo del valore medio di Livello Equivalente. Questa rappresentazione permette di evidenziare meglio la distribuzione dei valori lungo un segmento stradale, che ne attribuiscono il valore finale.

Nell’immagine sottostante viene rappresentata la sovrapposizione dei due layer prodotti.



*Figura 29 - Sovrapposizione dei due layer prodotti*

### **Mappe di criticità**

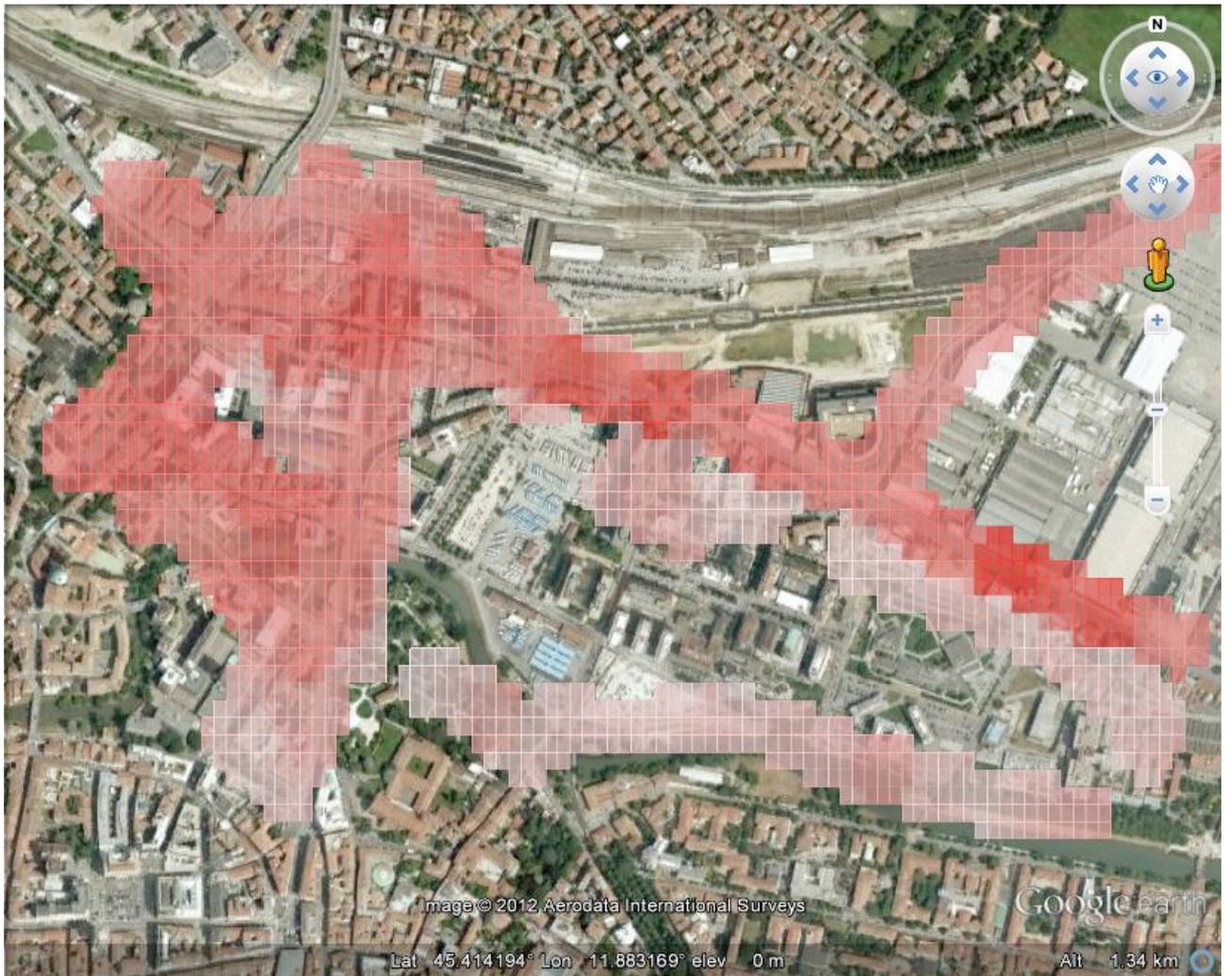
La mappe di criticità vengono ottenute da un overlay del layer relativo al piano di classificazione acustica e i layer ottenuti dalle elaborazioni dei dati prodotti dal monitoraggio collaborativo (NoiseTube).

Come precisato nel paragrafo precedente, i valori relativi alle singole misure (valori registrati dall'applicazione NoiseTube con frequenza di 1 misura ogni 1-2 secondi), possono essere aggregati per ottenere le relative medie logaritmiche, su primitive geometriche lineari ed areali.

Occorre trovare un compromesso tra risoluzione spaziale ed accuratezza (minimizzazione dell'errore con l'utilizzo della media). Una eccessiva frammentazione del dataset tenderebbe infatti a riprodurre una situazione simile a quella iniziale, con una elevatissima variabilità (un punto per ogni misura) e conseguente perdita di significato del tematismo.

La condizione di base per l'utilizzo di dati con una accuratezza decisamente inferiore a quella di un fonometro è di poter ridurre l'errore dovuto alla casualità, sfruttando la proprietà della media.

La riduzione di errori sistematici è possibile solamente con procedure di calibrazione (tallone di achille delle attuali piattaforme per il monitoraggio collaborativi e delle WSN ma di facile risoluzione).



*Figura 30 - Discretizzazione livelli di pressione sonora su grid*

Questa elaborazione riproduce in modo grossolano l'effetto di una rasterizzazione. La dimensione della singola cella dipende ovviamente dalla densità di valori per area.



*Figura 31- Discretizzazione su aree*

Per zone omogenee è possibile aggregare i dati per aree, utilizzando una query spaziale che selezioni tutti i valori all'interno dell'area entro un certo buffer di distanza



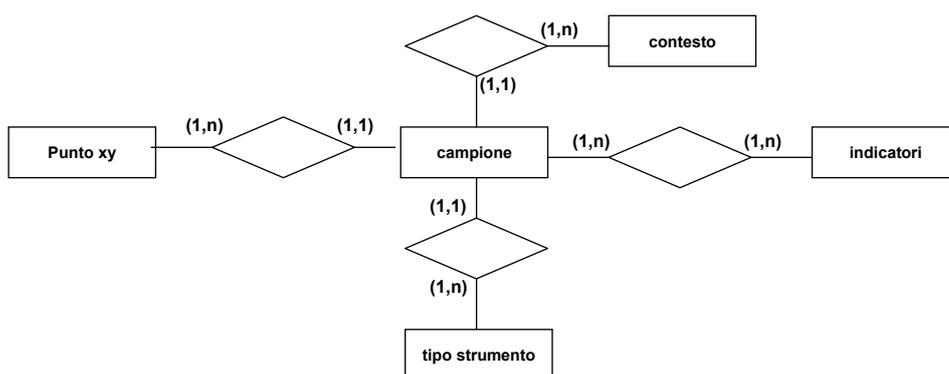
*Figura 32 - Discretizzazione su grafo stradale*

Relativamente ai grafi, occorrerebbe raggruppare i valori sulla base di segmenti aventi medesime caratteristiche in termini di flusso di traffico, tipologia di pavimentazione ecc.. evitando comunque di estendere eccessivamente la lunghezza del segmento per evitare di rappresentare nello spazio, valori misurati a distanze non congrue.

### 6.6.1.1.2 Dati misure da giacimenti informativi

Il flusso informativo relativo alla gestione delle misure ambientali prodotte da privati è alimentato dai progettisti che inviano i dati su supporto digitale con i formati descritti in un documento scaricabile dal web.

Modello concettuale per la gestione dei dataset prodotti da privati per analisi di impatto/clima acustico nell'ambito di procedure amministrative



### Fasi elaborazione

Le misure di rumore ambientale effettuate con fonometri integratori di classe 1 hanno una precisione < 0,7 dB, se il rilievo è contestualizzato con dati di flusso di traffico (nelle valutazioni di clima/impatto acustico effettuate su aree con situazione acustica critica, i monitoraggi vengono fatti contestualmente a rilievi di traffico con sensori radar in grado di distinguere veicoli leggeri da quelli pesanti), questi dati possono essere impiegati anche per la calibrazione dei modelli numerici per la mappatura acustica.

Nel caso in cui il rilievo copra un intervallo di tempo > ai periodi di riferimento (diurno, serale o notturno), si possono aggregare i valori relativi alle singole misure “short leq” ed eseguire la media logaritmica per il calcolo del livello equivalente relativo al singolo periodo di riferimento e confrontati con i valori relativi alla classe acustica del luogo in cui è stata effettuata la misura.

## Fasi elaborazione

accodamento a geoDB

raggruppamento valori Leq per periodo rifer.

query spaziale: confronto con zonizzazione

Tematismo mappa puntuale criticità

### 6.6.1.2 Dati qualitativi

Rappresentano la percezione del rumore da parte dei fruitori delle aree urbane. Nel contesto del progetto H.U.S.H. (Harmonization of Urban noise reduction Strategies for Homogeneous action plans), relativamente all'importanza ormai riconosciuta della percezione dei suoni nei contesti di vita, è stata prestata grande attenzione alla definizione del disturbo da rumore da parte della popolazione prestando particolare attenzione ai contesti più sensibili, come parchi, aree verdi, aree scolastiche e altre zone di particolare pregio.

Si è quindi evidenziata la necessità di utilizzare strategie di risanamento diverse rispetto a quelle tradizionali, basate esclusivamente su dati di tipo quantitativo (livelli di pressione sonora), che tengano in considerazione quindi del contributo valutativo espresso dai cittadini fruitori delle aree da tutelare/riqualificare, in termini di percezione. Le informazioni di tipo qualitativo, vengono quindi analizzate con i dati quantitativi ottenuti da rilevazioni fonometriche.

L'acquisizione della percezione del rumore da parte di soggetti diversi, comporta il dover affrontare problemi di semantica.

Le fonti informative potenzialmente utilizzabili sono svariate: dai socialnetwork ad apposite applicazioni geoweb che attraverso meccanismi WEB 2.0 consentano di acquisire dati adeguatamente strutturati con metadati che consentano di elaborare l'informazione per gli scopi prefissati.

Una modalità che si sta affermando è la tecnologia Semantic Web per mezzo della quale è possibile integrare informazione non strutturata a prescindere da come e dove i dati sono strutturati.

Il web semantico è una estensione del web attuale ed il suo scopo è la cooperazione tra computer e persone in modo che le macchine possano essere maggiormente a supporto degli esseri umani.

Questo obiettivo si ottiene aggiungendo logica al web, ed in particolare occorre fare in modo che i computer abbiano accesso a collezioni strutturate di informazioni (denominate Linked Data) e possano portare a termine operazioni di ragionamento automatico attraverso l'uso di insiemi di inferenza.

Nella figura sottostante è rappresentata la pila del semantic web.

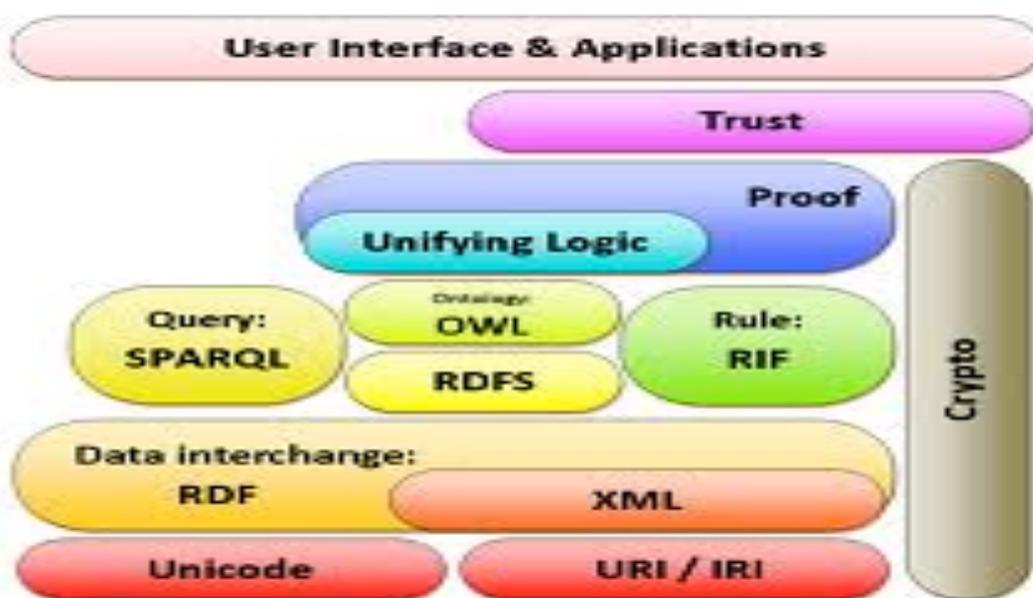


Figura 33 - Semantic Web

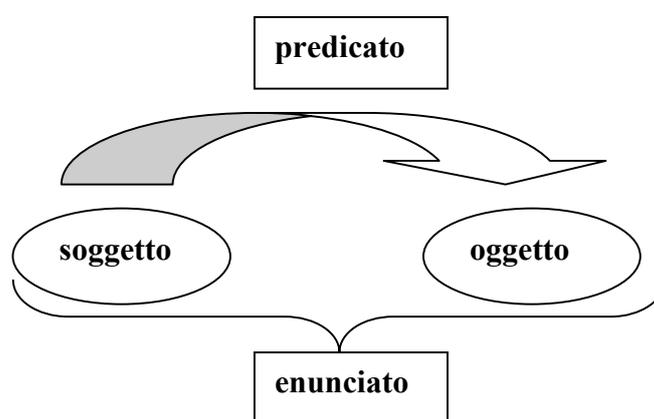
Il Semantic Web può essere visto come un enorme database globale di informazioni a cui l'utente può accedere. In questo enorme insieme di informazioni, esistono dati affidabili e dati non attendibili (livello Trust). L'informazione sul livello di confidenza può essere esplicita o può essere ricavata da una inferenza (se l'informazione è attendibile per soggetti che noi consideriamo fidati, si riconosce quell'informazione come attendibile).

Per capire come il livello di confidenza viene calcolato, serve il livello sottostante (Proof) ovvero la prova che dimostra all'utente qual è la logica sottesa al ragionamento.

Il livello Unifying Logic è la logica unificante che permette ad una macchina di elaborare informazione e di derivarne nuova attraverso il ragionamento. Questa logica deve definire modelli concettuali e regole di inferenza.

Le basi della pila sono rappresentate da tecnologie e protocolli. URI è il meccanismo del web per identificare le risorse. Unicode è uno standard che permette alle macchine una manipolazione uniforme dei caratteri. XML è un linguaggio di marcatura che permette la piena interoperabilità sintattica.

Un primo passo verso l'interoperabilità semantica è il RDF, un modello relazionale dei dati, promosso da W3C. Nel suddetto modello il sistema di informazione è codificato in triple



*Figura 34 - Triple RDF*

Per pubblicare metadati RDF sul web occorre codificare i dati in formato RDF/XML all'interno di un file da pubblicare su web server come fosse un normale pagina HTML.

Per analizzare un testo non strutturato esistono tecniche denominate Natural Language Processing (NLP) che permettono alle macchine di analizzare il linguaggio naturale e comprenderlo.

Le tipologie di analisi che tali tecniche possono effettuare sui testi sono molteplici, come analizzare un testo ed isolarne le parole utilizzate, riconoscere parole composte, coniugazioni dei verbi ecc.. E' comunque molto difficile ottenere una grande affidabilità nelle informazioni acquisite da tecnologie NLP.

Il flusso informativo WIKI preso in considerazione nell'ambito del presente lavoro riguarda le seguenti piattaforme:

- Piattaforma NoiseTube;
- applicazione geoweb con meccanismi web 2.0;

#### **6.6.1.2.1 Monitoraggio collaborativo**

Relativamente all'applicazione NoiseTube le fasi dell'elaborazione dei dati qualitativi sono le seguenti:

acquisizione file dal server di NoiseTube

parsing per estrazione di testo dal KML

accodamento a geoDB

query spaziale per raggruppamento in base a scala visualizzazione

visualizzazione wordcloud a video

Si omette la descrizione del codice per l'esecuzione delle prime tre fasi in quanto del tutto simile a quello utilizzato per l'elaborazione dei dati quantitativi di NoiseTube.

Relativamente alla visualizzazione del wordcloud, si prevede di creare una funzione che mediante una query spaziale, crei il "cloud" in base ad una selezione di un'area a video.



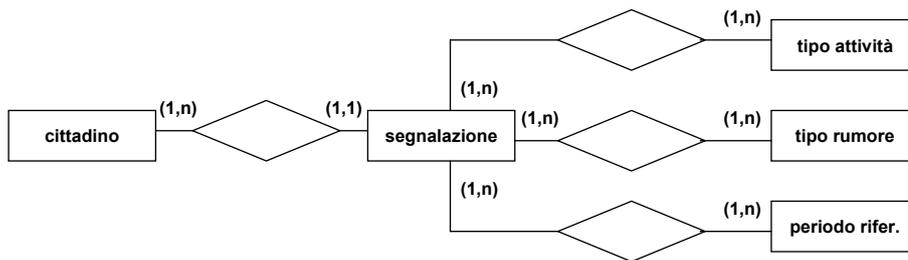
*Figura 35 - Wordcloud*

#### 6.6.1.2.2 Interfaccia con meccanismi web 2.0

La piattaforma geoweb è progettata per fornire due funzioni:

- a) segnalazione inconvenienti acustici (esposti) con individuazione della sorgente su base geografica e descrizione delle altre informazioni relative alla tipologia della sorgente, periodo di riferimento a cui si riferisce il disagio ecc.. La segnalazione può essere seguita da invio ufficiale dell'esposto per posta certificata con richiesta di intervento da parte delle autorità di controllo, o rimanere solo informale.
- b) fornire una base a supporto dell'attività di cooperazione dei cittadini per l'individuazione di indirizzi per la pianificazione acustica (piani azione). Questa attività consiste nella produzione di informazione georiferita relativa alla percezione da parte dei fruitori del disturbo e del beneficio associato a determinate sorgenti sonore.

## Modello concettuale segnalazione inconvenienti acustici



## Interfaccia di acquisizione

### SEGNALAZIONE INCONVENIENTI ACUSTICI

[registrati](#)



**e-mail**

**password**

**dati generali fruitore**

**Tipologia rumore**

- Diffusione musica
- Impianti
- schiamazzi
- animali

**Tipologia attività**

- pubblici esercizi
- artigiani
- industrie
- attività ricreative
- commerciali
- cantiere edile

**periodo di riferimento disturbo**

- 6-20
- 20-22
- 22-6

**seguirà richiesta controFb**

Figura 36- Interfaccia acquisizione segnalazioni inconvenienti acustici

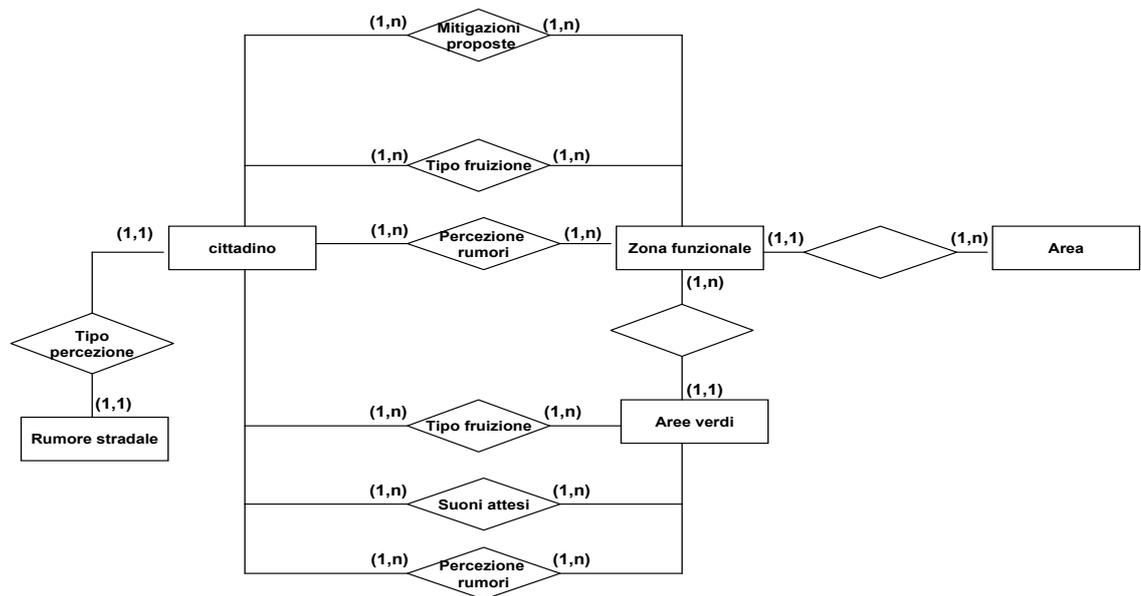
Si tratta di dati puntuali che possono essere elaborati con tecniche di statistica spaziale (Point Pattern Analysis).

Fissato arco temporale, possiamo analizzare i dati puntuali relativi ad una determinata zona, come una mappatura completa di un certo fenomeno.

Può essere interessante fare analisi di distribuzioni congiunte per verificare se uno stesso processo influenza la configurazione di due tipi di eventi diversi (es. esposti rumore – pubblici esercizi).

122

## Modello concettuale metodologia soundscape analysis



### VALUTAZIONE PERCEZIONE SORGENTI SONORE



Immagine © 2012 Aerodata/International Surveys

[registrati](#)

e-mail

password

**dati generali fruitore**

**motivo frequentazione area**

- residenza
- lavoro
- svago
- passaggio

**rumore che disturba maggiormente nell'area**

- traffico veicolare
- traffico veicoli pesanti
- traffico aereo
- rumore industriale
- rumore ferroviario

**da 1 a 5 quanto il rumore stradale disturba**

**eventuale fastidio provocato da rumore stradale**

- difficile dormire
- mal di testa
- difficoltà concentrazione

**proposte di mitigazione**

- barriere acustiche
- barriere verdi
- dissuasori

### VALUTAZIONE PERCEZIONE SORGENTI SONORE - aree verdi



**motivo frequentazione area**

- svago
- riposo
- accompagnare animali
- gioco bambini
- accompagnare animali
- passeggiare
- leggere
- passaggio

**quante ore rimane al parco**

**da 1 a 5 quanto è importante ciascuno dei seguenti aspetti**

qualità dell'aria

vegetazione

pulizia

sicurezza

**Quale dei seguenti suoni sono udibili, quanto disturbano (da 1 a 5)**

fruscio vegetazione

acqua

cinguettio uccelli

voci

traffico veicolare

traffico ferroviario

traffico aereo

**proposte per rendere l'area più piacevole**

- fontane
- barriere naturali
- suoni piacevoli
- barriere verdi
- pista ciclabile

## Interfacce di acquisizione dati

## Elaborazioni spaziali con tematismi di copertura del suolo (es. Preciso)



*Figura 37- Esempio di Preciso®Land*

Preciso®Land è costituito da livelli informativi georeferenziati, geometricamente congruenti tra loro, derivati da immagini satellitari:

- **Copertura Suolo:** livello informativo poligonale della carta di uso del suolo con 42 classi conformi alla nomenclatura Corine
- **Edifici:** livello informativo poligonale dei singoli edifici
- **ReteTrasporti:** livello informativo poligonale del reticolo stradale e ferroviario

### **Fasi elaborazione**

- 1) acquisizione dati relativi alla percezione da piattaforma geoWEB (geografici e alfanumerici);
- 2) accodamento livelli informativi su uso del suolo al geoDB;
- 3) raggruppamento delle aree e zone funzionali sulla base degli usi del suolo
- 4) elaborazione indici statistici dei livelli di percezione relative alle tipologie di rumore (sia gradite che sgradite) in base ai diversi profili e diversi contesti in cui si trovano aree con lo stesso uso del suolo (magari raggruppato in classi);
- 5) elaborazione di livelli informativi poligonali (mappe di opportunità) con la rappresentazione dell'informazione relativa alla percezione del rumore delle varie tipologie di persone che fruiscono nei modi diversi le aree selezionate. Il denominatore comune che raggruppa queste aree è il livello informativo ad elevata risoluzione spaziale (es. PrecisoLand).

## **6.6.2 Requisiti di accesso e interfacce**

### **Definizione dei profili di accesso al sistema**

In questo step si definiscono i requisiti di accesso delle seguenti categorie di utente sulla base della domanda informativa espressa.

## **7 Conclusioni**

Nel presente lavoro è stata esaminata la possibilità di una integrazione di conoscenza prodotta da attori non istituzionali, nell'ambito di un processo di pianificazione estremamente complesso per la sua trasversalità, qual è il processo di pianificazione acustica.

La necessità di incrementare una conoscenza ottenuta con l'approccio tradizionale basato essenzialmente sulla creazione di un modello fisico dell'ambiente urbano, viene evidenziata dai diversi punti di debolezza che presenta questa metodologia.

Il primo di questi è senz'altro la limitata accuratezza dei modelli ottenuti, che in determinati situazioni può superare i 10 dB(A) corrispondenti a due classi acustiche. Questo problema è causato principalmente dalla inevitabile scarsità di rilievi fonometrici (seppure di qualità elevatissima) acquisiti in campo per la taratura del modello, ma è causato anche da altri fattori quali:

- scarsa accuratezza dei dati di input relativi alle sorgenti sonore da modellare. Occorre segnalare peraltro che il problema della scarsità di risorse economiche per

l'acquisizione di dati, non riguarda solamente i monitoraggi per la taratura del modello, in quanto i gestori di infrastrutture spesso si limitano a fornire gratuitamente, perché obbligati, le informazioni previste dalla normativa (D.Lgs. 194/05) che sono assolutamente insufficienti a produrre un risultato di qualità accettabile in termini di mappatura acustica strategica, mentre rendono disponibili dati con risoluzioni più elevata dietro pagamento di cifre in grado di dissuadere l'autorità procedente;

- limitata rappresentatività del livello globale di rumore calcolato dal modello rispetto la situazione acustica reale. La mappatura acustica strategica si riferisce alla somma energetica prodotta dalle 4 sorgenti previste dalla normativa (traffico veicolare, ferroviario, aereo, rumore industriale) relativa a condizioni meteo medie rappresentative di un anno. Ci sono diverse situazioni in cui il clima acustico è caratterizzato da sorgenti sonore non modellizzabili (cantieri industriali la cui attività può proseguire per diversi anni, attività commerciali e pubblici esercizi con relativi impianti di condizionamento, diffusione musica e rumore provocato da avventori, manifestazioni temporanee ma ripetute nel tempo ecc..).

I problemi causati dal rumore, non sono giustificabili esclusivamente dal livello sonoro a cui i soggetti sono esposti. L'annoyance e il disturbo, sono una diretta conseguenza della tipologia di paesaggio sonoro che circonda l'individuo in determinati contesti.

Per pianificare in modo efficace interventi di risanamento acustico, diventa quindi di fondamentale importanza l'acquisizione di informazione relativa alla percezione del rumore da parte dei fruitori nei vari contesti. Questa informazione qualitativa è acquisita attraverso una metodologia denominata "soundscape analysis" già testata in diversi casi a livello europeo e in Italia unicamente nel Piano d'Azione Strategico del comune di Firenze.

Il metodo del paesaggio sonoro, fornisce elementi utili e indirizzi per la progettazione del design acustico e quindi dei progetti di riqualificazione.

Nello scenario descritto acquisisce una grande importanza il contributo informativo potenzialmente attivabile da processi di produzione di conoscenza "bottom up" e fra questi ci si riferisce in particolare modo alla valorizzazione di giacimenti informativi che rimangono immobilizzati negli archivi, il feedback dei cittadini sottoforma di segnalazioni di inconvenienti acustici ed il flusso informativo prodotto dai monitoraggi collaborativi.

Relativamente all'informazione quantitativa prodotta dai monitoraggi collaborativi, il problema da affrontare in modo approfondito, riguarda l'accuratezza delle misure effettuate con mobile-device (smartphone, tablet ecc..).

Per verificare questo importante parametro, sono stati effettuati test utilizzando contemporaneamente fonometri in classe 1 (massima precisione) e smartphone di marche e modelli diversi. I dati ottenuti sono stati elaborati con tecniche statistiche per verificarne la congruenza (tecniche di regressione) e la ripetibilità con diverse condizioni del livello di carica della batteria.

Le risultanze dei test, effettuati sia in camera riverberante (ambiente nel quale è possibile ottenere una omogeneità del livello di pressione acustica), che in campo libero (nelle medesime posizioni impiegate da ARPAV per le ultime campagne di mappatura acustica), hanno evidenziato una elevatissima correlazione tra i livelli misurati con fonometro integratore in classe 1 e i livelli ottenuti dagli smartphone. Utilizzando modelli di regressione lineare ed in qualche caso quadratici (per ogni tipologia di dispositivo dovremmo calcolare i coefficienti di un modello di regressione) possiamo ottenere, partendo dai livelli misurati con smartphone e NoiseTube, i corrispondenti valori ottenibili utilizzando un fonometro integratore. Per ridurre drasticamente la presenza di questi errori sistematici, occorrerebbe una procedura di calibrazione per ogni marca e modello di mobile-device impiegato. Questo è un problema che deve ancora essere risolto per incrementare l'accettabilità della presente metodologia di monitoraggio.

I responsabili del progetto di ricerca di Brussense (Belgio), che hanno eseguito procedure di calibrazione a livello sperimentale, dichiarano un livello di accuratezza di  $\pm 1$  dB(A).

In condizioni reali, dove si ipotizza un monitoraggio effettuato da "citizen as sensor" dotati di dispositivi di marche e modelli diversi, possiamo ipotizzare che gli errori prodotti da strumenti diversi si mediano tra loro. Il vero punto di forza del metodo consiste nella possibilità di mediare numeri elevatissimi di misure nello spazio-tempo, potendo realizzare di fatto un monitoraggio continuo e diffuso delle aree urbane (accessibili dai cittadini volontari).

I valori ottenuti dai monitoraggi collaborativi, mediante la piattaforma NoiseTube, vengono elaborati ed aggregati spazialmente su primitive geometriche lineari, poligonali, o su tassellazioni (grid) a seconda della densità di dati disponibili per l'area che si intende mappare e della tipologia di elaborazione che si intende eseguire. La tipologia di elaborazione che si ritiene più significativa, è l'overlay tra layer di NoiseTube e layer contenente la

classificazione acustica comunale, al fine di evidenziare aree di non congruità tra limiti di zona e valori misurati.

La stessa tipologia di elaborazione (anche se in questo caso vengono utilizzati punti di misura), può essere effettuata con dati prodotti per valutazioni di clima-impatto acustico da privati nell'ambito di procedure amministrative, e riutilizzati. Trattandosi di dati ambientali non coperti dal diritto di proprietà intellettuale, dovrebbero (ai sensi della normativa vigente ed in particolare al D. Lgs. 195/05) comunque essere pubblicati in report ambientali e resi disponibili come Open Data con licenze del tipo Creative Commons.

L'informazione qualitativa, ottenuta dalle segnalazioni di inconvenienti acustici da parte di cittadini mediante l'utilizzo di interfaccia con meccanismi WEB 2.0, può essere trasferita direttamente in un layer puntuale che contribuisce alla formazione di mappe di criticità, ma può essere sottoposto ad elaborazioni di statistica spaziale (Point Pattern Analysis) per l'analisi dei processi spaziali che possono aver influito sulla distribuzione di più tipologie di eventi (es. esposti rumore – pubblici esercizi). Nelle aree che evidenziano correlazioni particolarmente elevate, potrebbero essere pianificate azioni di risanamento (es. regolazione orari di apertura pubblici esercizi, vincoli più restrittivi per la diffusione di musica nei locali ecc..).

L'informazione qualitativa georiferita, relativa alla percezione del rumore da parte di soggetti fruitori delle aree, ottenuta mediante interfaccia WEB 2.0, dopo essere memorizzata nel geoDB può essere elaborata utilizzando come aggregatore un layer di uso del suolo con idoneo livello di risoluzione spazio-temporale (es. precisoLand), a supporto della metodologia "soundscape analysis" per la progettazione del Design Acustico delle aree da riqualificare. Come descritto precedentemente questo approccio persegue gli obiettivi della Direttiva Europea ed è stato testato, anche se a livello sperimentale, nell'ambito della pianificazione di diverse aree nella comunità europea (in Italia solamente nell'ambito del Piano Strategico del Comune di Firenze).

L'informazione prodotta a supporto della metodologia soundscape analysis viene rappresentata in mappe di opportunità, mentre le elaborazioni di dati quantitativi che evidenziano le incongruenze tra limiti previsti dal piano di classificazione acustica e le misure di livello sonoro acquisite dalle due fonti sopra descritte (monitoraggi collaborativi,

monitoraggi eseguiti da privati per valutazioni di clima/impatto acustico nell'ambito di procedure amministrative), unitamente all'informazione qualitativa relativa alle criticità acustiche segnalate dai cittadini mediante l'interfaccia WEB 2.0 (eventualmente seguite da richiesta ufficiale di controllo mediante invio di PEC), viene rappresentata attraverso mappe di criticità.

I prodotti di questa informazione “bottom up” si concretizzano quindi in mappe di criticità e mappe di opportunità che vanno ad integrare le carenze conoscitive (quali-quantitative) prodotte dall'approccio tradizionale alla pianificazione acustica che a causa di scarsità di risorse per produrre mappe acustiche strategiche, deve utilizzare modellazione numerica.

Questi strati informativi, vanno ad integrarsi essenzialmente in due fasi del processo di pianificazione acustica:

- a valle del processo di mappatura acustica strategica e la produzione di mappe di conflitto, dove si confrontano i valori del modello fisico della realtà con i limiti individuati per aree omogenee dal piano di classificazione acustica e si calcola il numero di abitanti esposti a determinati livelli di pressione acustica. Questa informazione rappresenterebbe la base conoscitiva di partenza per la pianificazione del risanamento acustico (Piani di Azione). L'integrazione della conoscenza “bottom up” ottenuta anche sfruttando le potenzialità dell'intelligenza collettiva mobilitata attraverso le ICT (in particolare le proposte di interventi di mitigazione su determinate aree opportunamente individuate dall'applicazione descritta), oltre ad allargare la base di condivisione potrebbe fornire indicazioni veramente utili alla riqualificazione (oltre a supportare la progettazione del Design Acustico);
- monitoraggio degli effetti del piano d'azione (operativo), dove grazie alla possibilità di effettuare un monitoraggio continuo sia qualitativo che quantitativo con i flussi informativi descritti, è possibile verificare se occorrono varianti alla pianificazione approvata.

Il coinvolgimento dei cittadini/volontari ed il conseguente avvio dei flussi informativi descritti nel presente lavoro, non è assolutamente garantito dalla disponibilità di interfacce WEB 2.0 e tecnologie pervasive a supporto di monitoraggi collaborativi.

Per attivare una cooperazione efficace con la componente wiki/cittadinanza, occorre che il processo di coinvolgimento della popolazione sia supportato da:

- comunicazione di tipo bi-direzionale, non semplice informazione intesa come trasferimento di messaggi;
- reale intenzione dell'emittente (pianificatore) di confrontarsi con il proprio pubblico (cittadini/wiki);
- disponibilità e capacità del pubblico di valutare l'informazione.

Il web è ovviamente il mezzo di comunicazione privilegiato per creare uno spazio di relazione tra la pubblica amministrazione e la componente wiki. E' inoltre importante che la suddetta piattaforma, permetta una reticolarità, intesa come possibilità di interazione fra utenti e con le amministrazioni.

Queste sono le condizioni affinché si crei quella che viene definita intelligenza collettiva, punto di partenza per superare il concetto ormai superato di partecipazione e passare ad una concreta cooperazione tra attori istituzionali e non istituzionali nella pianificazione/progettazione della città con processi bottom up.

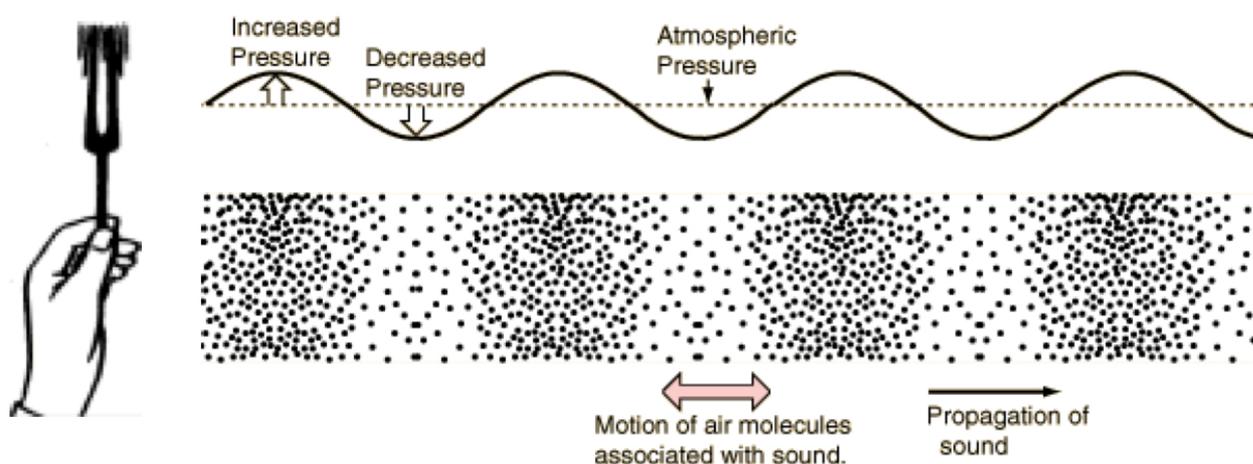
Questa è la tipologia di intelligenza a cui si fa riferimento nel presente lavoro quando si parla di smart city.

## 8 ALLEGATI

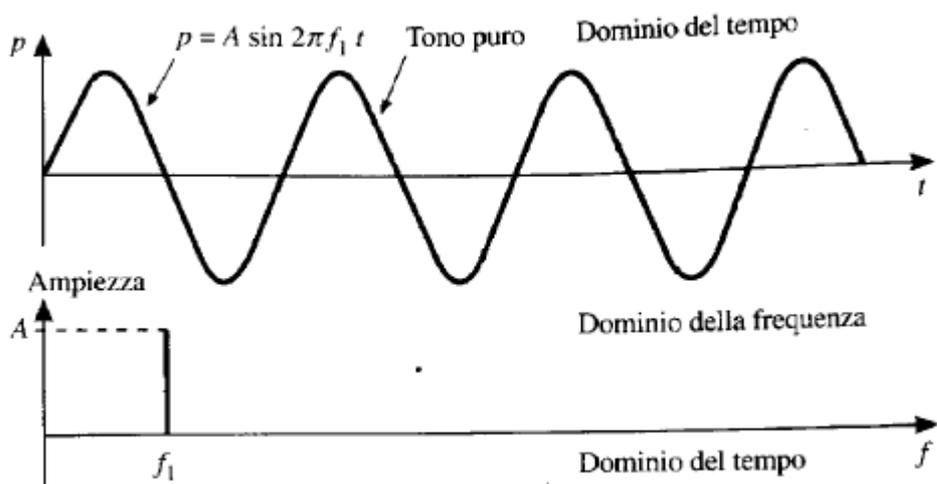
### 8.1 ALLEGATO 1 - Il rumore ambientale

#### 8.1.1 Il fenomeno sonoro

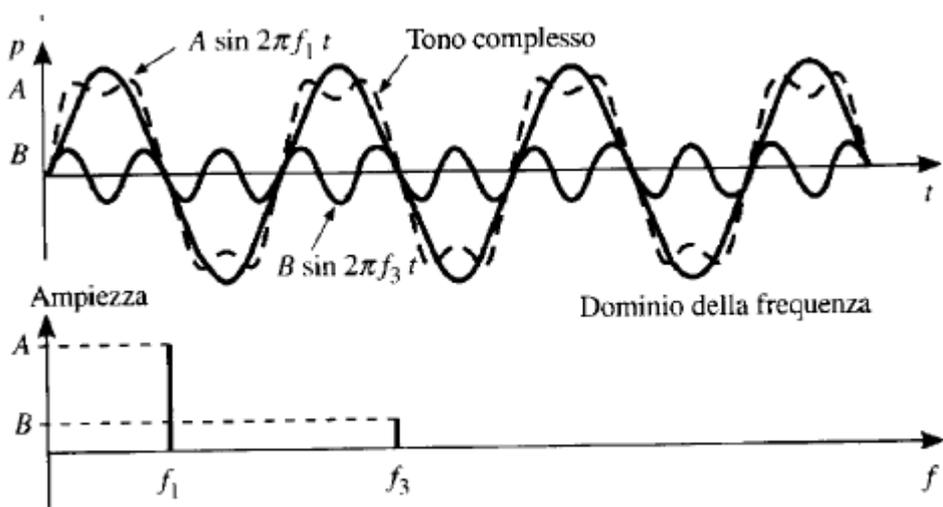
Il fenomeno sonoro é caratterizzato dalla propagazione di energia meccanica dovuta al rapido succedersi di compressioni ed espansioni di un mezzo elastico; tale energia, che ha origine in una sorgente sonora, si propaga nel mezzo stesso per onde con velocità finita. Il numero di oscillazioni (variazioni di pressione) al secondo viene chiamato frequenza del suono e viene misurato in cicli al secondo ossia in Hertz (Hz). Condizione necessaria perché l'esistenza del fenomeno è la presenza di una sorgente, un mezzo elastico che ne permetta la propagazione. [16]



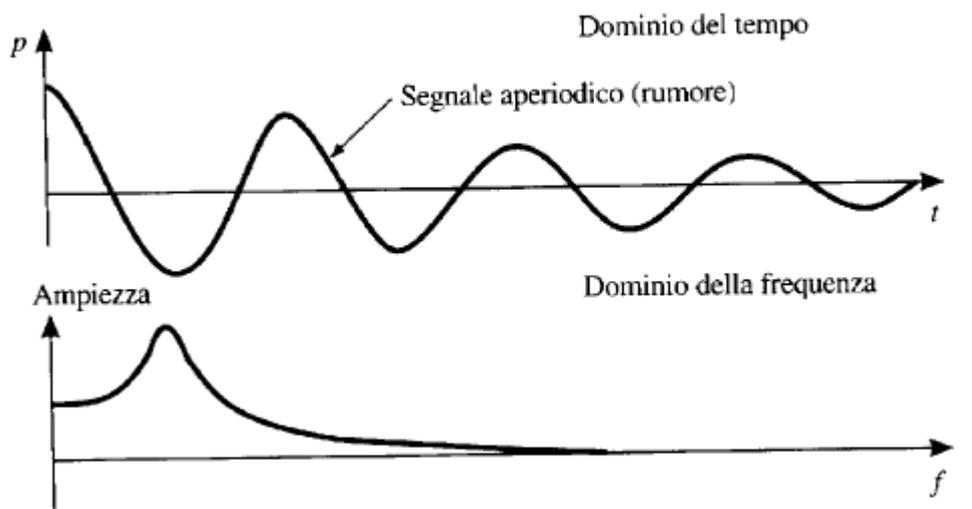
La velocità del suono nell'aria corrisponde a 344 m/sec, alla temperatura di 20° C e alla pressione atmosferica del livello del mare. Conoscendo la velocità e la frequenza del suono, rispettivamente  $c$  e  $f$ , è possibile ricavare la sua lunghezza d'onda,  $\lambda = c/f$ ; questa grandezza rappresenta lo spazio percorso dall'onda sonora in un periodo completo di oscillazione. Un suono che ha solamente una frequenza viene chiamato tono puro; i rumori caratterizzati dalla presenza di componenti tonali sono molto disturbanti.



La maggioranza degli eventi sonori è composta da diverse frequenze



Le immagini precedenti si riferiscono a suoni periodici, mentre l'immagine sottostante rappresenta un suono aperiodico di breve durata.



Un rumore con frequenze che hanno una distribuzione uniforme per tutto il range dell'udibile viene definito rumore bianco.

La scala di misura della pressione sonora è molto ampia: da 20 microPascal pari alla soglia di udibilità, a 200 Pascal pari alla soglia del dolore. Il rapporto tra il valore massimo e il minimo della scala è pari a 10milioni<sup>4</sup>. Per questo motivo, in acustica si ricorre alla scala logaritmica per la quantificazione dei fenomeni sonori.

$$L_x = 10 \log \frac{x}{x_0}$$

In tal modo si riduce l'ampiezza della scala e si introduce il concetto di grandezza fisica. Il livello sonoro si esprime in decibel - dB - ed è pari a 10 volte il logaritmo, in base 10, del rapporto tra il valore corrente di una grandezza e quello assunto come riferimento. La pressione di riferimento più comunemente usata in aria è la soglia di udibilità, pari a 20 micropascal, indicata con RMS.

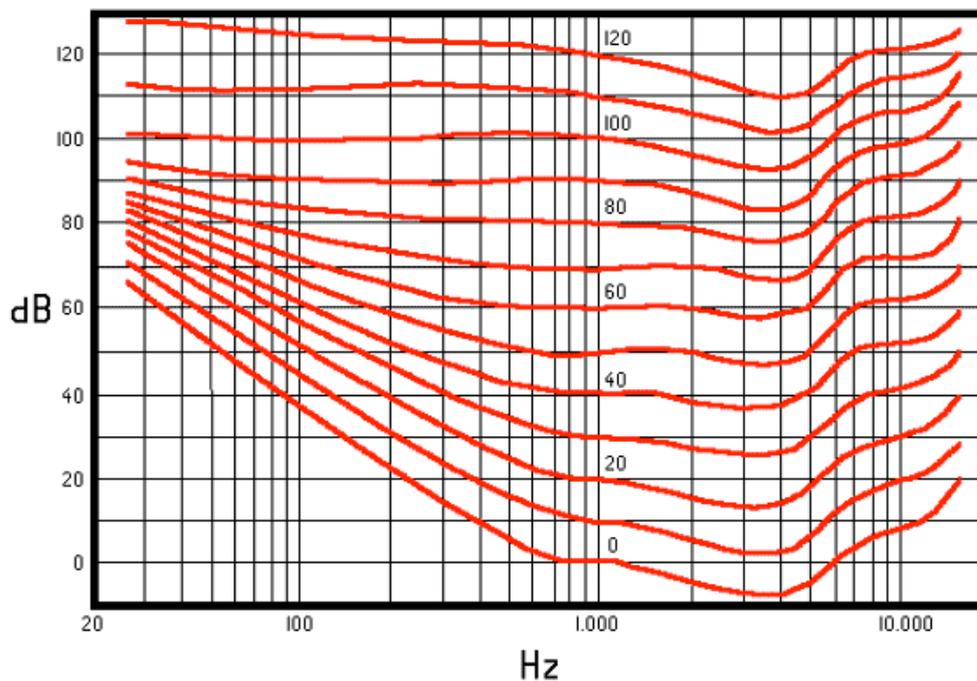
Alla propagazione della perturbazione di pressione sonora è associato un flusso di energia sonora, che si disperde secondo il quadrato della distanza dalla fonte. La propagazione del suono in campo libero avviene in modo tale che il livello di pressione sonora si riduce di 6 dB

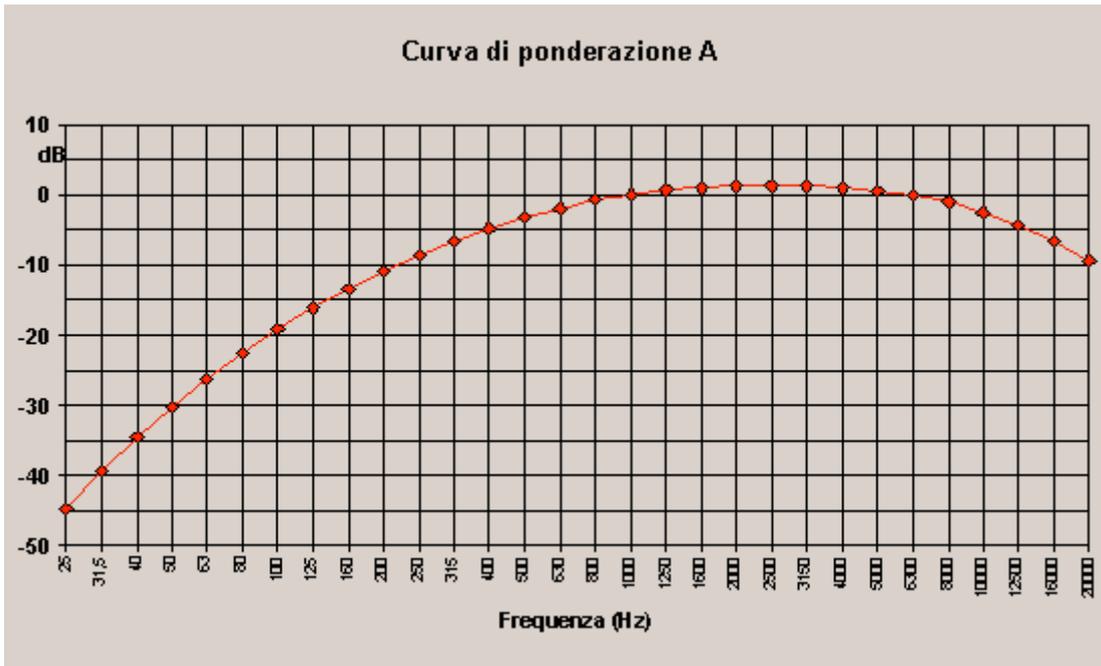
per ogni raddoppio della distanza dalla sorgente puntuale, nel caso di sorgenti lineari la riduzione è di 3 dB per ogni raddoppio di distanza.

### 8.1.2 Curve di ponderazione

La sensibilità dell'orecchio umano varia in base alla frequenza, quindi a parità di livello di pressione sonora il rumore percepito è sensibilmente diverso. Le curve isofoniche evidenziano questo aspetto che caratterizza il nostro udito. Nella misurazione degli eventi sonori, è necessario inserire un fattore di pesatura che tenga conto di questo problema. Si utilizzano quindi delle curve di ponderazione che trasformano i dB reali in dB corrispondenti alla sensazione fisiologica dell'uomo.

Esistono diverse curve di pesatura, la più comunemente utilizzata è la curva di ponderazione A, che fornisce risultati indicati con dB(A).

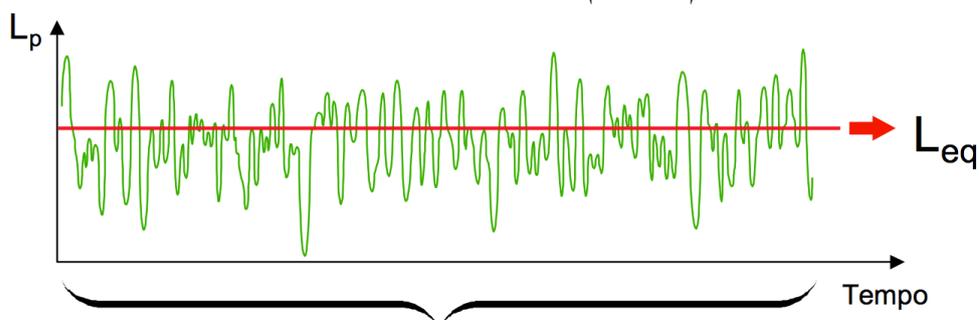




### 8.1.3 Misura del rumore ambientale

Per caratterizzare fenomeni variabili nel tempo, è stato introdotto il concetto di livello continuo equivalente di pressione sonora. Si tratta di una valutazione della rumorosità globale di un periodo di tempo: prefissato un intervallo temporale di osservazione, il livello sonoro equivalente è il livello stazionario a cui corrisponde, nell'intervallo di tempo considerato, la stessa energia sonora del rumore variabile osservato. In tal modo si ottiene una sorta di media energetica di un valore reale fluttuante di pressione sonora.

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt$$



L'evento sonoro viene percepito dall'uomo quando le onde acustiche incidenti l'orecchio umano, vengono convertite in stimoli neurologici dal sistema uditivo.

Per la rilevazione delle onde di pressione incidente, viene utilizzato il **microfono**, un trasduttore di tipo elettro-meccanico in grado di convertire le onde di pressione sonora in segnali elettrici, utilizzati per calcolare gli indicatori acustici previsti dalla normativa.

Per la valutazione degli effetti del rumore sulla salute umana, è necessario considerare i livelli e contemporaneamente le durate di esposizione, per poter determinare l'energia sonora complessiva a cui si è esposti. Per questo motivo, come standard internazionale nella valutazione del rumore ambientale si utilizza l'indicatore di livello sonoro continuo equivalente con ponderazione di tipo A - LEQ A espresso in unità di misura dbA - il quale misura, in un dato intervallo di tempo, il livello di pressione sonora di un suono costante che ha il medesimo contenuto energetico - quindi lo stesso potenziale nocivo - del corrispondente suono variabile, nello stesso arco di tempo. Una misura di questo tipo non da conto del fastidio o del piacere che possono procurare i diversi tipi di suoni.

In ogni caso, la percezione soggettiva delle onde sonore da parte dell'apparato uditivo umano, cioè la sensazione sonora che deriva da un meccanismo fisiologico, può produrre sensazioni uditive diverse a seconda dello stato psicofisico ed emozionale del ricevitore. Anche la distinzione tra suono e rumore è puramente soggettiva; nel linguaggio comune la parola rumore è più comunemente associata a sensazioni sgradevoli..

#### **8.1.4 Il fonometro integratore**

È uno strumento composto da microfono, preamplificatore, filtri, amplificatore, rettificatore RMS, compressore logaritmico, e indicatore digitale.

Il segnale elettrico in uscita dal microfono viene amplificato tramite un preamplificatore, posizionato subito dopo il trasduttore stesso. Successivamente il segnale viene pesato con un particolare filtro acustico di ponderazione, ovvero un circuito elettronico dove la sensibilità varia con la frequenza.

La principale scala di pesatura è quella di tipo A, ispirata alla curva isofonica di 40 phon (unità di misura dell'intensità sonora) dell'audiogramma normalizzato di Fletcher-Munson o diagramma di uguale intensità sonora. Il phon in psicoacustica rappresenta il livello di sensazione sonora sulla base del quale furono rappresentate le curve di isofonia nel diagramma di Fletcher e Munson. In particolare il phon definisce il livello di pressione sonora

che un suono puro di una determinata frequenza  $f$ , deve avere, al fine di provocare la medesima sensazione uditiva (in termini di intensità del livello acustico) del suono di riferimento alla frequenza di 1 kHz [3]

La curva di ponderazione A è quella che meglio approssima la sensazione sonora percepita dall'orecchio umano ed è quindi quella maggiormente usata.

Nei fonometri è presente inoltre falsa curva di ponderazione ovvero la curva lineare (lin), che non effettua nessuna ponderazione.

Il fonometro è inoltre dotato di filtri, i quali permettono di suddividere un segnale sonoro in bande di ottave o terzi d'ottava. Praticamente suddividono l'intero range delle frequenze rilevate da 20 Hz a 20 KHz in "fasci di frequenze". Questo processo è denominato analisi in frequenza, e viene utilizzato per analizzare la composizione spettrale del rumore misurato. La normativa prevede infatti questa tipologia di analisi per ricercare la presenza di componenti tonali, ovvero bande di 1/3 di ottava il cui valore di pressione sonora sovrasta di un certo numero di decibel le bande adiacenti. Come già specificato, la presenza di componenti tonali rende particolarmente "impattante" il rumore a prescindere dal livello sonoro.

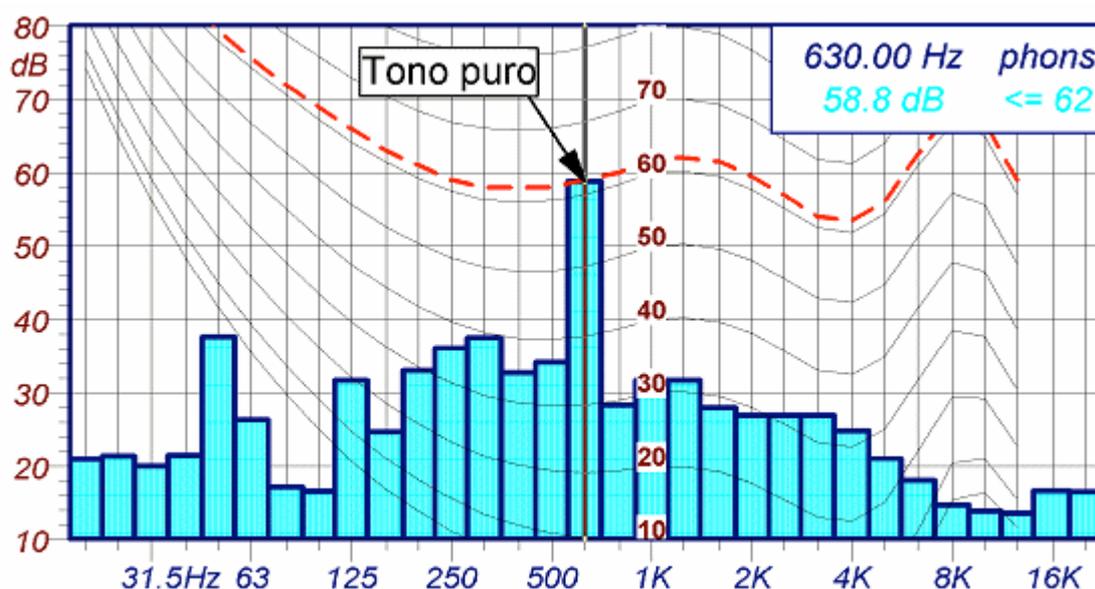


Fig.3 : Individuazione delle componenti tonali con software "N&VW" secondo DM 16-03-98

Dopo che il segnale è stato pesato e/o diviso in bande di frequenza, viene nuovamente amplificato per poi passare in un rilevatore RMS che determina il valore Root Mean Square

(RMS) del segnale. Il valore RMS è molto importante nelle misurazioni del suono, perché fornisce un'indicazione sulla quantità di energia contenuta nel segnale sonoro.

I moderni fonometri integratori memorizzano normalmente gli indicatori dell'evento misurato pesati con le curve di pesatura A C e lineare.

La norma IEC 651 (1979) "Sound level meters" (in Italia CEI-29-1) e la norma IEC 804 (1984) "Integrating averaging sound level meters" (in Italia CEI 29-10) prevedono 4 classi di strumenti a cui corrispondono quattro livelli di precisione decrescenti:

classe 0: fonometri da laboratorio di riferimento;

classe 1: fonometri per misure in laboratorio o sul campo, in condizioni acustiche definite (precisione);

classe 2: fonometri di uso generale per misure sul campo (industriale);

classe 3: fonometri per indagini sul campo di carattere preliminare e per verificare se eventuali limiti stabiliti vengono violati significativamente (sorveglianza).

Secondo le norme IEC651, la lettura delle misurazioni di un fonometro deve avere una precisione entro 0,7 dB per la classe 1, 1 dB per la classe 2 e 1,5 dB per la classe 3.

La normativa italiana di controllo dell'inquinamento acustico prevede sempre l'utilizzo di fonometri di classe 1.

Oltre alla misura del livello istantaneo (SPL), i fonometri integratori forniscono il livello equivalente per diversi tipi di ponderazione, l'analisi delle frequenze, delle sintesi statistiche, tempo di riverbero e altri parametri.

Tra le sintesi statistiche della distribuzione di decibel più utilizzate vi sono  $L_{min}$   $L_{max}$  i livelli percentili chiamati anche livelli statistici di rumore, corrispondono al livello di dB superato da una determinata percentuale di misure

.  $L_1$  livello di dB superato dall'1% delle misure al minimo intervallo di tempo (può essere, ad esempio, 250 millisecondi o un secondo)

.  $L_{10}$  livello di dB superato dal 10% delle misure

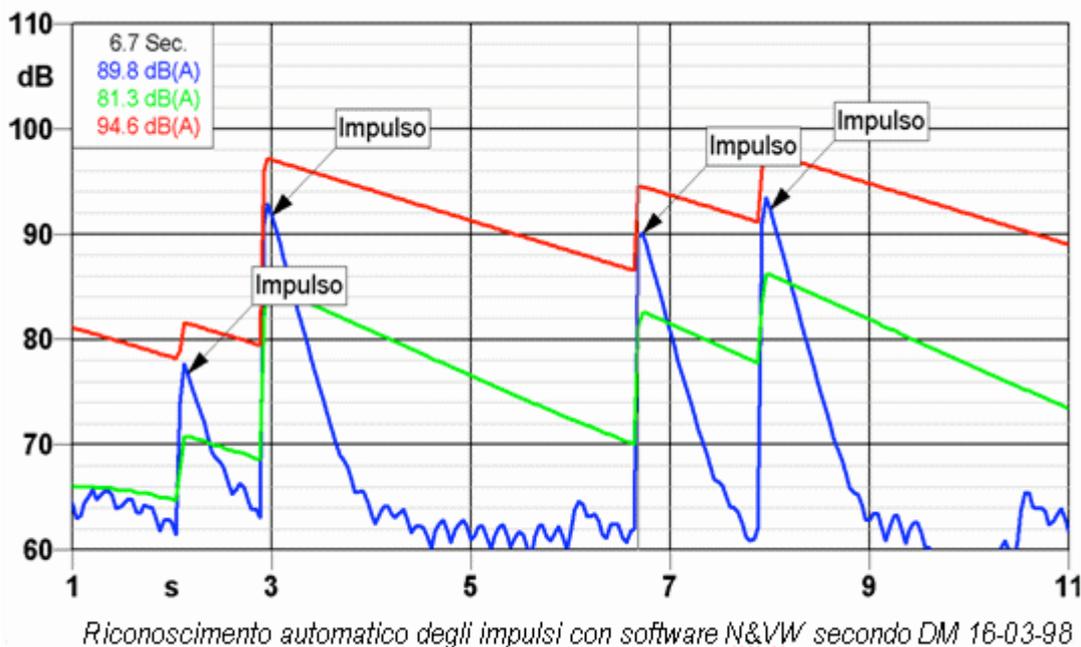
.  $L_{50}$  livello mediano di dB superato dal 50% delle misure

.  $L_{90}$  livello di dB superato dal 90% delle misure

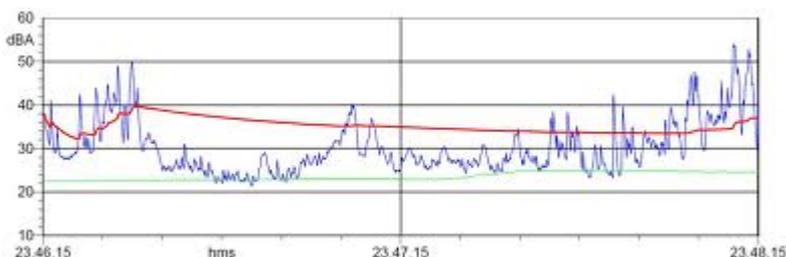
I percentili si utilizzano come descrittori degli eventi rilevati nell'ambito di una misura, in quanto il Livello equivalente esprime solo un valore medio energetico rappresentativo di tutto il periodo di misura.

L'indicatore L10 tende a rappresentare i valori massimi misurati durante la rilevazione, mentre il valore L90 o ancora meglio L95, rappresenta il valore di fondo.

Tutti gli indicatori sono valori medi acquisiti con costanti di tempo denominati F (fast), S (slow) e I (impulse). Queste costanti di tempo erano necessarie con l'utilizzo di strumenti analogici i cui valori venivano letti su display a lancetta. Con la moderna strumentazione digitale sono superati.



Oltre alla memorizzazione dei suddetti indicatori che si riferiscono all'intera misura è di grande importanza l'acquisizione della storia temporale del rilievo (Time History), che consiste nella memorizzazione con periodi di tempo prefissato (nei monitoraggi di lunga durata per motivi di capacità del supporto di memoria, normalmente si imposta 1 secondo per ogni acquisizione), di una serie di indicatori. Occorre ovviamente un compromesso tra tempo di misura e numero di indicatori per ogni acquisizione. Nei monitoraggi di lungo periodo, si acquisisce normalmente uno "short leq" per ogni secondo di misura, mentre non si ritiene significativo rilevare all'interno del periodo di un secondo altri indicatori statistici.



### 8.1.5 Calibrazione

La calibrazione serve per assicurare che la catena di misura permetta di acquisire con una accuratezza adeguata alla classe di precisione dello strumento.

Le motivazioni per cui uno strumento vada in “deriva” sono molteplici, ma il problema più importante riguarda l’invecchiamento della capsula microfonica che con il tempo tende a perdere elasticità e di conseguenza sensibilità.

La procedura di calibrazione andrebbe eseguita all’inizio e alla fine di ogni ciclo di misura per accertare che le due verifiche siano congruenti tra loro e che di conseguenza la catena di misura non ha abbiano subito malfunzionamenti durante la campagna di monitoraggio.

Oltre alla calibrazione la strumentazione deve essere tarata almeno una volta ogni due anni da un centro di taratura accreditato SIT.



### **8.1.6 Microfono**

Il microfono è un trasduttore di tipo elettro-meccanico in grado di convertire le onde di pressione sonora in segnali elettrici. Esistono diverse tipologie di microfono che basano il loro funzionamento su differenti tecnologie e metodi di conversione, ma presentano una stessa caratteristica: il diaframma. Esso corrisponde ad un sottile strato di materiale (carta, plastica o alluminio) che vibra quando viene colpito dalle onde acustiche. Il diaframma in oscillazione causa la vibrazione di altre componenti del microfono e le vibrazioni sono convertite in una corrente elettrica che diventa il segnale audio.

I microfoni vengono classificati a seconda del tipo di tecnologia di conversione che utilizzano e del tipo di applicazione per cui sono stati progettati.

La prima famiglia si riferisce al metodo utilizzato dal microfono per convertire il suono in elettricità; le tecnologie più comuni sono: dinamica, a condensatore, a nastro, piezoelettrico.

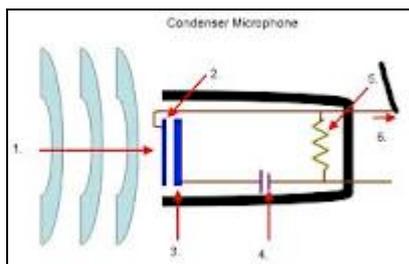
La seconda riguarda quelle caratteristiche fondamentali per la scelta del trasduttore, esse includono le proprietà direzionali, la risposta in frequenza, l'impedenza, la dinamica, la sensibilità, la necessità o meno di alimentazione, ma anche le dimensioni e il prezzo.

### **8.1.7 Microfono a condensatore**

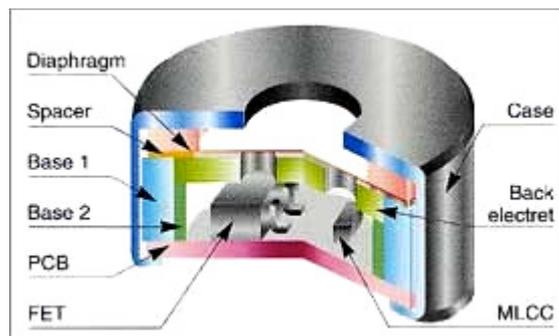
Utilizza un condensatore per convertire l'energia acustica in elettrica e per funzionare necessita di un'alimentazione proveniente da una batteria o da una sorgente esterna.

Il segnale audio risultante è più forte di quello proveniente da un microfono dinamico, inoltre questo trasduttore è più sensibile e responsivo, scoprendosi adatto a catturare suoni quasi impercettibili.

Il microfono a condensatore sfrutta le variazioni di capacità del condensatore che è realizzato con una lamina metallica, o di plastica metallizzata, costituente l'armatura fissa del condensatore, e una seconda, mobile.



schema teorico



schema costruttivo

### *Microfoni a condensatore*

Il principio di funzionamento si basa sulle variazioni di capacità di un condensatore costituito da due armature, una membrana fissa ed una mobile soggetta alle onde sonore. Queste variazioni di campo elettrico sono rilevate da un secondo stadio formato da un circuito preamplificatore, che può essere costituito da transistori FET o valvole, il quale amplifica il segnale elettrico generato. Sono caratterizzati da una alta sensibilità e per questo sono utilizzati nei microfoni direzionali per captare suoni distanti.

Il capacitore è caratterizzato da due piatti con una certa tensione tra loro, uno di questi agisce come diaframma e vibra quando viene investito dalle onde sonore, variando così la distanza tra le due armature e quindi modificando la capacità. Infatti, quando i piatti sono più vicini tra loro, la capacità aumenta e passa una certa corrente di carica, quando si allontanano la capacità decresce e si verifica una corrente di scarica. Viene richiesta una tensione sul capacitore, questa viene fornita attraverso una batteria nel microfono o da un'alimentazione "fantasma" esterna: questa tecnica consiste nel far passare l'alimentazione elettrica lungo gli stessi cavi audio in cui passa il segnale. L'alimentazione phantom è stata inventata (e tutt'ora è principalmente utilizzata) per alimentare i microfoni a condensatore, che pur avendo un'alta sensibilità e quindi qualità del suono, producono segnali elettrici troppo bassi, necessitando così di un preamplificatore, incorporato nel microfono stesso, per far sì che l'effetto del rumore sul segnale passante nel cavo sia trascurabile.

Il microfono a electret costituisce una sua variante più moderna, utilizza un tipo speciale di capacitore, caratterizzato da una tensione permanente incorporata durante la fabbricazione.

Questo è simile a un magnete permanente al quale non è richiesta alcuna alimentazione esterna per operare; comunque, in genere, i buoni microfoni a condensatore electret includono un pre-amplificatore che deve essere alimentato.

Nei telefoni cellulari e più recentemente nei mobile-device, per quanto riguarda la soluzione tecnologica relativa al "microfono", si hanno diverse soluzioni:

I primi dispositivi avevano come dotazione un microfono singolo, dove il segnale captato dal microfono senza alcuna elaborazione, portava alla trasmissione il livello di pressione rilevato, complessivo quindi anche dei rumori ambientali. Dall'inizio del terzo millennio i dispositivi che utilizzano un solo microfono hanno iniziato a elaborare il segnale o tramite dei [filtri](#) in modo da ridurre o rimuovere il rumore di fondo.

Dal 2005 in poi, la soluzione più diffusa comprende l'utilizzo di due microfoni, di cui uno è posto vicino alla bocca, mentre l'altro è generalmente posto nella parte opposta o comunque sia molto distante, questa distanza permette d'avere due segnali differenti tra i due microfoni, in modo che il microfono principale possa registrare ottimamente la voce dell'utilizzatore, mentre il secondo microfono, chiamato anche microfono ambientale, registra il rumore dell'ambiente circostante (rumore ambientale), eseguendo la differenza dei due segnali si ha l'isolamento della voce.

La maggior parte dei microfoni attualmente utilizzati sono microfoni ECM (Electret Condenser Microphones),

ovvero realizzati con una tecnologia in auge da parecchi decenni. Essi sono costituiti da una membrana polimerica con separazione della carica permanente.

I microfoni a condensatore con carica ad elettret, cominciano ad essere sostituiti, a partire dai dispositivi mobili di fascia più alta con microfoni MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems), questi sono stabili nei confronti della temperatura, a differenza delle membrane polimeriche e non evidenziano una diminuzione della sensibilità rispetto a parametri quali temperatura, vibrazioni, umidità e tempo.

La polarizzazione esterna dei MEMS consente anche di progettare microfoni con differenti livelli di sensibilità.

La sensibilità direzionale nei confronti della persona che sta di fronte al laptop o dell'ambiente circostante (come accade nel caso di una sala conferenze) può essere impostata mediante software in presenza di matrici di microfoni. Il calcolo della direzione di un segnale sonoro tenendo conto del ritardo di differenti segnali provenienti da vari microfoni richiede la presenza di microfoni affidabili e robusti, come appunto quelli realizzati in tecnologia MEMS.



*microfoni MEMS*

## **8.2 ALLEGATO 2 - Tecniche emergenti**

### **8.2.1 La mappatura acustica dinamica**

Una mappa acustica può rappresentare sia una situazione stazionaria, costruita quindi utilizzando dati misurati relativi a determinate sorgenti, unitamente ad altri parametri caratteristici della sorgente stessa, che una situazione prevista in base a determinati scenari.

Le mappe “statiche”, rappresentano quindi output di modellizzazioni di una o più sorgenti ma non sono rappresentative di situazioni reali dove ci sono variabili che non vengono prese in considerazione nei modelli, anche perché sono difficilmente prevedibili.

Una possibile alternativa alle rappresentazioni statiche del clima sonoro di un'area è la mappatura dinamica del rumore (generazione di mappe acustiche dinamiche).

Lo sviluppo di tecnologie di monitoraggio ed elaborazione sempre più performanti unite alla potenzialità di internet come sistema di comunicazione di dati, offre valide alternative a quanto previsto dai metodi tradizionali di monitoraggio acustico per la comprensione dei fenomeni acustici in esame e permette inoltre di predisporre strumenti rapidi ed efficaci in materia di eco-informazione alla popolazione in merito alla tematica inquinamento acustico.

Sono da tempo disponibili sistemi in grado di pubblicare sul web dati di monitoraggio in continuo, sfruttando rete GPRS o connessione a banda larga ADSL.

Normale evoluzione del sistema per la pubblicazione in tempo reale di dati misurati in continuo da centraline è la pubblicazione di mappe acustiche dinamiche, ottenibile mediante l'impiego congiunto di centraline di monitoraggio in continuo collegate a server e software previsionali.

Un esempio di architettura per l'acquisizione, elaborazione e pubblicazione di dati/mappe acustiche è formato dai seguenti componenti:

- centralina di monitoraggio con fonometro dotato di unità microfonica per esterni;
- router con applicazione capace di impostare il fonometro e inviare i dati acquisiti dallo strumento;
- server per la raccolta dei dati raccolti da più centraline;
- sistema di alimentazione (accumulatori o rete);

Il server, provvede ad allineare i dati ad un database e alla loro pubblicazione su web. L'interfacciamento con un software previsionale permette inoltre la pubblicazione automatizzata di mappe acustiche.

Per la visualizzazione dei dati non è necessario nessun software particolare in quanto i dati vengono pubblicati su una normale pagina web (eventualmente previa validazione).

Le problematiche più comuni, nella gestione di queste tipologie di sistemi per l'acquisizione di dati in continuo da centraline di monitoraggio, consistono nella bassa affidabilità delle connessioni fonometro - modem con difficoltà relative alla gestione dell'indirizzo IP, nella riconnessione automatica senza perdita di dati in mancanza di campo o di alimentazione, nella velocità di comunicazione in relazione alle limitate capacità di interfaccia con il fonometro, nella necessità del supporto di un server di rete ed in generale nella elevata complessità nella gestione dell'insieme.

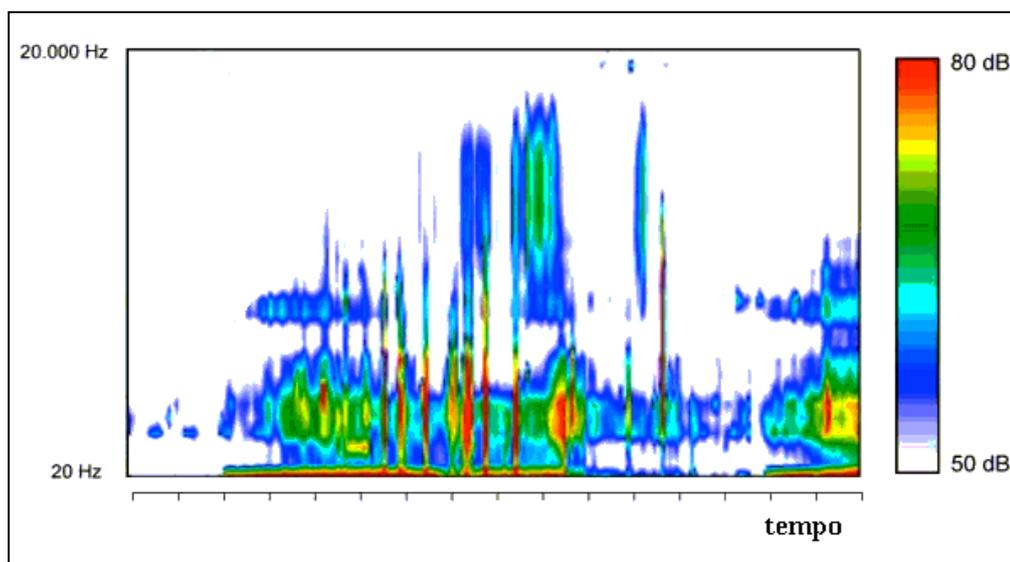
Nell'immagine successiva viene descritto lo schema di un sistema di monitoraggio proposto dalla ditta SPECTRA.

#### Sistema 'Noise Tutor' schema dei componenti di base



Questo sistema di monitoraggio acustico prevede che ogni singola unità di monitoraggio sia completamente autonoma e totalmente svincolata da sistemi di gestione centralizzati o dalla necessità del supporto di una unità server web; al suo interno trovano alloggio il fonometro, una unità UMPC (Ultra Mobile Personal Computer) ed un accumulatore di energia, dimensionato come tampone per eventuali interruzioni della alimentazione da rete oppure per provvedere alla completa alimentazione della singola unità per una durata superiore ai 10 giorni.

Nel momento in cui una unità di monitoraggio di questo tipo viene attivata, i dati sono dapprima raccolti nella memoria locale del fonometro quindi ad intervalli prestabiliti dall'operatore per esempio ogni ora oppure una o due volte al giorno vengono scaricati dall'UMPC che a sua volta li archivia in una memoria a stato solido prima di procedere alla creazione di un report grafico ed attivare poi la connessione in rete per procedere all'invio via e-mail ad un elenco di indirizzi opportunamente predisposto, sia il file dati compresso sia il corrispondente report grafico.



*esempio di sonogramma*

Interfacciando il sistema di monitoraggio con un modello di previsione sonora, in grado di calcolare in funzione dei dati acquisiti, mappe acustiche parziali (relative a singole sorgenti sonore), di ricombinarle successivamente per ottenere mappe acustiche globali (con la somma energetica di tutte le sorgenti sonore presenti in una determinata area), è possibile pubblicare automaticamente mappe acustiche dinamiche, in grado di rappresentare la situazione di inquinamento acustico in funzione delle diverse ore del giorno, dei diversi giorni della settimana e dei diversi periodi dell'anno.

Alcune esperienze in merito sono già state effettuate in città europee, quali Parigi e Madrid.

Ci sono diverse tipologie di approcci per la mappatura dinamica del rumore. Diversi inoltre sono gli usi da quello della semplice rappresentazione a scopo divulgativo, come previsto dalla direttiva 49/2002.

Lo sfruttamento delle crescenti potenzialità delle nuove tecnologie, dei mezzi di comunicazione dati con relativi servizi ad esso associati, ha permesso nuove possibilità per una gestione “pro-attiva” del rumore ambientale.

La creazione automatica di mappe acustiche conseguente al calcolo in tempo reale del rumore misurato da centraline di monitoraggio permette di ottenere un feedback della reale situazione acustica di un’area (eventi anomali, fenomeni meteo ecc..) e consente quindi una pianificazione più ottimale di determinate attività entro i limiti di rumore.

Nella nostra epoca la coscienza ambientale è molto più accentuata rispetto al passato e la normativa di conseguenza tende ad imporre limiti sempre più stringenti alle industrie.

Gli insediamenti residenziali che spesso tendono ad espandersi vicino a siti industriali, sono ovviamente abitati da cittadini che hanno aspettative esigenti in tema di qualità ambientale.

Come conseguenza si riducono in modo sensibile i margini per un nuovo sviluppo.

Per affrontare questa tematica, imprese specializzate nella realizzazione di sistemi di monitoraggio,

stanno studiando da tempo soluzioni tecnologiche per la gestione dell’ annoyance (fastidio da rumore). E’ stato così introdotto il concetto di “capacità ambientale”, come modo per spiegare un approccio multidimensionale per una gestione sostenibile del problema rumore.

Il termine “capacità ambientale”, si riferisce in particolar modo ad una proprietà dell’ambiente e la sua capacità di ospitare una particolare attività, o tasso di attività, senza impatto inaccettabile”.

In pratica l’accettabilità dell’impatto, si riferisce alla volontà della comunità locale di accettare determinati livelli di rumore in tempi diversi.

La capacità ambientale quindi non è intesa come un qualcosa che può essere applicato, come il rispetto di una legge o un limite, ma è la “selfevident” di una collezione di variabili che definiscono i limiti per il cambiamento. Quindi, piuttosto che guardare le responsabilità di gestione del rumore, come il semplice rispetto dei limiti o il saper reagire alle lamentele, pensare in termini di capacità ambientale incoraggia le aziende a concentrarsi su ciò che possono fare entro il limite di tolleranza della comunità.

Dal punto di vista del gestore di un sito industriale, è importante saper costruire capacità ambientale, perché questa può essere migliorata o rafforzata, consentendo di conseguenza margini di crescita aziendale.

La percezione e di conseguenza la tolleranza, possono essere migliorati attraverso trasparenza e impegno pubblico.

Una delle aree chiave è la capacità di anticipare e prevenire i rumori inutili e non solo rispetto dei limiti e saper reagire alle lamentele rumore.

La gestione dell'inquinamento acustico in tempo reale permette all'operatore di gestire le operazioni entro limiti, grazie ad un preavviso del potenziale superamento della soglia del rumore. Questo permette immediata, reazione tempestiva al rumore situazione, assicurando il rispetto dei limiti e riducendo il disturbo al vicino comunità, contribuendo così ad aumentare la tolleranza oltre a ridurre l'impatto.

### **8.2.2 Wireless Sensor Network**

Negli ultimi anni le reti di sensori sono state sperimentate in campo ambientale, per diversi tipi di monitoraggi, dal monitoraggio di habitat e comportamento degli uccelli ai parametri di inquinamento nelle aree urbane (es. montre verte).

Un esempio importante riguarda il progetto CitySense, attualmente in fase di implementazione, che fornirà una rete fissa di 100 sensori wireless per la raccolta di dati ad elevata granularità relativi a fenomeni di inquinamento e relativa pubblicazione in tempo reale agli utenti. La raccolta di dati ad elevata risoluzione è essenziale per promuovere la ricerca scientifica ed aumentare la comprensione dei meccanismi di diffusione degli inquinanti e la loro influenza sulla salute umana, inoltre qualsiasi piano d'azione volto alla riduzione degli inquinanti ha un elevato rischio di fallimento se non sono disponibili dati per la pianificazione e la successiva convalida.

Relativamente alla tematica inquinamento acustico, la necessità di ottenere dati ad elevata risoluzione spazio temporale è stata, come già sottolineato nei capitoli precedenti, esplicitamente dichiarata dalla Commissione Europea.

In questo scenario le reti di sensori senza fili rappresentano una tecnologia promettente che può contribuire a colmare le deficienze delle attuali modalità di monitoraggio.

Questo metodo di acquisizione dati è di grande utilità quando occorre aumentare la risoluzione spazio-temporale in quanto la copertura di un'area con una rete di sensori wireless a basso costo, potrebbe raccogliere i dati sull'inquinamento da rumore per lunghi periodi temporali e in modo autonomo, inviandoli ad un server centrale, mediante una radio incorporata sul singolo sensore.

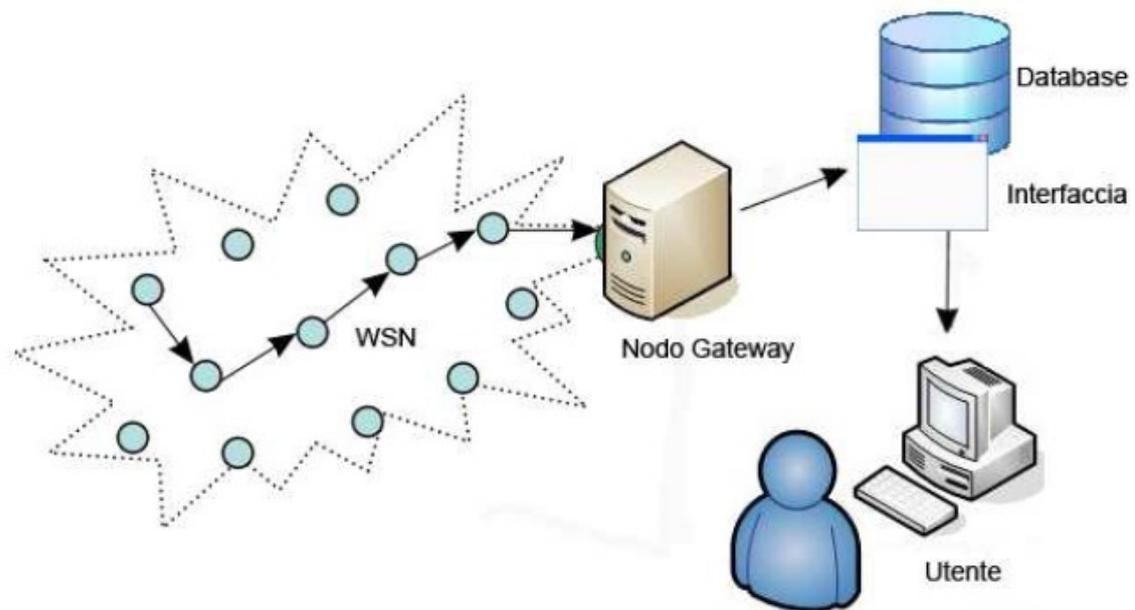
In questo caso l'intervento umano sarebbe richiesto solo per installare i nodi sensori ed eventualmente rimuovere quelli non più funzionanti.

I dati raccolti utilizzati per la mappatura acustica utilizzano procedure di valutazione conformi con le normativa europea, ma i risultati spesso non garantiscono una accuratezza accettabile.

Infatti, mentre le proprietà di propagazione del rumore, generato da una specifica sorgente, sono note da tempo, gli effetti di riflessione e shadowing causati da ostacoli topografici o agenti atmosferici come il vento, intralciano la stima accurata dei livelli di rumore, in ambiti urbani complessi. L'acquisizione di valori decisamente più accurati in determinate aree di particolare complessità dove i modelli computazionali non sono in grado di fornire stime adeguate dei livelli di inquinamento acustico a causa della presenza di sorgenti sonore estremamente variabili nel tempo e nello spazio (es. cantieri industriali), potrebbe essere ottenuta, installando una wireless sensor network in quelle locazioni.

Le WSN possono quindi fornire un'infrastruttura in grado di aiutare la raccolta dei dati, ad alta densità, sull'inquinamento acustico, in modo da realizzare la mappatura del rumore e convalidare i modelli di calcolo.

Una wireless sensor network è formata da un insieme di piccoli dispositivi elettronici in grado di misurare determinate grandezze fisiche e/o chimiche dall'ambiente esterno, eseguire delle elaborazioni e comunicare i risultati agli altri elementi della rete, o a un punto di raccolta.



*esempio di architettura WSN*

Il progresso tecnologico nei sistemi micro elettromeccanici (MEMS), nella connettività e nell'elettronica digitale, permette lo sviluppo di nodi sensori:

questi sono dispositivi a basso consumo di potenza, multifunzionali, dal costo limitato, in grado di comunicare e collaborare tra loro mediante tecnologia wireless.

I sensor node possono essere utilizzati per rilevare diverse grandezze fisiche (ad esempio posizione,

temperatura, umidità, pressione), eseguire delle elaborazioni sui dati raccolti, in quanto dotati di processori on-board, inviare dati grezzi, ai nodi responsabili della raccolta informazioni, oppure trasmettere solamente i dati richiesti e già processati.

Una WSN è formata da un insieme di sensori, posizionati in prossimità, o all'interno del fenomeno da osservare: ogni nodo presenta una riserva di energia limitata, non rinnovabile e, una volta installato, deve operare in modo autonomo. La rete di sensori può essere pensata come un insieme distribuito di nodi che collaborano tra loro e dove ognuno di essi è caratterizzato da capacità attive programmabili; questo fa sì che tutti i dispositivi siano autonomi e coordinati l'uno con l'altro per eseguire il task assegnato.

I nodi vengono distribuiti in una zona chiamata area di sensing, ciascuno di essi ha la possibilità di raccogliere e di instradare i dati al nodo sink, il quale agisce come un gateway,

che a sua volta indirizza i pacchetti verso l'utente finale. Il nodo sink è caratterizzato da un'antenna in grado di illuminare l'intera area in cui sono posizionati i sensori; la posizione di quest'ultimi non necessita di essere predeterminata, ma la loro disposizione deve essere random, infatti le WSN devono essere anche in grado di operare in zone difficilmente raggiungibili, utilizzate, ad esempio, per operazioni di soccorso in aree disastrose, per le quali è necessaria una distribuzione casuale dei nodi.

I sensori, conoscendo le proprietà trasmissive del sink e sfruttando il suo segnale di illuminazione,

devono possedere capacità auto organizzative, ovvero apprendere da soli, tramite opportuni algoritmi e protocolli, la loro posizione all'interno della rete, senza l'intervento esterno dell'utente. Dato il problema della scarsa energia di cui è dotato il sensore, gli algoritmi che permettono al singolo dispositivo di conoscere la propria ubicazione, devono essere ottimizzati, in modo da abbattere i tempi di apprendimento. Inoltre è necessario minimizzare il tempo in cui il sensore deve rimanere abilitato e il numero di volte in cui si deve attivare per svolgere una particolare operazione; è da notare che la fase di trasmissione dei dati è quella che causa il maggior consumo di potenza.

Le wireless sensor network vengono utilizzate per un'ampia schiera di applicazioni come quella militare, scientifica, industriale, medica e domestica. Lo scopo delle reti di sensori wireless è di fornire, su un periodo temporale anche molto esteso, un'informazione globale, ricavata da un insieme di dati locali, provenienti dai singoli sensori. La rete deve essere implementata in modo tale da garantire la sua integrità per un periodo di tempo molto lungo, allo scopo di ottenere informazioni precise anche in caso di guasti, o eventuali problemi provenienti dall'esterno.

Una rete di sensori wireless è formata da nodi costituiti dai seguenti componenti di base:

- Sensore ;
- memoria dove vengono memorizzati i dati;
- processore che viene utilizzato per elaborare i dati e porta il risultato desiderato;
- ricetrasmittitore che trasmette e riceve dati "interni" (integrati nel singolo circuito) o esterni mediante collegamento con antenna;
- accumulatore di energia che alimenta il dispositivo;
- microcontrollore per l'interfacciamento con i sensori o l'accumulatore di energia;

Si riporta di seguito una recente esperienza [Santini....] relativa all'utilizzo di WSN per monitoraggio ambientale dov'è stata testata la piattaforma di prototipazione Tmote invent, prodotta da Moteiv, che fornisce una suite estesa tra cui un sensore omnidirezionale dotato di microfono a condensatore electret, usato nell'ambito della sperimentazione per misurare rumore ambientale.

Per l'esecuzione del test, è stata implementata una applicazione denominata il Ennowa (Environmental Noise Watcher), che raccoglie campioni acustici grezzi e calcola i corrispondenti livelli di rumore corrispondente a periodi di tempo settabile a distanza per trasmetterli successivamente ad un sensore sink ad intervalli di tempo regolari.

I campioni di rumore raccolti vengono poi memorizzati nella in un database e possono essere ulteriormente elaborati e visualizzati sul comune attraverso interfacce web come Google Maps.

La piattaforma Tmote invent si è rivelata idonea alla raccolta dei primi dati, ma ha manifestato grossi problemi dovuti al carico computazionale alto per le limitate risorse dei singoli sensori, che devono provvedere anche alla filtrazione del segnale (ed alla ponderazione con curva A).

Questo carico crea problemi per la durata degli accumulatori ed alla CPU di ogni sensore che deve inoltre gestire la ricezione e la trasmissione dei segnali radio.

Per superare l'inconveniente rappresentato dalle alte frequenze di campionamento, è stata testata una terza piattaforma di prototipazione che potrebbe esternalizzare il calcolo dei descrittori acustici ad hardware dedicato, in modo da ridurre drasticamente il carico computazionale dei nodi sensori.

A tal fine è stato realizzato un semplice indicatore di livello del rumore interfacciato con la piattaforma Sky Tmote.

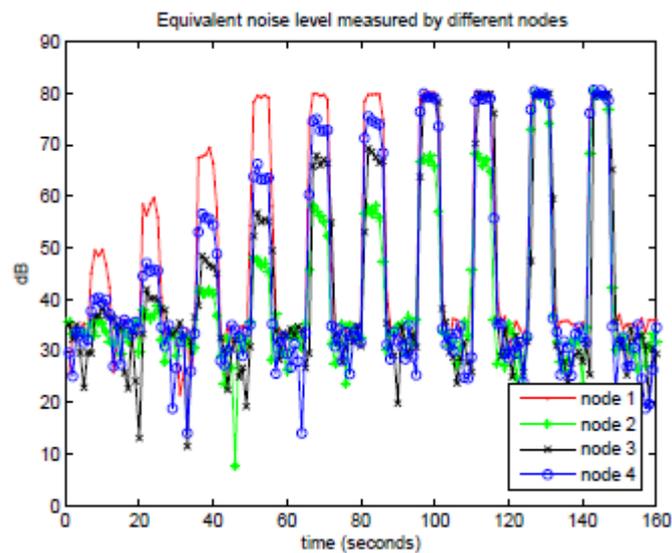
La circuiteria sviluppata mostra un errore nominale di  $\pm 2$  dB (viene effettuata la ponderazione in frequenza e la filtrazione).

La calibrazione è comunque ancora un problema che impedisce il confronto diretto dei dati raccolti dai singoli sensori.

Per osservare il comportamento di diversi nodi in risposta agli stessi segnali acustici, sono state disposte tutte le 8 Tmote piattaforme invent, a distanza ravvicinata e successivamente è

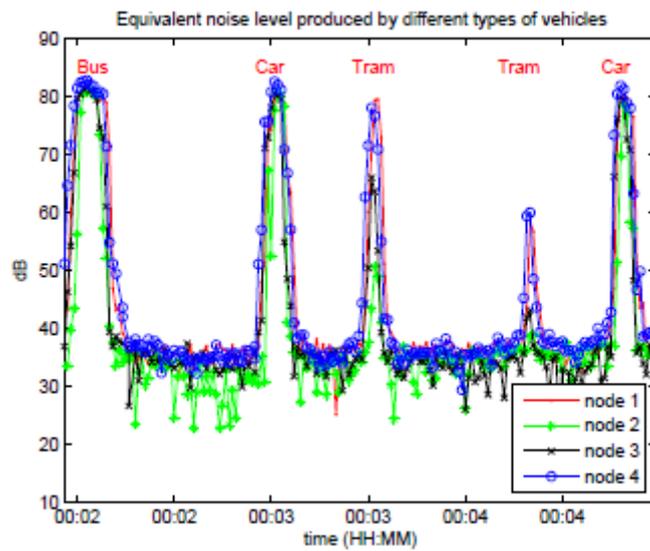
stato riprodotta una serie di impulsi di rumore bianco della durata di cinque secondi con ampiezza crescente.

La figura sottostante rappresenta le risposte dei vari nodi al segnale emesso che evidenzia chiaramente un disallineamento nei livelli di rumore misurato. Questa differenza è dovuta principalmente a disallineamenti relativi alla sensibilità dei microfoni. Adeguate procedure di taratura standard con pistonphones o camere anecoiche sarebbe di grande aiuto nel limitare il disallineamento nelle risposte dei nodi. Questo sarebbe un presupposto necessario per permettere un confronto dei dati raccolti dai nodi sensori diversi, effettivamente necessari per la preparazione di mappe acustiche.



*tracce acustiche rappresentanti il passaggio di bus e autoveicoli*

Durante la sperimentazione è stato inoltre effettuato un test in ambiente outdoor, in adiacenza ad una strada (circa 3 metri di distanza).



Questa caratteristica, insieme a informazioni aggiuntive come piastre magnetometriche può essere sfruttata per progettare un rivelatore capace di contare il transito di veicoli ed eventualmente una sua differenziazione.

Le conclusioni relative alla sperimentazione evidenziano la fattibilità dell'utilizzo delle WSN per il monitoraggio acustico segnalando come unica criticità, la necessità di calibrare i singoli sensori-nodo per poter confrontare le misure di nodi diversi

## 9 Bibliografia

### 9.1 Documenti

- [1] S. Curcuruto, F. Sacchetti (2011) *Inquinamento acustico 2.0 - Inquinamento acustico nelle aree urbane. La situazione italiana . Seminario Inquinamento acustico 2.0 Venezia*
- [2] CERTU (2006) *Comment réaliser les cartes de bruit stratégique en agglomération.*
- [3] Direttiva Europea 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.
- [4] Decreto legislativo n. 194, “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”, 19 Agosto 2005.
- [4] P.Bellucci (2008), “*Linee guida alla mappatura acustica e mappatura acustica strategica*”, Atti del 35° Convegno AIA, Milano.
- [5] P. Bellucci, F. Borchì, R. Bellomini, M. Garai, S. Luzzi, (2010) “*Criteri tecnici e considerazioni per l’attuazione delle disposizioni comunitarie*”, Seminario GAA, 37° Convegno AIA, Siracusa.
- [6] M.Garai, D.Fattori, L.Barbaresi P.Guidorzi (2009) “La mappa acustica strategica del Comune di Bologna” 36° Convegno AIA, Torino
- [7] E.D'Hondt, M.Stevens(2011) – “*Participatory noise mapping works!An evaluation of participatory sensing as an alternativeto standard techniques for enviromental monitoring.*” BrusSense Team, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium.
- [8] E.D'Hondt, M.Stevens(2010) “*Participatory noise mapping*” - BrusSense Team, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium.
- [9] R. K. Rana, C. T. Chou, S.S. Kanhere, N. Bulusu, W. Hu (2010) “*Ear-Phone: An End-to-End Participatory Urban Noise Mapping System*”, in: IPSN (2010): Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (April 12-16, 2010, Stockholm, Sweden),
- [10] Eiman Kanjo, NoiseSPY: A Real-Time Mobile Phone Platform for Urban Noise Monitoring and Mapping, *Mobile Networks and Applications* 15 (2010) 562574.
- [11] Mappa acustica strategica degli agglomerati (D. Lgs. 194/05). Specifiche per la fornitura dei dati alla Regione Lombardia – Milano – aprile 2007
- [12]R. Bellomini – S. Luzzi – R. Natale (2009) – “*Paesaggi sonori: una nuova direzione per*

*la progettazione urbana nel piano strategico d'azione del Comune di Firenze*” – pubblicato su bollettino ingegneri n°10 -2009

- [13] S.Liuzzi, B.Gentili, R.Natale (2010) – “Risanamento acustico e Soundscapes Analysis
- [14] B. De Coensel (2010), “*The soundscape approach for early stage urban planning. A case study*”.
- [15] D. Botteldoren (2008), The urban soundscape a different perspective. In G. Allaert, F. Witlox (eds.), Sustainable mobility in Flanders: The livable city, pages 177-204
- [16] (Elementi di acustica applicata – R. Pompoli – Università di Ferrara)
- [17] (Dispense di acustica – A.Farina – Università di Parma)
- [18]P. Koziellecki, A. Czyzewski(2008) “*An application for vector-based dynamic noise maps generation*” Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2008, 17-19 August 2008, Reykjavik, Iceland
- [19 ]H. Stapelfeldt,D. Manvell (2011)“*Using Dynamic Noise Mapping for Pro-Active Environment Noise Management*” – inter-noise 2011 – Osaka Japan
- [20] A.Cerniglia (2006) – “*Using Dynamic Noise Mapping for Pro-Active Environment Noise Management*” – Seminario: L'applicazione del DM 29-12-2000 ai servizi di gestione del trasporto pubblico.. Firenze 29 settembre 2006.
- [21 ] S. Santini, B. Ostermaier, A. Vitaletti (2008) “First Experiences Using Wireless Sensor Networks for Noise Pollution Monitoring”
- [22] S. Santini, A. Vitaletti. “*Wireless Sensor Networks for Environmental Noise Monitoring. In 6. GI/ITG Workshop on Sensor Networks*”, Aachen, Germany, 2007.

## 9.2 Siti internet

<http://ec.europa.eu/environment/noise/home.htm>

<http://www.tk.informatik.tu-darmstadt.de/de/research/smart-civil-security/noisemap/>

<http://www.hear-it.org/Paris-puts-noise-on-the-map>

<http://www.arpa.emr.it/rumore/index.asp>

<http://www.prassi-siena.it/Rumore.pdf>

<http://fing.org/?Montre-verte-City-pulse&lang=fr>

[http://www.clurican.com/nozioni\\_elettroacustiche/sensazione\\_sonora/curveIsofoniche.gif](http://www.clurican.com/nozioni_elettroacustiche/sensazione_sonora/curveIsofoniche.gif)

<http://www.ramsete.com/dispense99/caraffi113199/Image60.gif>

<http://www.dbaprogetti.it/Images/fotoServizi/AIA/Time%20History.jpg>

[http://apple.hdblog.it/wp-content/uploads/2012/01/mems\\_microfoni.jpg](http://apple.hdblog.it/wp-content/uploads/2012/01/mems_microfoni.jpg)

## 10 Indice delle figure

Figura 1 - Propagazione del rumore .....	19
Figura 2 - Riflessione onde sonore .....	20
Figura 3 - Schema a blocchi .....	28
Figura 4 - Scomposizione di una sorgente stradale areale in sorgenti puntiformi.....	37
Figura 5 - Procedura per il calcolo del $L_{den}$ .....	39
Figura 6 - Sensore “montre verte” per il rilievo dell’inquinamento acustico .....	50
Figura 7 - Fattori che influiscono nella percezione del rumore.....	54
Figura 8 - Metodologia soundscape analysis .....	57
Figura 9 - Evoluzione del WEB.....	62
Figura 10 - Piattaforma NoiseTube .....	64
Figura 11 - Interfaccia NoiseTube .....	65
Figura 12 - Camera anecoica .....	70
Figura 13 - Regressioni lineari.....	72
Figura 14 - Regressioni quadratiche .....	73
Figura 15 - Prova Sweep.....	74
Figura 16 - Calibrazione con livelli crescenti d rumore .....	75
Figura 17 - Regressioni valori smartphone Nokia .....	76
Figura 18 - Regressione polinomiale di terzo grado.....	77
Figura 19 - Esempio di elaborazione dati in uno dei punti.....	79
Figura 20 - Layer da processi bottom up .....	88
Figura 21 - Fasi procedurali della metodo soundscape analysis.....	89
Figura 22 - Disegno strategico complessivo .....	90
Figura 23 - Analisi delle funzionalità e degli attori coinvolti.....	92
Figura 24 - Ponderazione dei criteri .....	99
Figura 25 - Curva dei costi .....	101
Figura 26 - Visualizzazione traccia di NoiseTube.....	105
Figura 27 - Visualizzazione di più tracce di NoiseTube.....	106
Figura 28 - Interfaccia server NoiseTube .....	107
Figura 29 - Sovrapposizione dei due layer prodotti.....	111
Figura 30 - Discretizzazione livelli di pressione sonora su grid.....	113

Figura 31- Discretizzazione su aree.....	114
Figura 32 - Discretizzazione su grafo stradale.....	115
Figura 33 - Semantic Web .....	118
Figura 34 - Triple RDF .....	119
Figura 35 - Wordcloud.....	121
Figura 36- Interfaccia per segnalazione inconvenienti acustici.....	122
Figura 37- Esempio di Preciso®Land.....	125