



**LINEE GUIDA
PER L'ELABORAZIONE DELLE MAPPE ACUSTICHE
RELATIVE ALLE STRADE PROVINCIALI ED AGLI
AGGLOMERATI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA**

Assessorato Ambiente, Riqualficazione Urbana

Direzione Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa

Servizio Risanamento Atmosferico, Acustico, Elettromagnetico

Via della Fiera, 8 - 40127 Bologna

Sommario

| | |
|---|----|
| 1. INQUADRAMENTO GENERALE..... | 4 |
| 1.1 Scopo e campo d'applicazione..... | 4 |
| 1.2 Sintetico inquadramento normativo..... | 4 |
| 1.3 Riferimenti metodologici..... | 7 |
| 2. COME SODDISFARE I REQUISITI DELLA NORMATIVA VIGENTE..... | 9 |
| 2.1 Definizione dei contenuti della mappatura acustica..... | 9 |
| 2.2 Requisiti minimi delle mappature acustiche e delle mappe acustiche strategiche..... | 10 |
| 2.2.1 Dati da trasmettere alla Commissione Europea..... | 11 |
| 2.2.1.1 Agglomerati..... | 11 |
| 2.2.1.2 Infrastrutture di trasporto principali..... | 13 |
| 2.2.2 Informazione al pubblico..... | 16 |
| 2.2.3 Dati a supporto dell'elaborazione dei piani di azione..... | 17 |
| 2.3 Indicatori utilizzati per le mappature acustiche..... | 17 |
| 2.3.1 Esclusione del suono riflesso dalla facciata del ricettore..... | 19 |
| 2.4 Tipologie di mappe acustiche e modalità di rappresentazione..... | 22 |
| 2.4.1 Mappe acustiche nelle definizioni del D. Lgs. 194/05..... | 22 |
| 2.4.2 Mappe di rumore..... | 23 |
| 2.4.3 Mappe di esposizione..... | 24 |
| 2.4.4 Mappe di conflitto..... | 26 |
| 2.4.5 Mappe di priorità..... | 27 |
| 2.5 Aggiornamento delle mappe..... | 28 |
| 3. IL PROCESSO DI MAPPATURA ACUSTICA IN PRATICA..... | 30 |
| 3.1 Raccolta dei dati informativi e territoriali..... | 32 |
| 3.1.1 Individuazione dei responsabili della fornitura dei dati di input..... | 32 |
| 3.1.2 Periodo temporale di riferimento dei dati di input..... | 32 |
| 3.1.3 Criteri di individuazione delle aree da mappare..... | 33 |
| 3.1.4 Formati informatici di riferimento per i dati di input..... | 34 |
| 3.1.5 Individuazione della base cartografica..... | 36 |
| 3.1.6 Andamento altimetrico del terreno..... | 36 |
| 3.1.7 Tipo di copertura del suolo..... | 37 |
| 3.1.8 Edifici..... | 38 |
| 3.1.9 Dati demografici..... | 38 |
| 3.1.10 Localizzazione e caratterizzazione dimensionale delle sorgenti..... | 42 |
| 3.2 Dati rappresentativi dell'emissione sonora delle sorgenti..... | 42 |
| 3.2.1 Sorgenti stradali..... | 42 |
| 3.2.1.1 Misure di traffico..... | 45 |
| 3.2.1.2 Modelli di calcolo per la determinazione dei dati di traffico..... | 46 |
| 3.2.1.3 Spettro di potenza della sorgente sonora..... | 49 |
| 3.2.2 Sorgenti ferroviarie..... | 50 |
| 3.2.3 Sorgenti aeroportuali..... | 53 |
| 3.2.4 Siti di attività industriale..... | 56 |
| 3.2.5 Siti portuali..... | 57 |
| 3.2.6 Conversione di valori di altri descrittori acustici..... | 60 |
| 3.3 Dati meteorologici..... | 61 |
| 3.4 Modalità di elaborazione delle mappe acustiche..... | 62 |
| 3.4.1 Caratteristiche generali del programma di simulazione..... | 63 |
| 3.4.2 Modelli di calcolo utilizzati per l'elaborazione delle mappe acustiche..... | 69 |
| 3.4.2.1 Sorgenti stradali..... | 69 |
| 3.4.2.2 Sorgenti ferroviarie..... | 69 |
| 3.4.2.3 Sorgenti aeroportuali..... | 70 |
| 3.4.2.4 Sorgenti industriali..... | 70 |
| 3.4.3 Combinazione dei livelli sonori concorrenti alla rumorosità ambientale..... | 70 |
| 3.4.4 Influenza delle condizioni meteorologiche..... | 71 |
| 3.4.5 Valori delle impostazioni generali del programma..... | 72 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.4.6 | Concorsualità di più sorgenti sonore..... | 73 |
| 3.4.7 | Calibrazione del modello con misurazioni di riferimento..... | 73 |
| 3.5 | Presentazione dei risultati..... | 84 |
| 3.5.1 | Struttura dei dati da trasmettere alla Commissione..... | 84 |
| 3.5.1.1 | Le tabelle dati..... | 84 |
| 3.5.1.2 | Formato e contenuti della documentazione descrittiva..... | 86 |
| 3.5.2 | Criteri per la definizione della struttura di reporting a supporto delle attività di controllo e validazione dei risultati..... | 86 |
| 3.5.2.1 | Elementi descrittivi della struttura dati..... | 87 |
| 3.5.2.2 | Dati..... | 87 |
| 3.5.3 | Aggiornamenti dei criteri per la predisposizione e consegna dei risultati..... | 92 |
| 3.5.3.1 | Organizzazione della documentazione digitale..... | 92 |
| 3.5.3.2 | Predisposizione degli strati informativi georeferenziati..... | 93 |
| 3.5.3.3 | Metadati..... | 95 |
| 3.5.3.4 | Relazioni tecniche e immagini delle mappature acustiche e mappe acustiche strategiche..... | 95 |
| 3.6 | Informazione al pubblico..... | 96 |
| 3.6.1. | Modalità di comunicazione al pubblico..... | 96 |
| 4. | VERSO IL PIANO D'AZIONE..... | 98 |
| 4.1 | I valori limite di legge per l'elaborazione dei piani d'azione..... | 98 |
| 4.2 | I risultati della mappatura a supporto dell'elaborazione dei piani di azione..... | 104 |
| 4.3 | Individuazione delle aree critiche..... | 105 |
| 4.4 | Ricettori sensibili..... | 106 |
| 4.5 | Valutazioni puramente quantitative e soundscape..... | 107 |
| 4.6 | Individuazione delle zone silenziose..... | 108 |
| 5. | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | 110 |
| 5.1 | Disposizioni legislative nazionali..... | 110 |
| 5.2 | Altri documenti nazionali..... | 111 |
| 5.3 | Disposizioni legislative regionali..... | 111 |
| 5.4 | Documenti dell'Unione Europea..... | 111 |
| 5.5 | Norme tecniche..... | 113 |
| 5.6 | Progetti europei, report EEA..... | 115 |
| 5.7 | Letteratura scientifica e tecnica..... | 116 |
| 5.8 | Esempi di buona pratica..... | 117 |

Assessore: Sabrina Freda

Direttore generale: Giuseppe Bortone

Gruppo di lavoro:

- Eugenio Lanzi, Alfonso Albanelli, Tanya Fontana (Regione Emilia-Romagna - coordinamento)
- Massimo Garai (Università di Bologna - DIENCA - responsabile scientifico)
- Giovanni Fini (Comune di Bologna - collaborazione tecnica)
- Maurizio Poli, Anna Callegari (ARPA - collaborazione tecnico-scientifica)

Collaboratori:

- Dario Fattori (Università di Bologna - DIENCA - collaborazione tecnica)
- Lara Dal Pozzo (Comune di Bologna - collaborazione tecnica)
- Nelvis Sovilla (Comune di Bologna - collaborazione tecnica)

La riproduzione dei contenuti delle presenti linee guida è consentita, purché sia citata la fonte

1. INQUADRAMENTO GENERALE

1.1 Scopo e campo d'applicazione

Le presenti linee guida alla mappatura acustica e mappatura acustica strategica si propongono come strumento tecnico di supporto alle attività di elaborazione delle mappe per le infrastrutture stradali principali di competenza regionale e per gli agglomerati ai sensi del D. Lgs. 194/05 [1], definendo criteri e modalità procedurali di valutazione della rumorosità sul territorio regionale con un approccio omogeneo.

In base al D. Lgs. 194/05, le mappature acustiche e le mappe acustiche strategiche sono finalizzate alla determinazione dell'esposizione della popolazione al rumore ambientale, ove con tale termine si definiscono "i suoni indesiderati o nocivi in ambiente esterno prodotti dalle attività umane, compreso il rumore emesso da mezzi di trasporto, dovuto al traffico veicolare, al traffico ferroviario, al traffico aereo e proveniente da siti di attività industriali". Il decreto non si applica, invece, al rumore generato dalla persona esposta, dalle attività domestiche, proprie o del vicinato, né al rumore sul posto di lavoro prodotto dalla stessa attività lavorativa o a bordo dei mezzi di trasporto o dovuto ad attività militari svolte nelle zone militari.

1.2 Sintetico inquadramento normativo

Il quadro normativo a cui si riferiscono le presenti linee guida è alquanto complesso, e viene riportato nel seguito in breve sintesi.

Il D.P.C.M. 1 marzo 1991 [2] introduce per la prima volta in Italia dei valori limite massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno.

La Legge 26 ottobre 1995, n. 447 [3], "Legge quadro sull'inquinamento acustico" stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela degli ambienti abitativi e dell'ambiente esterno dall'inquinamento acustico. A questi principi è stata data attuazione mediante una serie di decreti successivi, quali per esempio [4], [5], [6], [7], [8], [9], dei quali nel seguito si sintetizzano i contenuti. Tra l'altro la Legge 447/95 disciplina le competenze in materia dello Stato, delle Regioni, delle Province e dei Comuni.

Il D.P.C.M. 14 novembre 1997 [5] introduce la classificazione acustica del territorio e formula nuovi valori limite di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno. Si distinguono valori limite assoluti di emissione, valori limite assoluti di immissione e valori limite differenziali di immissione, nonché valori di attenzione e valori di qualità. La

grandezza di riferimento da confrontare con i valori limite è il livello di pressione sonora continuo equivalente in scala di ponderazione “A”, L_{Aeq} . Questo deve essere valutato nei due periodi diurno (ore 06-22) e notturno (22-06).

Il D.M. 16 marzo 1998 [6] stabilisce le tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento da rumore, in attuazione dell'art. 3, comma 1, lettera c), della Legge 447/95.

Il D.M. 31 ottobre 1997 [4], prescrive a) la metodologia di misura del rumore aeroportuale, b) le procedure per l'adozione di misure di riduzione del rumore aeroportuale; inoltre definisce i criteri di individuazione delle zone di rispetto per le aree e le attività aeroportuali nonché i criteri che regolano l'attività urbanistica nelle zone di rispetto. Viene introdotto uno specifico indicatore, il livello di valutazione del rumore aeroportuale, L_{VA} , ed il periodo diurno è esteso, solo per le sorgenti di rumore aeroportuale, dalle ore 06 alle 23.

Il D.P.R. 18 novembre 1998, n. 459 [7], stabilisce le norme per la prevenzione ed il contenimento dell'inquinamento da rumore avente origine dall'esercizio delle infrastrutture ferroviarie e delle linee metropolitane di superficie, con esclusione delle tramvie e delle funicolari, definendo fra l'altro fasce di pertinenza all'interno delle quali vigono specifici valori limite assoluti di immissione del rumore ferroviario.

Il D.P.R. 30 marzo 2004 , n. 142 [9], stabilisce le norme per la prevenzione ed il contenimento dell'inquinamento da rumore avente origine dall'esercizio delle infrastrutture stradali, definendo fra l'altro fasce di pertinenza all'interno delle quali vigono specifici valori limite assoluti di immissione del rumore stradale.

Il D.M. 29 novembre 2000 [8] stabilisce i criteri tecnici per la predisposizione da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore prodotto nell'esercizio delle infrastrutture stesse.

Con la legge regionale 9 maggio 2001, n. 15 [15], “Disposizioni in materia di inquinamento acustico”, la Regione Emilia-Romagna, in attuazione dell'art. 4 della L. 447/95, detta norme per la tutela della salute e la salvaguardia dell'ambiente esterno ed abitativo dalle sorgenti sonore.

La D.G.R. del 9 ottobre 2001, n. 2053 [16], stabilisce criteri e condizioni per la classificazione acustica nel territorio ai sensi del comma 3 dell'art. 2 della L.R. 15/01.

La D.G.R. del 21 gennaio 2002, n. 45 [17], definisce gli indirizzi agli Enti locali per il rilascio delle autorizzazioni in deroga per lo svolgimento delle attività rumorose temporanee, ai sensi del comma 1 dell'art. 11 della L.R. 15/01.

La D.G.R. del 14 aprile 2004, n. 673 [18], stabilisce i criteri tecnici per la redazione della documentazione di previsione di impatto acustico e della valutazione del clima acustico ai sensi della L.R. 15/01.

La direttiva europea 2002/49/CE [21], relativa alla determinazione e gestione del rumore ambientale, introduce nuove definizioni e nuovi descrittori acustici ai fini della prevenzione e riduzione degli effetti nocivi dell'esposizione al rumore ambientale della popolazione.

La motivazione che ha spinto all'emanazione di questa direttiva risiede nel fatto che da tempo la Commissione Europea indica il rumore come una delle maggiori fonti di inquinamento in Europa. Per far fronte a tale problematica, in un ambito più generale di attenzione e tutela della salute pubblica e dell'ambiente, la Commissione Europea ha quindi deciso nel 2002 di emanare la direttiva 2002/49/CE - brevemente detta END [21] - con l'intento di valutare lo stato di inquinamento acustico del territorio e l'esposizione della popolazione e sviluppare dei piani d'azione coordinati per il contenimento del rumore ambientale e la preservazione delle zone silenziose, sulla base di criteri comuni ai diversi Stati Membri. Il perseguimento di tali obiettivi presuppone la definizione di descrittori e metodi di valutazione armonizzati, nonché l'individuazione di opportuni criteri da adottare per la determinazione e restituzione degli elaborati (mappature acustiche e piani d'azione).

Per la prevenzione e la riduzione degli effetti nocivi dell'esposizione al rumore ambientale la END prevede l'attuazione di alcune azioni successive:

- determinazione dell'esposizione al rumore ambientale mediante la mappatura acustica realizzata sulla base di metodi e determinazioni comuni agli Stati Membri;
- informazione al pubblico in merito al rumore ambientale ed ai relativi effetti;
- adozione da parte degli Stati Membri di piani d'azione per l'abbattimento del rumore e la preservazione delle aree silenziose, basati sui risultati derivanti dalla mappatura acustica;
- costituzione di una base dati per lo sviluppo di misure comunitarie di contenimento del rumore generato dalle principali sorgenti, in particolare veicoli di trasporto e relative infrastrutture, che consentano alla Commissione la predisposizione di proposte legislative da presentare al Parlamento Europeo.

La descrizione del clima acustico sul territorio è ricondotta all'elaborazione di mappe acustiche, nelle quali sono riportati i valori raggiunti da alcuni indicatori di rumore specifici, l'eventuale superamento dei limiti di pertinenza vigenti, il numero di persone e di abitazioni esposte a determinati valori del descrittore in questione. Gli indicatori individuati sono il livello di rumore giorno-sera-notte, L_{den} , ed il livello di rumore notturno, L_{night} . Viene lasciata una certa libertà agli Stati Membri nella determinazione dei periodi diurno, serale e notturno.

Le azioni di tutela dall'esposizione a rumore così determinata sono sintetizzate nei piani d'azione, che possono essere intesi sia come strumenti strategici di individuazione delle linee generali d'azione, in rapporto anche agli altri strumenti di governo del territorio, sia come piani operativi che specificano le azioni ritenute necessarie, i benefici attesi, i costi previsti.

La direttiva europea è stata recepita con il D. Lgs. 194/05 [10], pubblicato in data 23 settembre 2005, recante “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione del rumore ambientale”. Esso prevede:

1. l’elaborazione della mappatura acustica e delle mappe acustiche strategiche per determinare quale sia l’esposizione del rumore ambientale;
2. l’elaborazione e l’adozione di piani d’azione, per evitare e ridurre il rumore ambientale;
3. di assicurare l’informazione e la partecipazione del pubblico in merito al rumore ambientale ed ai relativi effetti.

Quanto sopra vale per agglomerati ed infrastrutture di trasporto principali, fissando tempistiche differenziate in base, rispettivamente, a numero di abitanti e traffico annuo.

I periodi diurno, serale e notturno sono stabiliti per l’Italia rispettivamente come: 06-20, 20-22 e 22-06.

A seguito del recepimento della END con il D. Lgs. 194/05, lo Stato italiano si è impegnato a fornire alla Commissione Europea, nei tempi e nei modi in essa stabiliti, le mappe acustiche e le mappe acustiche strategiche ed a sviluppare dei piani d’azione coordinati per il contenimento del rumore ambientale sulla base di criteri comuni ai diversi Stati Membri.

Le mappe acustiche e mappe acustiche strategiche costituiscono la base su cui redigere i piani d’azione, ossia i piani destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico ed i relativi effetti, compresa, se necessario, la sua riduzione, nei modi e nei tempi stabiliti dalle autorità competenti.

Il recepimento della direttiva da parte dello Stato italiano ha come conseguenza l’adeguamento della normativa nazionale vigente ai principi comunitari da essa individuati e rappresenta il primo passo verso un più complesso processo di armonizzazione, che prevede l’emanazione di una serie di decreti attuativi attraverso i quali provvedere nel tempo all’adeguamento dei regolamenti vigenti, anche in relazione alle future indicazioni e raccomandazioni della Commissione.

In conformità a quanto previsto all’art. 7 del citato D. Lgs. 194/05, la Regione Emilia-Romagna, attraverso l’emanazione di specifiche delibere, ha provveduto a fare quanto necessario per lo svolgimento del primo ciclo di attuazione del D. Lgs. 194/05.

1.3 Riferimenti metodologici

Le presenti linee guida sintetizzano molte considerazioni e scelte metodologiche scaturite dall’esperienza compiuta nello svolgimento del primo ciclo di attuazione del D. Lgs. 194/05 in

Emilia-Romagna, al fine di fornire un riferimento a chi dovesse intraprendere gli ulteriori cicli di attuazione previsti dalla legislazione vigente per agglomerati urbani e assi stradali principali.

I riferimenti metodologici disponibili in materia sono sostanzialmente di quattro tipi:

1. i riferimenti di legge obbligatori (vedere la parte 5 – Riferimenti bibliografici);
2. le *Good Practice Guide* pubblicate dalla Commissione Europea [29], [33];
3. le linee guida alla mappatura acustica strategica pubblicate da UNI: UNI/TS 11387 [40];
4. comunicazioni presentate a congressi scientifici da tecnici coinvolti in analoghe attività di mappatura strategica e redazione di piani d'azione in altre regioni o altri stati (vedere il capitolo 5 – Riferimenti bibliografici).

Grazie alla partecipazione di esperti dell'Università di Bologna alle attività della Commissione "Acustica e Vibrazioni" dell'UNI è stato possibile seguire in tempo reale l'evoluzione delle linee guida UNI in modo da impostare il lavoro in maniera coerente con il testo pubblicato. In particolare, le linee guida UNI/TS 11387 [40] recepiscono, integrano ed adattano alla realtà italiana i punti salienti della *Good Practice Guide for strategic noise mapping* [29], per cui si pongono come il riferimento primario dei prossimi anni per questo tipo di attività. Si ricorda che scopo delle linee guida UNI è fornire ai soggetti responsabili delle attività di mappatura, individuati dal D. Lgs. 194/05, uno strumento tecnico operativo che espliciti i principi enunciati dalla direttiva europea 2002/49/CE in merito alle modalità di stesura delle mappe, per favorire la definizione di un approccio omogeneo ed uniforme alla valutazione del clima di rumore presente sul territorio nazionale.

Le bozze di alcuni documenti d'indirizzo circolati presso il Ministero dell'Ambiente – si veda ad esempio [13] – sono invece rimaste in uno stadio preliminare e non costituiscono un riferimento vincolante, ma solo raccomandazioni, peraltro non esaustive.

2. COME SODDISFARE I REQUISITI DELLA NORMATIVA VIGENTE

2.1 Definizione dei contenuti della mappatura acustica

La direttiva europea 2002/49/CE individua due contesti territoriali in cui è prevista l'elaborazione delle mappe acustiche:

- agglomerati urbani con più di 100 000 abitanti,
- “aree sensibili esterne agli agglomerati” (termine usato nella UNI/TS 11387), cioè aree esterne agli agglomerati interessate dal rumore delle infrastrutture di trasporto; le presenti linee guida trattano le aree attraversate da assi stradali principali (sui cui transitano più di 3 000 000 di veicoli all'anno nei due sensi di marcia).

Alla valutazione e rappresentazione del rumore ambientale negli agglomerati urbani viene dato il nome di “mappa acustica strategica”. Con questo termine si intende una mappa finalizzata alla determinazione globale o previsione generale dell'esposizione al rumore dovuta alla presenza di sorgenti sonore di varia natura:

- strade,
- ferrovie,
- aeroporti,
- siti di attività industriale, inclusi i porti.

Per ciascuna delle sorgenti sopra citate devono essere tracciate mappe acustiche distinte.

I gestori di infrastrutture viarie d'interesse nazionale trasmettono, ciascuno per quanto di propria spettanza, alle autorità competenti per gli agglomerati, designate dalla Regione, i dati richiesti dal D. Lgs. 194/05 relativamente agli agglomerati stessi; l'integrazione dei dati trasmessi nella mappa acustica strategica spetta all'autorità competente.

Al di fuori degli agglomerati, in corrispondenza delle aree sensibili, devono essere tracciate esclusivamente le mappe acustiche relative alle sorgenti sonore principali (strade, ferrovie, 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.

2.2 Requisiti minimi delle mappature acustiche e delle mappe acustiche strategiche

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

1. Le mappature acustiche 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. Le mappature acustiche 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 le mappature acustiche 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 le mappature acustiche, 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. Le mappature acustiche 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 si riportano i requisiti minimi che le mappature acustiche e le mappe acustiche strategiche devono soddisfare, 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.

2.2.1 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.

2.2.1.1 Agglomerati

Si distinguono due insiemi di dati da trasmettere alla Commissione Europea:

- A. dati generali;
- B. mappe acustiche.

A - Il primo insieme di **dati generali** deve comprendere le seguenti informazioni:

- una descrizione concisa dell'agglomerato: ubicazione, dimensioni, numero di abitanti;
- l'autorità competente;
- i programmi di contenimento del rumore attuati in passato e le misure antirumore in atto;
- i metodi di calcolo o di misurazione applicati.

B - Le **mappe acustiche** relative agli agglomerati riguardano il rumore emesso da:

- a. traffico veicolare;
- b. traffico ferroviario;
- c. traffico aeroportuale;

- d. siti di attività industriale, inclusi i porti;
- e. l'insieme di tutte le sorgenti sopra indicate: **mappa acustica strategica**.

Per ciascuna delle sorgenti sopra indicate devono essere tracciate mappe acustiche distinte. 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 [1]).

I numeri di persone vanno arrotondati al centinaio per eccesso o per difetto; per esempio, per valori compresi tra 5150 e 5249 si arrotonda a 5200; per valori compresi tra 50 e 149 si arrotonda a 100; per valori < 50 si arrotonda a 0.

Si dovrebbe inoltre specificare, ove possibile e opportuno, quante persone negli intervalli di cui sopra occupano abitazioni dotate di:

- **insonorizzazione speciale** dal particolare rumore in questione, ossia insonorizzazione speciale degli edifici da uno o più tipi di rumore ambientale, in combinazione con gli impianti di ventilazione o condizionamento di aria del tipo che consente di mantenere elevati valori di insonorizzazione dal rumore ambientale,
- una **facciata silenziosa**, ossia la facciata delle abitazioni in cui il valore di L_{den} a 4 m di altezza dal suolo e a 2 m di distanza dalla facciata, per i rumori emessi da una specifica sorgente, sia inferiore di oltre 20 dB a quello registrato sulla facciata avente il valore più alto di L_{den} .

Secondo il D. Lgs. 194/05, allegato 6, punto 1.6 b) [1], “*si dovrebbe precisare, inoltre, in che misura le principali sorgenti (strade principali, ferrovie principali ed aeroporti principali) contribuiscono ai fenomeni summenzionati in termini di popolazione esposta negli intervalli di L_{den} ed L_{night} sopra specificati*”. Questa richiesta si può interpretare in due modi distinti.

Secondo la prima interpretazione, si dovrebbe specificare qual è il contributo pro-quota di ogni singola sorgente sonora interessata all'esposizione della popolazione dichiarata. Ciò richiederebbe una valutazione della concorsualità non in termini di livelli sonori, come nel D.M. 29/11/2000 [8], ma in termini di popolazione esposta. Non essendo stabilita nelle disposizioni legislative e nelle norme tecniche volontarie una metodologia apposita, una valutazione di questo

genere rischia di essere arbitraria, con inevitabili riflessi sulla spartizione dei connessi oneri di risanamento, per cui allo stato attuale non è facilmente effettuabile.

Una seconda interpretazione invece vede questa richiesta come una semplice riaffermazione del fatto che la mappatura acustica di esposizione devono essere prodotte sia distinte per singola sorgente sia come mappa strategica; ognuna delle mappe per singola sorgente rappresenta anche il contributo di quella sorgente all'esposizione totale della popolazione e quindi risponde automaticamente alla richiesta. **Questa è l'interpretazione adottata nelle presenti linee guida.**

Per gli agglomerati, le mappe di esposizione dell'agglomerato sono obbligatorie in formato tabellare, ma non in formato grafico, ai sensi del D. Lgs. 194/05 (Allegato 6, punti 1.5 e 1.6).

Per gli agglomerati, le mappe di rumore in formato grafico dell'agglomerato sono obbligatorie ai sensi del D. Lgs. 194/05 (Allegato 6, punto 1.7). Nella rappresentazione grafica occorre includere almeno le curve isolivello a 60, 65, 70 e 75 dB.

2.2.1.2 Infrastrutture di trasporto principali

Si distinguono due insiemi di dati da trasmettere alla Commissione Europea:

C - dati generali;

D - mappe acustiche.

C - Il primo insieme di **dati generali** deve comprendere le seguenti informazioni:

- una descrizione generale della strada, della ferrovia o dell'aeroporto: ubicazione, dimensioni e flussi di traffico (benché il D. Lgs. 194/05 non richieda esplicitamente la fornitura dei dati georeferenziati relativi all'ubicazione delle infrastrutture, se ne consiglia la trasmissione secondo i formati previsti dalla Commissione Europea);
- una caratterizzazione dell'area circostante: agglomerati, paesi, campagna o altro, informazioni su assetto territoriale, altri principali sorgenti di rumore (la consegna di questi dati è opzionale nel caso in cui sia stata trasmessa l'informazione georeferenziata sull'ubicazione delle infrastrutture; vedere anche punto 3.5);
- i programmi di contenimento del rumore attuati in passato e le misure antirumore in atto;
- i metodi di calcolo o di misurazione applicati.

D - Le **mappe acustiche** relative alle infrastrutture di trasporto principali (strade, ferrovie ed aeroporti), da trasmettere alla Commissione Europea nella forma di **mappe di esposizione**, devono contenere le informazioni seguenti:

1. **numero totale stimato** (arrotondato al centinaio) di persone che occupano abitazioni situate al di fuori degli agglomerati, 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 situate al di fuori degli agglomerati, 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 2.6 [1]).

Si dovrebbe inoltre specificare, ove possibile e opportuno, quante persone negli intervalli di cui sopra occupano abitazioni dotate di:

- **insonorizzazione speciale** dal particolare rumore in questione, ossia insonorizzazione speciale degli edifici da uno o più tipi di rumore ambientale, in combinazione con gli impianti di ventilazione o condizionamento di aria del tipo che consente di mantenere elevati valori di insonorizzazione dal rumore ambientale,
 - una **facciata silenziosa**, ossia la facciata delle abitazioni in cui il valore di L_{den} a 4 m di altezza dal suolo e a 2 m di distanza dalla facciata, per i rumori emessi da una specifica sorgente, sia inferiore di oltre 20 dB a quello registrato sulla facciata avente il valore più alto di L_{den} .
3. **superficie totale**, in km², esposta a livelli di L_{den} rispettivamente maggiori di 55 dB, 65 dB e 75 dB. Occorre inoltre fornire 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. Tali dati possono essere derivati dalle mappe di esposizione (punto 2.4.3), ad esclusione dell'informazione sulla superficie totale esposta che deve essere desunta dalle mappe di rumore (punto 2.4.2).
 4. Occorre rappresentare anche le **curve isolivello 55 dB e 65 dB** su una o più mappe (mappe di rumore, punto 2.4.2), che devono comprendere informazioni sull'ubicazione di paesi, città e agglomerati all'interno delle curve isolivello (anche se non specificato dal D. Lgs. 194/05, è fortemente consigliabile trasmettere le curve isolivello in un formato elettronico georeferenziato per consentirne la rappresentazione su scala Europea. In mancanza di esplicite indicazioni da parte della Commissione Europea, la risoluzione suggerita per la restituzione delle aree delimitate da tali curve è compresa tra 500 m e 1 km).

I dati sopra elencati sono sinteticamente riassunti nelle tabelle 1 e 2.

Tabella 1. – Sintesi dei dati relativi alla mappatura acustica degli agglomerati da trasmettere alla Commissione Europea.

| |
|---|
| A - Dati generali |
| <ul style="list-style-type: none"> - descrizione concisa dell'agglomerato - autorità competente - programmi di contenimento del rumore attuati in passato e le misure antirumore in atto - metodi di calcolo o di misurazione applicati |
| B1 - Mappe acustiche (di esposizione) |
| <p>Distinte per ognuna delle seguenti tipologie di sorgente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. traffico veicolare b. traffico ferroviario c. traffico aeroportuale d. siti di attività industriale, inclusi i porti <p>Per l'insieme di tutte le sorgenti sopra indicate: mappa acustica strategica</p> <ul style="list-style-type: none"> - tipicamente in formato tabellare riportanti il numero totale stimato (arrotondato al centinaio) di persone che vivono in abitazioni esposte a determinati intervalli di L_{den} e L_{night} - completate, ove possibile e opportuno, dal numero di persone, negli stessi intervalli di L_{den} e L_{night}, che occupano abitazioni dotate di: <ul style="list-style-type: none"> a) insonorizzazione speciale dal particolare rumore in questione b) una facciata silenziosa |
| B2 - Mappe acustiche (di rumore) |
| <p>per l'insieme di tutte le sorgenti sopra indicate: mappa acustica strategica</p> <ul style="list-style-type: none"> - in formato grafico riportanti almeno le curve isolivello a 60, 65, 70 e 75 dB |

Tabella 2. – Sintesi dei dati relativi alla mappatura acustica delle infrastrutture di trasporto da trasmettere alla Commissione Europea.

| |
|---|
| C - Dati generali |
| - descrizione generale dell'infrastruttura - caratterizzazione dell'area circostante |
| È fortemente consigliabile georeferenziare le informazioni |
| D1 - Mappe acustiche (di esposizione) |
| - tipicamente in formato tabellare riportanti il numero totale stimato (arrotondato al centinaio) di persone che vivono in abitazioni esposte a determinati intervalli di L_{den} e L_{night} - completate, ove possibile e opportuno, dal numero di persone, negli stessi intervalli di L_{den} e L_{night} , che occupano abitazioni dotate di: a) insonorizzazione speciale dal particolare rumore in questione b) una facciata silenziosa |
| D2 - Mappe acustiche (di rumore) |
| - in formato grafico riportanti almeno le curve isolivello a 55 dB e 65 dB - superficie totale , in km ² , esposta a livelli di L_{den} rispettivamente maggiori di 55 dB, 65 dB e 75 dB. Occorre inoltre fornire il numero totale stimato di abitazioni, arrotondato al centinaio, ed il numero totale stimato di persone, arrotondato al centinaio, presenti in ciascuna zona |

2.2.2 Informazione al pubblico

Nell'ambito della direttiva 2002/49/CE il pubblico è coinvolto sotto un duplice aspetto: come soggetto interessato a conoscere sia le caratteristiche acustiche dell'ambiente in cui interagisce, sia le proposte dei piani d'azione; come soggetto chiamato a partecipare alla elaborazione dei piani d'azione, mediante consultazione, secondo le modalità descritte nell'art. 8 del D.Lgs. 194/05. Nell'ambito del presente capitolo l'informazione al pubblico si riferisce alla divulgazione dei risultati della mappatura.

L'informazione da trasmettere al pubblico deve includere i dati di cui al punto 2.2.1 supportati da ulteriori indicazioni e rappresentazioni grafiche dei risultati che consentano un'agevole ed immediata valutazione del clima acustico dell'area analizzata, quali:

- grafici;
- mappe di rumore (anche ad altezze diverse da quella di riferimento di 4 m, ove opportuno);

- mappe a livello globale, cioè a grande scala, che visualizzano i superamenti dei valori limite.

Si sottolinea che le mappe acustiche prescritte dalla END sono mappe globali che rappresentano la situazione su aree vaste; non hanno un livello di dettaglio tale da renderle realistiche anche a scala locale e non vanno interpretate in questo modo (cfr. fine del punto 2.3.1).

Per completezza, l'informazione al pubblico deve comprendere anche la descrizione delle strumentazioni e delle tecniche di misurazione impiegate per la redazione delle mappe, nonché la descrizione dei modelli di calcolo utilizzati e della relativa accuratezza.

2.2.3 Dati a supporto dell'elaborazione dei piani di azione

A supporto delle attività di pianificazione e progettazione degli interventi di risanamento occorre predisporre i seguenti elaborati (cfr. direttiva 2002/49/CE, allegato 4, comma 6):

- 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;
- 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);
- mappe di conflitto (i cui requisiti minimi sono contenuti nel punto 2.4.4);
- strati informativi, da associare alle mappe di conflitto, con i seguenti contenuti minimi:
 - descrizione della/e 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.

Ove opportuno le mappe acustiche, le mappe acustiche strategiche e le mappe di conflitto dovranno essere elaborate anche ad altezze diverse da quella di riferimento di 4 m (vedere anche quanto riportato alla fine del punto 2.2).

Per ulteriori dettagli sui formati e contenuti degli strati informativi vedere il punto 3.5.

2.3 Indicatori utilizzati per le mappature acustiche

Secondo le disposizioni vigenti, fino al momento in cui l'elaborazione di metodi di determinazione comuni per la definizione di L_{den} e L_{night} sarà resa obbligatoria, gli Stati membri possono usare, ai fini della mappatura acustica, dati espressi mediante i descrittori acustici nazionali (attualmente in Italia il livello equivalente ponderato A, L_{Aeq} ed il livello di valutazione

del rumore aeroportuale, L_{VA}), previa opportuna conversione nei descrittori comunitari. Tali dati non devono risalire a più di tre anni prima. I metodi di conversione ed i relativi limiti sono specificati nella UNI 11252 [37].

Nel corso del primo ciclo di mappatura, ai fini dell'elaborazione della mappatura acustica delle strade provinciali della Regione Emilia-Romagna percorse da più di 6 000 000 veicoli/anno e della mappatura acustica strategica dell'agglomerato di Bologna (più di 250 000 abitanti), si è scelto di utilizzare direttamente i descrittori acustici prescritti dalla Commissione Europea: L_{den} e L_{night} .

Ciò può generare un'apparente complicazione, in quanto per l'individuazione delle aree critiche i descrittori da confrontare con i limiti di rumore prescritti dalla legislazione vigente sono quelli stabiliti dai decreti attuativi alla Legge Quadro n. 447/95 [3], e cioè L_{Aeq} per tutte le sorgenti ad eccezione di quelle aeroportuali, per le quali vige l'indicatore L_{VA} . Si tratta comunque di un problema facilmente risolvibile, poiché è già previsto che i valori limite delle legislazioni nazionali dovranno essere traslati negli indicatori europei (D. Lgs. 194/05, art. 5). Quindi in ogni caso, anche in mancanza della prevista azione legislativa, si possono individuare valori limite espressi nei descrittori europei L_{den} e L_{night} , ai fini della determinazione delle aree critiche, come descritto nella parte 4 delle presenti linee guida (vedere punto 4.1).

Il livello giorno-sera-notte (*day-evening-night level*) L_{den} , espresso in decibel ponderati "A", è definito dalla seguente espressione, per quanto riguarda l'Italia (cfr. D. Lgs. 194/05, allegato 1):

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(14 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 2 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \quad (1)$$

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.

In alcuni casi il livello di rumore a 4 m può non essere rappresentativo dell'effettiva esposizione al rumore dei ricettori. In tali casi è consigliabile, anche se non obbligatorio, effettuare delle valutazioni anche ad altezze diverse da 4 m per consentire di individuare le effettive criticità ed elaborare in maniera appropriata i 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.

2.3.1 Esclusione del suono riflesso dalla facciata del ricettore

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*”.

Ciò costituisce una novità rispetto alla prassi stabilita dalla previgente legislazione italiana e può dar luogo ad equivoci, per cui è bene precisare che quando si parla di riflessioni nella propagazione del suono in ambiente esterno si possono intendere tre tipi diversi di contributi:

- la riflessione del suono sul terreno;
- le riflessioni multiple del suono sugli oggetti riflettenti, quali edifici, barriere acustiche, muri contro terra o di confine, ecc.;
- la riflessione del suono sulla facciata dell’edificio considerato come ricettore.

Il primo tipo di contributo è trattato nei programmi di calcolo con un termine specifico, indicato in genere come “termine di effetto suolo” (*ground effect*), è essenziale per la corretta determinazione del valore finale e non deve **mai** essere escluso. Nelle misurazioni è impossibile escluderlo.

Il secondo tipo di contributo è trattato nei programmi di calcolo mediante l’inclusione delle riflessioni, in genere suddivise per ordini successivi; si parla cioè di riflessioni del primo ordine (il suono proveniente dalla sorgente si riflette su di un oggetto), del secondo ordine (riflessioni di suono proveniente da una riflessione precedente), del terzo ordine, ecc. Per avere una precisione accettabile la letteratura tecnica raccomanda concordemente di includere nel calcolo almeno le riflessioni del primo ordine; per esempio, in un ambiente costruito, come all’interno degli agglomerati, le riflessioni multiple sono una componente essenziale della propagazione e quindi escluderle causerebbe una grave sottostima dei livelli sonori. Nelle misurazioni è impossibile escludere tali riflessioni multiple. Il D. Lgs. 194/05, quando parla di escludere il “suono riflesso dalla facciata” **non** si riferisce a tali componenti.

Il terzo tipo di contributo proviene esclusivamente dalla singola facciata del ricettore considerato. Ad esso solamente si riferisce Il D. Lgs. 194/05 quando parla di escludere il “suono riflesso dalla facciata” (cfr. anche *Good Practice Guide* [29]).

Riguardo al tipo di azione da intraprendere, in funzione del tipo di calcolo di simulazione impostato, occorre poi precisare che i software per la previsione del rumore in ambiente esterno consentono, generalmente, le seguenti tipologie di simulazione:

- a) calcolo su di un insieme di punti ricettori posizionati nei nodi di una **griglia** orizzontale, a maglia regolare od a maglia variabile in funzione della variabilità e complessità del campo acustico, ad un’altezza prefissata di 4 m dal suolo in accordo alla END;
- b) calcolo su di un insieme di punti ricettori posizionati automaticamente **in facciata** agli edifici selezionati (tipicamente alla distanza di 1 m dalla facciata) ad un’altezza prefissata di 4 m dal suolo in accordo alla END;
- c) calcolo su alcuni punti ricettori **singoli** posizionati manualmente.

Con il primo tipo di calcolo risulta impossibile escludere le riflessioni su di una specifica facciata e quindi i livelli di rumore calcolati tengono conto anche della riflessione in facciata; ciò

è in accordo con la previgente legislazione italiana ma non con il D. Lgs. 194/05 per quanto riguarda la determinazione delle mappe di esposizione.

Con il secondo tipo di calcolo è possibile associare ad ogni edificio esaminato i livelli di rumore *incidente* in facciata, escludendo la riflessione sulla facciata stessa in accordo al D. Lgs. 194/05 per quanto riguarda la determinazione delle mappe di esposizione.

Il terzo tipo di calcolo viene utilizzato solo per indagare situazioni particolari e/o per calibrare il modello sulla base di misurazioni in situ; è possibile includere o escludere la riflessione su di una specifica facciata.

Alla luce di quanto sopra, nella determinazione dei valori dei descrittori acustici occorre procedere come segue:

1. Determinazione tramite calcolo ai fini della generazione di una mappa di rumore:

1.1. *includere l'effetto del suolo,*

1.2. *includere le riflessioni multiple almeno al primo ordine,*

1.3. *includere la singola riflessione sulla facciata del ricettore.*

Quanto richiesto al punto 1.3 può essere effettuato tramite un calcolo secondo l'opzione a) precedente.

2. Determinazione tramite calcolo ai fini della generazione di una mappa di esposizione:

2.1. *includere l'effetto del suolo,*

2.2. *includere le riflessioni multiple almeno al primo ordine,*

2.3. *escludere la singola riflessione sulla facciata del ricettore.*

Quanto richiesto al punto 2.3 può in genere essere effettuato tramite un'opzione del software (in alcuni dei programmi più diffusi essa è applicabile in presenza di una sola sorgente, ma non quando esistono più sorgenti attive); in caso contrario deve essere effettuato in fase di post-elaborazione sottraendo 3 dB ai valori calcolati in ogni punto "ricettore" (cfr. *Good Practice Guide* [29]).

3. Determinazione tramite misurazioni di una mappa di rumore:

3.1. *sottrarre 3 dB dai valori misurati al ricettore.*

La considerazione dei valori limite con i quali confrontare i valori calcolati deve tenere conto del tipo di calcolo o misurazione effettuato, specialmente se si utilizzano i valori limite italiani convertiti nei corrispondenti valori limite espressi tramite i descrittori europei L_{den} e L_{night} ; a questo proposito si veda il punto 4.1.

Si noti anche che la correzione per la riflessione sulla specifica facciata del singolo ricettore, richiesta dalla END, può produrre effetti distorcenti sulla rappresentazione grafica del campo sonoro a scala locale, cioè a scala molto ridotta. Infatti nella realtà la distribuzione dei livelli sonori in ambiente esterno varia con continuità. La sottrazione dei 3 dB canonici ai livelli sonori in prossimità di una specifica facciata altera i valori ad 1 m da essa, ma non quelli circostanti. In una rappresentazione grafica della situazione a scala molto ridotta ciò causa una

discontinuità delle curve isolivello di rumore che non trova riscontro nella realtà. Fortunatamente le mappe acustiche richieste dalla END sono mappe a grande scala di rappresentazione e quindi tale discontinuità non è percepibile. Può tuttavia emergere nella fase di elaborazione dei piani d'azione progettuali dove possono essere necessarie rappresentazioni grafiche a scala ridotta.

A questo proposito è bene sottolineare che le mappe acustiche prescritte dalla END sono mappe globali che non hanno un livello di dettaglio tale da renderle realistiche anche a scala locale e non vanno dunque interpretate a questo livello; tra l'altro gli stessi dati di input disponibili non sono così dettagliati da assumere validità locale e se lo fossero richiederebbero tempi di calcolo eccessivi e sproporzionati allo scopo. Rappresentazioni valide a scala molto ridotta sono generate solo nelle ultime fasi di elaborazione dei piani d'azione progettuali ("progettazione esecutiva"), sulla base di molte informazioni dettagliate che, per ovvie considerazioni di tempi e di budget, è opportuno acquisire solo per ricettori critici soggetti a specifici interventi di mitigazione acustica.

2.4 Tipologie di mappe acustiche e modalità di rappresentazione

Il termine "mappatura acustica" (*noise mapping*) utilizzato nel D. Lgs. 194/05 (direttiva 2002/49/CE) può prestarsi a diverse interpretazioni, per cui conviene chiarire quali siano le diverse tipologie di mappe acustiche, obbligatorie o semplicemente consigliate, in relazione agli obiettivi della mappatura.

2.4.1 Mappe acustiche nelle definizioni del D. Lgs. 194/05

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

- **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;
- **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 singole sorgenti, come nel caso di un

agglomerato urbano che comprende strade, ferrovie, attività industriali ed eventualmente aeroporti.

Entrambe le definizioni comprendono indifferentemente rappresentazioni dei dati in formato **grafico**, in formato **tabulare** o in formato **elettronico**, e dunque assumono un significato più ampio di quello comunemente attribuito ai termini italiani “mappa” e “mappatura”, utilizzati quasi sempre per indicare una rappresentazione grafica (la situazione è analoga per il termine inglese “*mapping*” utilizzato nel testo inglese di riferimento della direttiva europea 2002/49/CE).

E’ importante sottolineare che nella pratica sono utilizzate diverse tipologie di mappe acustiche e mappe acustiche strategiche:

- mappe di rumore: rappresentano i livelli di rumore esistenti o futuri in una data area;
- mappe di esposizione: rappresentano il numero di abitanti o abitazioni esposte a determinati valori degli indicatori acustici.
- mappe di conflitto: rappresentano le aree in cui avviene il superamento dei valori limite a seguito del confronto con i livelli di rumore stimati;
- mappe di priorità: rappresentano le aree in cui è prioritario mettere in atto interventi di mitigazione acustica, in funzione di un indicatore di priorità che tenga conto sia dei livelli di rumore che del numero di abitanti o abitazioni esposte.

Tutte queste tipologie di rappresentazione sono utili per completare soddisfacentemente le attività prescritte dal D. Lgs. 194/05, che comprendono non solo la mappatura acustica ma anche i piani d’azione, e sono quindi brevemente descritte nei paragrafi seguenti.

Si noti anche che il D. Lgs. 194/05 richiede *esplicitamente* un insieme *minimo* di mappe acustiche, ma non specifica operativamente come ottenerle nei dettagli e quindi non esclude affatto che per ottenere le mappe esplicitamente richieste se ne debbano produrre altre intermedie, funzionali all’obiettivo anche se non esplicitamente prescritte.

2.4.2 Mappe di rumore

Le mappe di rumore sono delle rappresentazioni che visualizzano il clima acustico esistente o futuro in una data area, a seguito delle valutazioni eseguite attraverso modelli di calcolo previsionale o campagne di monitoraggio (cfr. D. Lgs. 194/05, allegato 4, comma 1, punto a)). Nel caso in cui rappresentino scenari futuri, tali mappe sono ovviamente ottenute da modelli di calcolo.

Esse non sono il punto di arrivo delle attività di mappatura acustica, ma ne costituiscono un passo intermedio indispensabile. La loro rappresentazione grafica è **obbligatoria** quantomeno per gli assi stradali e ferroviari principali e gli aeroporti principali (D. Lgs. 194/05, allegato 6, punto 2.7).

Le mappe di rumore devono essere tracciate valutando il livello sonoro (L_{den} e L_{night}) ad un'altezza standard, pari a 4 m secondo il D. Lgs. 194/05 (cfr. punto 2.2), in corrispondenza di punti opportunamente spaziatati su una griglia di calcolo o di rilievo fonometrico adatta al contesto analizzato. La tabella 3 riporta i passi della griglia raccomandati in alcune situazioni. Il calcolo dei livelli di rumore deve tenere conto almeno delle riflessioni del primo ordine (cfr. punto 2.3.1).

I risultati prodotti dalle valutazioni sono riportati su mappe cromatiche o tratteggiate, sulle quali devono essere tracciate anche le curve isolivello per multipli di 5 dB.

Dalle mappe di rumore si desume l'estensione della superficie esposta a determinati intervalli dell'indicatore L_{den} , come richiesto dalla END per gli assi stradali e ferroviari principali e gli aeroporti principali (D. Lgs. 194/05, allegato 6, punto 2.7).

Tabella 3. – Tipologie di griglia raccomandate per la valutazione dei livelli di rumore in funzione dell'area analizzata

| Contesto ambientale | Passo della griglia |
|--|----------------------------|
| Agglomerato urbano | ≤ 10 m * |
| Ambito extraurbano, aree aperte | ≤ 30 m |
| Intorno aeroportuale | ≤ 100 m |
| <i>NOTA * In ambiti urbani è consigliabile adottare un passo della griglia < 10 m</i> | |

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. Inoltre sono un input indispensabile per generare le mappe di esposizione (cfr. punto 2.4.3) obbligatorie, che quantificano il numero di abitanti e abitazioni esposte a tale rumorosità. Il calcolo delle mappe di rumore è poi indispensabile per generare le mappe di conflitto (cfr. punto 2.4.4) e le mappe di priorità (cfr. punto 2.4.5).

2.4.3 Mappe di esposizione

Le mappe di esposizione sono delle rappresentazioni che quantificano, generalmente in formato tabulare, il numero di abitanti e abitazioni esposte a determinati valori degli indicatori acustici. 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 dei livelli sonori stimati su di una quota più o meno ampia di 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)).

Per ricavare le mappe di esposizione conformemente al D. Lgs. 194/05 bisogna partire dalle mappe di rumore in termini di L_{den} ed L_{night} ed incrociarle con i dati sulla distribuzione della popolazione.

Poi, con strumenti GIS o all'interno dello stesso software di simulazione acustica, si ricava il numero di abitazioni e/o di abitanti esposti a specifici valori dell'indicatore acustico considerato, corretto per la componente riflessa.

La facciata più esposta coincide con la facciata in cui è stato rilevato o calcolato il massimo livello di rumore. Tale facciata può essere individuata applicando il criterio della minima distanza dalla sorgente sonora soltanto nel caso in cui sia presente nell'area analizzata un'unica sorgente. Se sono presenti più sorgenti e l'area è morfologicamente complessa, l'individuazione della facciata più esposta richiede la verifica dei livelli di rumore incidenti (solo componente diretta) su tutte le facciate dell'edificio.

Per l'individuazione della facciata più esposta la *Good Practice Guide* [29] 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).

L'espressione "*i punti prescelti per il calcolo del rumore sono posti ... sulla facciata più esposta*" usata nel D. Lgs. 194/05, allegato 1, non deve essere fraintesa: i punti ricettori non devono essere collocati a contatto della superficie di facciata, poiché ciò darebbe luogo ad una netta variazione dei livelli calcolati o misurati (inoltre alcuni software di calcolo possono dare valutazioni fortemente errate in una tale situazione). Basandosi su quanto detto nel D. Lgs. 194/05, allegato 6, punto 1.5 b), per le facciate silenziose ed estendendolo per analogia a tutte le facciate in generale, i punti ricettori della griglia di calcolo, o le posizioni microfoniche in caso di rilievo fonometrico, vanno collocati ad una distanza di 1-2 m dalle stesse (e ad una quota di 4 m). Tale interpretazione è supportata non solo da considerazioni fisiche sull'anomalia di posizioni microfoniche a diretto contatto con le superfici di facciata, ma anche dalla lettura della versione di riferimento in inglese della END, che usa l'espressione "*at the façade*" in entrambi i casi (facciata più esposta e facciata silenziosa).

Nell'eseguire la valutazione devono essere considerate almeno le riflessioni del primo ordine prodotte dagli altri edifici presenti nell'area (cfr. punto 2.3.1). Alla facciata più esposta è assegnato il massimo livello di rumore rilevato.

L'assegnazione dei livelli di rumore alle unità abitative dipende dall'informazione disponibile sulla distribuzione delle abitazioni negli edifici presenti nell'area analizzata. Se l'edificio è composto da più unità abitative e se ne conosce la distribuzione all'interno dell'edificio, ad ogni abitazione deve essere assegnato il livello di rumore corrispondente alla facciata più esposta dell'abitazione. Se non si conosce, invece, la distribuzione delle unità

abitative, si assegna cautelativamente a tutte le unità abitative, e quindi all'intero edificio, il livello di rumore massimo corrispondente alla facciata più esposta dell'edificio.

Se il livello di facciata viene desunto da mappe di rumore calcolate su di una griglia regolare di punti, alle unità abitative/edifici è assegnato il massimo livello di rumore associato alle celle della griglia che intersecano le facciate delle unità abitative/edifici, opportunamente corretto (-3 dB per eliminare la componente riflessa dalla parete retrostante). In tal caso l'accuratezza del calcolo può risentirne, in funzione del passo della griglia di calcolo (cfr. tabella 3), in quanto una griglia troppo larga non consente di stimare con grande precisione il livello sonoro in prossimità di una facciata non troppo estesa. Valgono inoltre le considerazioni sull'effetto della correzione per eliminare la componente riflessa dalla singola facciata del ricettore riportate alla fine del punto 2.3.1.

2.4.4 Mappe di conflitto

Le mappe di conflitto sono delle rappresentazioni, generalmente grafiche, che visualizzano le aree in cui avviene il superamento dei valori limite a seguito del confronto con i livelli di rumore stimati. 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 degli interventi.

Il conflitto può essere valutato in termini globali, tenendo conto di tutte le sorgenti presenti, oppure per singole tipologie di sorgente (strade, ferrovie, aeroporti, insediamenti industriali), in funzione della mappa a cui il conflitto si riferisce (mappa acustica strategica o mappa acustica relativa ad una sorgente specifica).

La valutazione dei contributi da attribuirsi alle sorgenti che concorrono al conflitto si esegue secondo le procedure indicate in seguito.

Le mappe di conflitto includono tutti gli elementi cartografici e geometrici contenuti nelle mappe di rumore da cui derivano; in particolare, devono indicare l'individuazione e localizzazione delle aree in cui si verifica il conflitto.

Gli elaborati, su base cartografica, devono includere almeno i seguenti contenuti:

- localizzazione e tipologia dei ricettori;
- localizzazione delle aree di conflitto, distinguendo tra loro le aree di conflitto in funzione dell'entità del superamento, valutato per intervalli multipli di 5 dB(A) (vedere l'esempio di figura 1).

In aggiunta alla rappresentazione grafica ed ai fini di una successiva stima in fase di pianificazione del numero di persone beneficiarie dagli interventi, può essere consigliabile – anche se non richiesto dal D. Lgs. 194/05 – fornire delle schede informative di supporto in cui, per ogni area di superamento, è indicato il numero di ricettori esposti al superamento dei limiti per multipli di 5 dB(A).

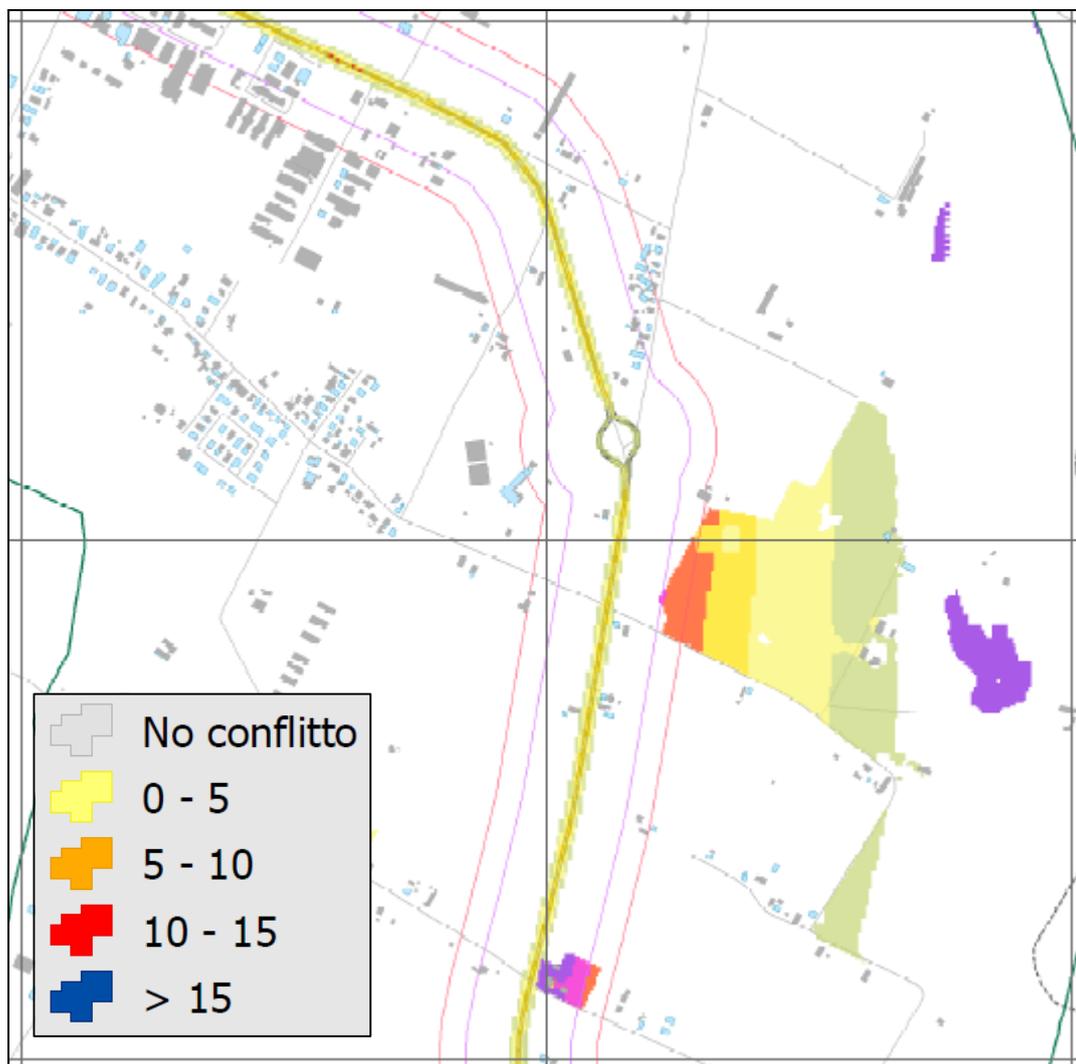


Figura 1 – Esempio di mappa di conflitto per l'indicatore L_{night} (coincidente con l'indicatore $L_{\text{Aeq,notturno}}$ della legislazione italiana a meno della correzione per il suono riflesso dalla facciata del ricettore) per un tratto della S.P. 4 “del Bidente” nella Provincia di Forlì-Cesena.

2.4.5 Mappe di priorità

Le mappe di priorità sono delle rappresentazioni, generalmente in formato grafico, che visualizzano le aree più critiche in cui è prioritario mettere in atto interventi di mitigazione acustica, in funzione di un indicatore di priorità che tenga conto sia dei livelli di rumore che del numero di abitanti o abitazioni esposte.

L'efficacia di una mappa di priorità dipende fortemente dal tipo di indicatore di priorità scelto.

Le mappe di priorità non sono obbligatorie ai sensi del D. Lgs. 194/05, ma costituiscono uno strumento indispensabile per individuare in maniera chiara ed oggettiva le aree critiche su

cui intervenire in fase di pianificazione degli interventi di mitigazione, nonché per riordinarle in funzione della gravità della situazione.

Le mappe di criticità non sono utilizzate nella fase di mappatura acustica trattata nelle presenti linee guida; sono invece utilizzate nella fase di elaborazione dei piani d'azione.

2.5 Aggiornamento delle mappe

In base al D. Lgs. 194/05, art. 3, comma 6, *“le mappe acustiche strategiche e la mappatura acustica ... sono riesaminate e, se necessario, rielaborate almeno ogni cinque anni dalla prima elaborazione”*.

Sempre il D. Lgs. 194/05, all'art. 4, comma 6, recita: *“l'autorità individuata dalla regione o dalla provincia autonoma competente e le società e gli enti gestori di servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture riesaminano e rielaborano i piani d'azione ... ogni cinque anni e, comunque, ogni qualvolta necessario e in caso di sviluppi sostanziali che si ripercuotono sulla situazione acustica esistente”*.

Dunque le mappe acustiche devono essere aggiornate almeno ogni cinque anni, a partire dal 30 giugno 2007. L'aggiornamento deve avvenire in anticipo in caso di “sviluppi sostanziali” che obblighino ad aggiornare i piani di azione, e di conseguenza ad aggiornare le mappe acustiche ad essi associate.

Per “sviluppi sostanziali” si intendono l'inserimento nel territorio di nuove sorgenti di rumore, il potenziamento o la dismissione di sorgenti esistenti che apportino una significativa variazione dei livelli di rumore [40]. Nello specifico, in relazione alle diverse sorgenti sonore, ci si riferisce a:

1. infrastrutture lineari: messa in esercizio di nuove infrastrutture, dismissione o potenziamento e/o allargamento di infrastrutture esistenti rispondenti ai requisiti di cui al D. Lgs. 194/05, modifiche al piano urbano del traffico, istituzione di zone a traffico limitato (ZTL), messa in opera di superfici stradali a bassa rumorosità (cosiddetti “asfalti fonoassorbenti”), significative variazioni del materiale rotabile circolante su di una linea ferroviaria;
2. aeroporti: costruzione di nuove aerostazioni, ampliamento, potenziamento o dismissione di strutture esistenti, alterazioni dei livelli di rumore percepiti dovuti a modificazioni nelle procedure di decollo e di atterraggio, significative variazioni dei flussi di traffico, delle rotte e delle flotte di aeromobili;
3. siti di attività industriale, inclusi i porti: insediamento di nuovi plessi industriali, dismissione o potenziamento delle attività già presenti sul territorio corrispondenti ad una significativa variazione della potenza sonora emessa.

In linea di principio quindi dovrebbero essere considerati anche “sviluppi sostanziali” in senso positivo, quali per esempio gli interventi citati al punto 1 precedente, anche se in pratica i tempi di realizzazione di tali interventi superano spesso i tempi previsti per un ulteriore ciclo di mappatura, per cui la necessità di un aggiornamento anticipato verrebbe a cadere.

3. IL PROCESSO DI MAPPATURA ACUSTICA IN PRATICA

L'iter procedurale di mappatura acustica può essere schematicamente scomposto in sei fasi fondamentali:

1. raccolta dei dati informativi e territoriali (cfr. punto 3.1);
2. predisposizione del sistema di calcolo per la stima dei livelli sonori (cfr. punto 3.2, 3.3, 3.4.7);
3. monitoraggio acustico ai fini della calibrazione del modello (cfr. punto 3.4.7);
4. elaborazione delle mappe acustiche e, nel caso degli agglomerati, delle mappe acustiche strategiche (cfr. punto 3.4);
5. predisposizione dei risultati secondo i formati stabiliti dagli organi competenti (cfr. punto 3.5);
6. divulgazione dei risultati della mappatura (informazione al pubblico) (cfr. punto 3.6.1.).

Le fasi 2 e 3 possono essere svolte indipendentemente l'una dall'altra, anche in parallelo.

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

Nel diagramma di flusso riportato nella figura 2 sono esplicitate in forma schematica le fasi di cui si compone l'iter di mappatura e i punti delle presenti linee guida a cui riferirsi per una completa descrizione dei requisiti e degli approcci metodologici attinenti l'esecuzione dei diversi passi operativi indicati.

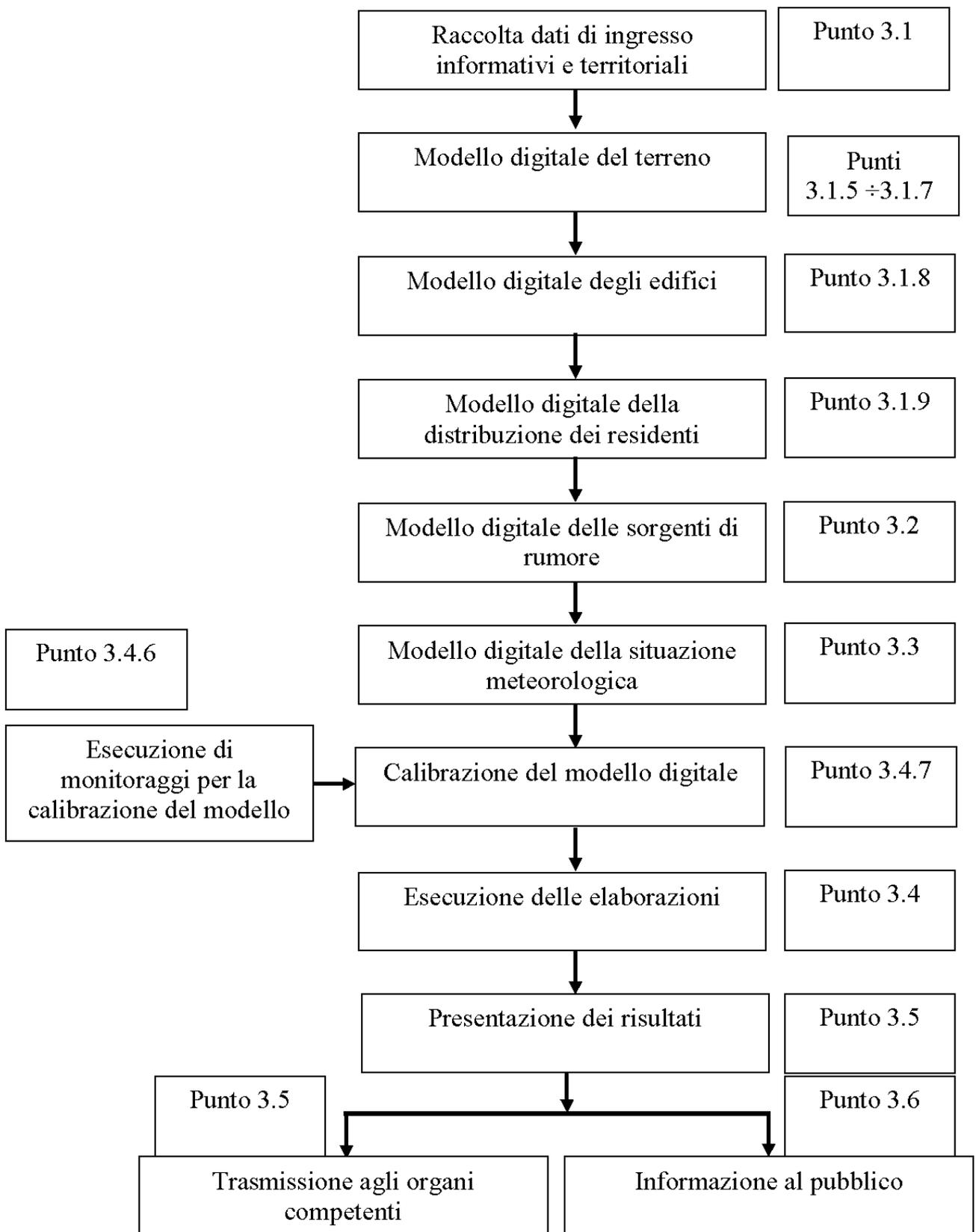


Figura 2 - Schema dell'iter procedurale di mappatura acustica.

3.1 Raccolta dei dati informativi e territoriali

3.1.1 Individuazione dei responsabili della fornitura dei dati di input

Nella pratica il reperimento dei dati si è rivelato il maggior elemento di criticità, pur in un contesto di attività obbligatorie disposte da una direttiva comunitaria e da un decreto legislativo, che coinvolge enti pubblici o grandi gestori di infrastrutture dei trasporti con precise responsabilità. Pertanto si evidenzia come **il reperimento dei dati di input rappresenti un fattore critico primario** e si raccomanda la massima tempestività nella **individuazione dei responsabili/referenti** per ogni agglomerato urbano e per ogni Provincia e – quando possibile – per ogni gestore di infrastruttura di trasporto.

3.1.2 Periodo temporale di riferimento dei dati di input

Il D. Lgs. 194/05 (art. 3, comma 1) richiede che la mappatura acustica sia per quanto possibile relativa ad un anno fissato: per il primo ciclo di mappatura l'anno di riferimento è il 2006, cioè **l'anno precedente a quello in cui la mappatura deve essere consegnata**; per i successivi cicli ci si dovrebbe quindi riferire agli anni 2011, 2016, ... Nel caso sia necessario anticipare la mappatura acustica, l'anno di riferimento è quello precedente a quello in cui la mappatura è consegnata.

Da un punto di vista pratico, non si può ignorare che i dati disponibili si riferiscono quasi sempre a periodi temporali diversi tra loro e diversi per ogni caso: per esempio, le Province possono avere dati con diverso aggiornamento per i diversi archi stradali di loro competenza, oppure gli agglomerati urbani possono presentare situazioni complesse dove l'aggiornamento dei diversi strati informativi (edifici, residenti, uso del suolo, traffico privato e pubblico, ecc.) non è coincidente, anche perché dipende da uffici diversi con diverse priorità e limiti di budget.

In altre parole, **nella pratica spesso non si ha un unico anno di riferimento, ma piuttosto un arco temporale di alcuni anni**. Ovviamente il periodo temporale al quale si riferiscono i risultati discende da quello dei dati di input.

Nella pratica occorre quindi:

1. fissare un limite temporale di riferimento, in accordo quanto più possibile con il D. Lgs. 194/05, oltre il quale i dati non sono accettati;
2. richiedere che i dati forniti siano quanto più aggiornati possibile, compatibilmente con il punto 1 precedente;
3. dichiarare esplicitamente:
 - a) l'anno limite di riferimento;
 - b) il periodo temporale al quale si riferiscono i risultati.

3.1.3 Criteri di individuazione delle aree da mappare

L'estensione dell'area da mappare è determinata in funzione del contesto applicativo: agglomerati o infrastrutture di trasporto principali.

Agglomerati: secondo la direttiva 2002/49/CE, la mappatura deve essere estesa a tutto l'agglomerato, entro i confini territoriali specificamente indicati dalla Regione.

In linea di principio esistono ampi margini di discrezionalità nella scelta dei confini dell'agglomerato, che non coincide necessariamente con un singolo Comune. Esistono infatti due possibilità:

1. l'agglomerato è delimitato dai confini amministrativi di un singolo Comune; è una scelta che può generare problemi tecnici, per esempio perché il confine amministrativo del comune potrebbe intersecare un'area urbanizzata e densamente abitata, della quale verrebbe così considerata solo una parte, escludendo l'altra.
2. l'agglomerato include un Comune principale e tutti quelli limitrofi che costituiscono insieme ad esso un'unità, territoriale, urbanistica, economica e sociale senza soluzione di continuità; è una scelta che richiede un attento coordinamento delle responsabilità ed esigenze delle diverse amministrazioni; il Comune principale può – ma non deve necessariamente – fungere da capofila nell'interfaccia con la Regione e da collettore dei dati dei Comuni limitrofi.

La scelta della delimitazione degli agglomerati è operata dalla Regione competente e comunicata al Ministero dell'Ambiente; da questo momento costituisce un dato acquisito in funzione del quale impostare la mappatura acustica strategica.

Indicazioni tecniche a supporto di tale scelta in funzione delle caratteristiche di urbanizzazione del territorio si possono trovare nella UNI/TS 11387, punto 9.2.1 [40].

Infrastrutture di trasporto principali: secondo la direttiva 2002/49/CE, l'estensione dell'area da mappare comprende tutte le porzioni di territorio caratterizzate da valori dell'indicatore $L_{den} \geq 55$ dB (è matematicamente dimostrabile che in tale area è sempre compresa l'area in cui il valore di $L_{night} \geq 50$ dB).

In linea di principio ciò richiede uno *screening* preliminare per individuare l'area da mappare prima del calcolo dettagliato dell'indicatore L_{den} . Nel toolkit 1 della *Good Practice Guide* [29], ripreso nell'appendice A della UNI/TS 11387 [40], 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.

In alternativa, si può applicare il seguente criterio cautelativo (già utilizzato nel primo ciclo di mappatura acustica strategica della Regione Emilia-Romagna): per strade e ferrovie, estendere la mappatura acustica su di **un'area buffer estesa 1 km da ogni lato dell'infrastruttura** considerata, inclusi i punti terminali di “testa” e di “coda”. Infatti, ad una

distanza di 1 km i livelli di L_{den} prodotti da questo tipo di infrastrutture sono sicuramente inferiori ai 55 dB.

3.1.4 Formati informatici di riferimento per i dati di input

I modelli di calcolo utilizzati per la mappatura acustica richiedono l'acquisizione in forma vettoriale e **georeferenziata** delle informazioni riguardanti le caratteristiche geometriche e morfologiche dell'area da mappare. Nei modelli più comunemente utilizzati i dati necessari per la stima dei livelli di pressione sonora comprendono:

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.

I formati informatici di riferimento sono elencati di seguito.

Formato della cartografia digitale:

- *shapefile*, correttamente georeferenziato nel sistema di riferimento WGS84, proiezione UTM;
- le informazioni minime contenute possono essere dentro alle tabelle attributi (*file .dbf*) degli *shapefile*; in questo caso si richiede una nota sintetica esplicativa dei vari campi (informato elettronico), in modo da evitare erranee interpretazioni dei codici o delle abbreviazioni usate. Di seguito vengono elencate in dettaglio le informazioni minime.

Modello digitale del terreno:

- *shapefile*, correttamente georeferenziato nel sistema di riferimento WGS84, proiezione UTM; informazioni minime contenute:
 - linee di elevazione e/o punti quota (se disponibili), con risoluzione di almeno 10 m, in scala 1:5000 per le strade provinciali e scala 1:2000 per gli agglomerati;

- per quanto riguarda le strade provinciali, la cartografia digitale deve comprendere una zona *buffer* attorno alle infrastrutture estesa almeno 1 km, sia da ogni lato che rispetto all'inizio ed alla fine del tratto interessato;
- destinazione d'uso del suolo, compatibile con *Corine land cover* [73], [75].

Edifici:

- *shapefile*, correttamente georeferenziato nel sistema di riferimento WGS84, proiezione UTM; informazioni minime contenute:
 - planimetria degli edifici;
 - altezze degli edifici e possibilmente numero di piani;
 - destinazione d'uso o almeno differenziazione tra edifici ad uso abitativo e non;
 - evidenziazione degli edifici "sensibili" (scuole ed ospedali e assimilati).

Strade:

- *shapefile*, correttamente georeferenziato nel sistema di riferimento WGS84, proiezione UTM; informazioni minime contenute:
 - tipologia delle strade;
 - tracciato delle strade;
 - numero di corsie;
 - indicazione georeferenziata dei punti di inizio e fine di ognuno dei tratti in esame;
 - andamento planoaltimetrico, o almeno indicazione dei tratti in trincea, piano, rilevato e delle relative quote;
 - tipologia del manto stradale e stato di manutenzione.

Flussi di traffico:

- flussi di traffico suddivisi in almeno due categorie di veicoli (veicoli leggeri e veicoli pesanti);
- valori della velocità media per ogni tipologia di veicoli;
- se disponibili, andamento orario e settimanale dei flussi di traffico.

Popolazione residente:

- *shapefile*, correttamente georeferenziato nel sistema di riferimento WGS84, proiezione UTM; informazioni minime contenute:
 - numero di residenti per ogni edificio ad uso abitativo;
 - in alternativa: numero di residenti per numero civico su file georeferenziato sovrapponibile a quello degli edifici.

3.1.5 Individuazione della base cartografica

Le basi cartografiche da utilizzare per la mappatura acustica devono essere aggiornate all'anno di riferimento e contenere gli elementi descrittivi di cui al precedente punto 3.1.4, in formato vettoriale.

Le basi cartografiche possono essere rilevate e restituite attraverso tecniche di diverso tipo (aerofotogrammetria, scansione laser, stereoscopi, ecc.), con livelli di precisione ed accuratezza dipendenti dalla tecnica impiegata e dal grado di risoluzione richiesto. Se disponibili unicamente in formato *raster* (ortofoto digitali, CTR, ecc.), le basi cartografiche possono in linea di principio essere vettorializzate attraverso una lenta operazione manuale o semi-automatica di digitalizzazione degli elementi necessari, ma in pratica tale procedura assorbe troppo tempo per cui se ne sconsiglia l'utilizzo.

3.1.6 Andamento altimetrico del terreno

L'andamento altimetrico del terreno può essere estratto da:

- a) rilievi aerofotogrammetrici, in cui sono riportate curve di livello e punti quotati;
- b) *Digital Terrain Model* (DTM) con risoluzione pari o minore di 10 m;
- c) strati informativi (*shapefile*) che riportano curve di livello o punti quotati.

Nel caso in cui l'andamento altimetrico del terreno sia rappresentato mediante curve di livello si considera adeguato un passo non superiore a 10 metri di quota (cfr. *Good Practice Guide* [29], toolkit 11).

L'informazione relativa all'andamento altimetrico del terreno può essere considerata sostanzialmente stabile nel tempo, per cui non sono richieste specifiche modalità di aggiornamento.

L'esperienza compiuta nel corso del primo ciclo di mappatura acustica nella Regione Emilia-Romagna permette di proporre le seguenti raccomandazioni.

1. Per le strade provinciali usare di preferenza la cartografia digitale regionale fornita dal Servizio Cartografico della Regione Emilia Romagna in formato *shapefile*. Quando questa non copre le zone interessate dalla mappatura acustica o presenta una bassa densità di punti, usare le griglie *raster* del DTM fornite dallo stesso Servizio Cartografico.
2. Per gli agglomerati, usare di preferenza la cartografia digitale comunale. Se questa non copre tutta l'area dell'agglomerato, occorre collegarla alla cartografia digitale regionale per la parte non coperta. In tal caso, bisogna preliminarmente proiettare i dati nel sistema di riferimento WGS84 richiesto per l'invio dei dati dalla Commissione Europea, quindi controllare la quota di alcuni punti adiacenti, presenti in entrambe le cartografie comunale e regionale, per verificare che i dati siano confrontabili ed utilizzabili contemporaneamente.

3. Nella realizzazione del modello digitale del terreno (*Digital Ground Model*, DGM) utilizzare di preferenza i **punti quotati** piuttosto che le curve di livello. Data infatti la dimensione delle aree oggetto di studio, in particolare per gli agglomerati, considerare le curve di livello produce un DGM di dimensioni notevoli. Ciò si traduce in un aumento del tempo di calcolo. Inoltre le curve di livello sono concentrate principalmente nelle zone collinari, dove un così alto livello di precisione è sicuramente sovradimensionato per lo scopo dello studio e, al contrario, pressoché inesistenti nelle aree dei centri storici dove, ovviamente, i dislivelli altimetrici sono contenuti. La presenza delle curve di livello all'interno del DGM, infine, non garantisce l'accurata modellazione del terreno in prossimità delle principali infrastrutture stradali e ferroviarie; in questi casi può essere necessario ritoccare manualmente il DGM in modo da evidenziare la presenza di rilevati, ponti e corsie in trincea.

3.1.7 Tipo di copertura del suolo

Le informazioni relative alle caratteristiche acustiche del suolo possono essere dedotte da rilievi aerofotogrammetrici, da strati informativi di uso del suolo vettoriali e da ortofoto digitali. L'aggiornamento all'anno di riferimento delle mappe di uso del suolo può essere effettuato attraverso il confronto con immagini telerilevate recenti.

A livello europeo lo standard di riferimento per l'uso del suolo è dato dal database *Corine Land Cover* (CLC2000) [73], successivamente aggiornato al 2006 (CLC2006) [75]. La base dati *Corine* è disponibile su file, in formato vettoriale di tipo poligonale, e scaricabile dal sito ISPRA-SINA (Sistema Informativo Nazionale Ambientale).

Le caratteristiche acustiche del suolo possono essere state assegnate:

1. attribuendo ad ogni area identificata nel progetto *Corine* un valore di *ground factor* coerente con il toolkit 13 della *Good Practice Guide* [29]. Questa è la scelta fatta nel corso del primo ciclo di mappatura,
2. attribuendo un valore di *ground factor* – per esempio sempre desunto dal toolkit 13 della *Good Practice Guide* [29] - che viene poi affinato in maniera iterativa durante il processo di calibrazione del modello di simulazione (cfr. punto 3.4.7). Questa è una scelta molto “pragmatica” che richiede all'operatore di valutare, in base alla sua esperienza, quando i valori di *ground factor* suggeriti dal processo iterativo di calibrazione rischiano di essere poco realistici.

3.1.8 Edifici

La descrizione spaziale e dimensionale degli edifici è normalmente derivata da carte tecniche aerofotogrammetriche, in cui la posizione e le caratteristiche geometriche degli edifici sono definite in termini di perimetro, altezza e quota del suolo.

Per descrivere gli edifici è possibile utilizzare anche le ortofoto digitali. Le ortofoto sono caratterizzate da un minore dettaglio e richiedono maggiori tempi di elaborazione, ma possono essere utili per integrare ed aggiornare all'anno di riferimento le informazioni contenute nel rilievo aerofotogrammetrico attraverso un processo di digitalizzazione dell'edificato in esso non rappresentato. Per effettuare questo tipo di aggiornamento occorre che le immagini utilizzate siano georeferenziate nello stesso sistema di coordinate dell'aerofotogrammetrico e siano perciò ad esso sovrapponibili.

L'utilizzo delle carte tecniche regionali è invece sconsigliato, in quanto generalmente poco aggiornate e quindi scarsamente rappresentative della situazione reale.

Non sempre nei dati disponibili è presente l'informazione sull'**altezza dal suolo degli edifici**, che è invece importante per non degradare l'accuratezza dei risultati. Ove possibile, dalle ortofoto digitali può essere dedotta anche la tipologia di costruzione (condominio, villetta a schiera, edificio industriale, ecc.), in base alla quale è attribuita all'edificio un'altezza "standard". In mancanza, occorre assumere l'altezza di default di 8 m, coerentemente con la *Good Practice Guide* [29].

E' indispensabile che sia correttamente rappresentata l'informazione sulla **destinazione d'uso degli edifici**, con l'esatta individuazione di quelli ad uso residenziale, altrimenti non sarà possibile distribuire correttamente la popolazione residente negli edifici e tutta la valutazione perderà notevolmente in accuratezza.

Per definire correttamente l'effetto della presenza degli edifici è inoltre necessario importare nei modelli il valore di assorbimento acustico delle facciate (cfr. *Good Practice Guide* [29], toolkit 15 e 16).

3.1.9 Dati demografici

I dati demografici possono essere reperiti attraverso:

- rilievi mirati nell'area interessata alla mappatura;
- banche dati, alfanumeriche e cartografiche, disponibili presso Comuni, Province, Regioni;
- dati statistici ISTAT.

Per poter ottenere il numero di abitazioni e persone esposte ai diversi livelli di rumore è importante che i dati demografici siano acquisiti **già georeferenziati** rispetto alla cartografia di riferimento.

Rilievi.

L'acquisizione dei dati effettuata con indagini mirate sul territorio oggetto della mappatura, permette un alto grado di accuratezza dell'informazione, a fronte, tuttavia, di costi sicuramente elevati. Per contenere gli oneri dell'attività è possibile procedere anche rilievi a campione, da cui estrapolare le informazioni su tutta l'area di interesse attraverso opportune analisi statistiche.

Banche dati.

Le banche dati disponibili presso le pubbliche Amministrazioni rappresentano sicuramente una fonte privilegiata per l'acquisizione di informazioni demografiche. Queste ultime possono essere presenti a diversi livelli di dettaglio:

1. intero territorio comunale: è disponibile il numero totale di abitanti e abitazioni, da cui, nota la superficie, è possibile ricavare la densità a livello comunale;
2. sotto aree comunali (frazioni, quartieri, sezioni censuarie): anche in questo caso, nota la superficie della sotto area, è possibile calcolare la densità abitativa;
3. singola strada: per ciascuna via sul territorio è disponibile il numero totale di residenti e abitazioni;
4. puntuale: è disponibile il numero di abitanti per ciascun numero civico o edificio.

Come ulteriore fonte di informazione sulla distribuzione delle abitazioni e della popolazione possono risultare utili anche le banche dati degli Uffici Tributi comunali come, per esempio, quelle ICI e TARSU (Tassa Rifiuti Solidi Urbani, basata sulla superficie abitativa occupata).

Dati statistici ISTAT.

I dati ISTAT sul censimento della popolazione e delle abitazioni consentono di disporre di un'informazione omogenea su tutto il territorio nazionale basata sulla caratterizzazione demografica di sezioni censuarie corrispondenti a sotto aree comunali. A partire dal censimento 2001 sono disponibili le delimitazioni delle Sezioni di Censimento in forma cartografica, attraverso le quali è possibile georeferenziare i dati di popolazione ed edifici forniti in forma tabellare.

Qualora l'area oggetto della mappatura interessi più Comuni, è possibile che le informazioni demografiche reperibili presso le Amministrazioni locali differiscano in termini di contenuti (grado di dettaglio, di aggiornamento, di completezza) e/o formati. In questo caso è preferibile avvalersi di una base comune ed omogenea di informazioni, come i dati di censimento ISTAT, che consentono di ottenere un quadro complessivo della situazione acustica, in termini di popolazione e abitazioni, confrontabile per aree di intervento e soggetti attuatori differenti.

La distribuzione della popolazione nei singoli edifici residenziali, può essere negativamente influenzata dall'eccessiva definizione della cartografia di base, per questo tipo di calcolo. Si

veda ad esempio il caso riportato in figura 3, in cui sono state evidenziate tre porzioni di un complesso di tipo residenziale a cui corrispondo tre civici con le informazioni sul numero di residenti [94]. Nella realtà la distribuzione interna degli abitanti nell'edificio non corrisponde alla partizione presente sullo strato informativo disponibile né tantomeno alla distribuzione convenzionale dei civici (cfr. figure 3 e 6). Allegando semplicemente, secondo un criterio spaziale di intersezione, i civici alla porzione di edificio che li contiene e facendo una somma per porzione (che i software vedono come "edificio" distinto), si ottengono due "edifici" fittizi con residenti: il primo, fronte strada, con 49 residenti (sulla sinistra in figura 4), il secondo, più interno, con 40 residenti (figura 4); il terzo non ha residenti. Ma solo su uno di questi, (quello fronte strada), il software di simulazione acustica posiziona i ricevitori e calcola il numero di esposti (figura 5). In questo modo nel calcolo del numero degli esposti non sono considerati i 40 residenti nella porzione di edificio più interno e ciò si traduce in un evidente sottostima del numero degli esposti.

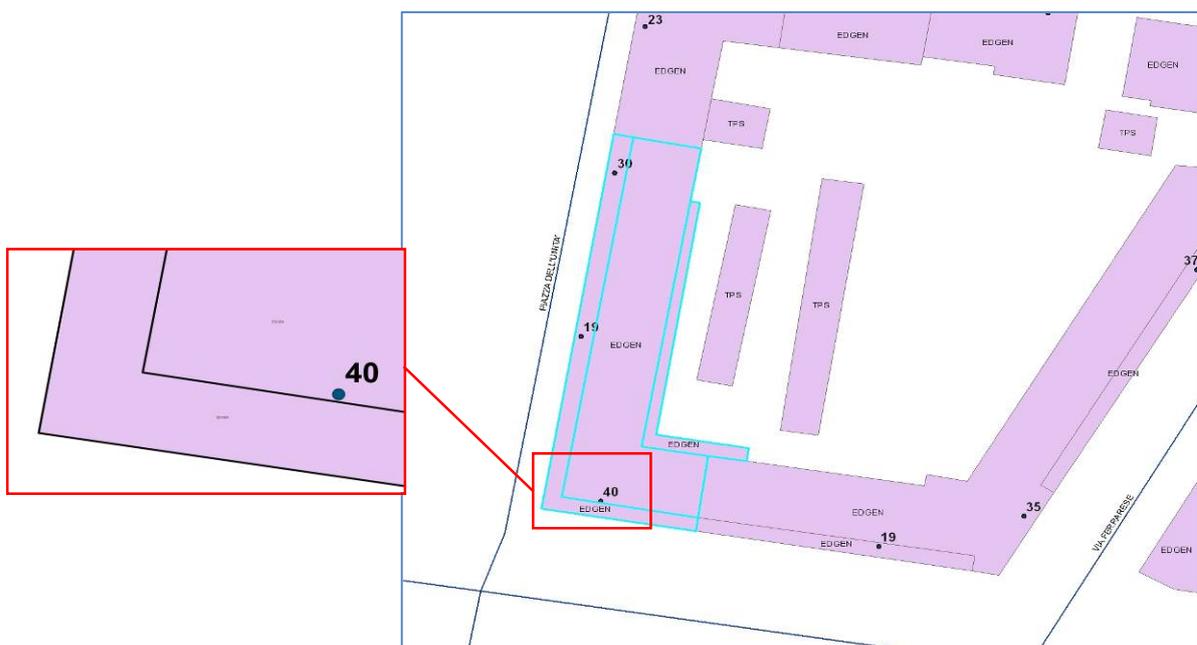


Figura 3 - Esempio di posizione dei civici in tre edifici (da [94]).

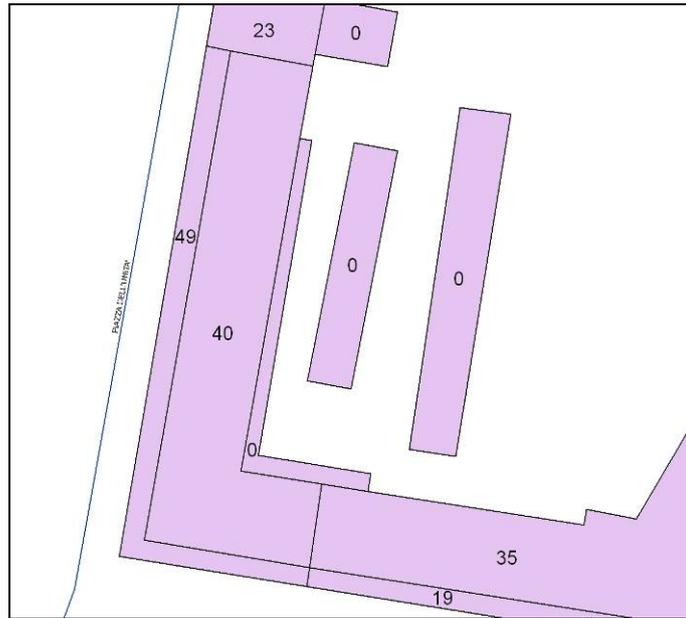


Figura 4 - Esempio di distribuzione dei residenti per edificio risultante (da [94]).

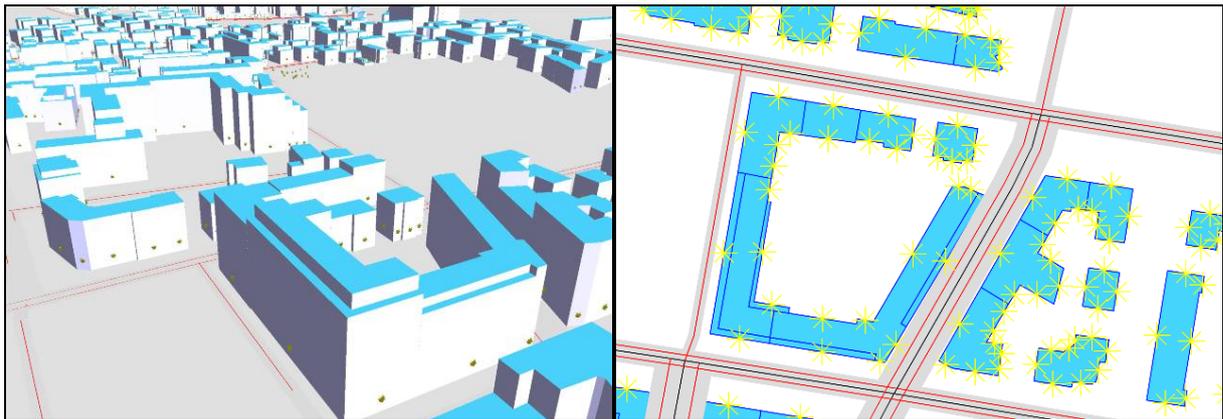


Figura 5 - Esempio di disposizione dei ricevitori (in giallo) per il calcolo del numero degli esposti.



Figura 6 - Fotografia aerea degli edifici dell'esempio delle figure 3-5.

3.1.10 Localizzazione e caratterizzazione dimensionale delle sorgenti

La base cartografica relativa alla descrizione di una sorgente sonora deve essere aggiornata all'anno di riferimento rispetto al quale è prevista la mappatura acustica.

L'informazione relativa alla localizzazione e caratterizzazione dimensionale della sorgente può essere estratta da:

- rilievi aerofotogrammetrici e disegni di progetto della sorgente di rumore (per esempio per un'infrastruttura stradale: dati in formato CAD, progetto della planimetria della strada e sezioni verticali);
- carte tecniche regionali in formato vettoriale;
- ortofoto digitali (formato *raster*).

Il rilievo aerofotogrammetrico e i disegni di progetto sono caratterizzati da un elevato dettaglio delle caratteristiche geometriche e permettono la riproduzione tridimensionale degli elementi nello spazio (quota assoluta e relativa della sorgente, forma); all'occorrenza tali dati possono essere georeferenziati tramite operazioni di traslazione, rotazione e scalatura. La carta tecnica in formato vettoriale è utile nell'individuazione dei tracciati di reti stradali e ferroviarie di ampia estensione (indicativamente reti caratterizzate da una lunghezza complessiva maggiore di 1 000 km). Le ortofoto digitali, con risoluzione spaziale minori di 5 m, e le carte tecniche regionali possono risultare utili qualora non siano disponibili i dati precedentemente indicati (cfr. UNI/TS 11387, punto 6.2.2.1 e appendice A, toolkit 12).

Si raccomanda fortemente di **georeferenziare tutte le informazioni relative alla localizzazione delle sorgenti sonore**, altrimenti potrebbe risultare impossibile integrare in un unico modello le informazioni provenienti da fonti diverse.

3.2 Dati rappresentativi dell'emissione sonora delle sorgenti

3.2.1 Sorgenti stradali

Ambito extraurbano. Dal secondo ciclo di mappatura, la rete da mappare comprende gli assi stradali principali su cui transitano ogni anno più di tre milioni di veicoli. Al fine di garantire la continuità della mappatura acustica della rete stradale avente i requisiti sopra specificati, occorre includere **anche le sezioni stradali con flussi veicolari minori** dei valori summenzionati, purché di estensione non superiore ai limiti di seguito indicati:

- 500 m per le strade extraurbane secondarie al di fuori degli agglomerati (Cb);
- 1 km per le autostrade e le strade extraurbane principali (A, B e Ca).

Agglomerati. In ambito urbano devono essere mappate tutte le strade indipendentemente dall'entità del flusso veicolare.

Nel toolkit 1 della *Good Practice Guide* [29] è riportata 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.

La Commissione Europea richiede che ciascuna infrastruttura individuata sia sezionata in **segmenti**. Ogni segmento può essere costituito da uno o più archi del grafo. Secondo la UNI/TS 11387 [40] i segmenti possono essere individuati in base alle variazioni di flusso rilevate alle giunzioni (nodi). Ogni segmento è caratterizzato da una variazione media del flusso di traffico, rispetto ai segmenti contigui, maggiore del 50%.

Per consentire un calcolo corretto, ciascun segmento deve essere suddiviso a sua volta in tratte omogenee per caratteristiche dell'infrastruttura (pendenza, flussi di traffico, velocità, tipologia del manto stradale, ecc.). Questa ulteriore segmentazione della strada viene tipicamente operata in maniera automatica dai software di calcolo previsionale. Nel caso in cui questa operazione non sia attuata automaticamente è consigliabile segmentare l'infrastruttura ogni qualvolta il livello di potenza sonora sia sottoposto ad una variazione di 2 dB. Secondo la UNI/TS 11387 [40], punto 7.1.1.4, tali variazioni si possono verificare quando alcune caratteristiche dell'infrastruttura subiscono le variazioni riportate nella tabella 4.

Tabella 4. – Parametri di riferimento per la segmentazione degli assi stradali da mappare.

| Caratteristica dell'infrastruttura | Variazione |
|---|-------------------------------|
| Pendenza | > 6% |
| Flusso di traffico | > 10% |
| Percentuale veicoli pesanti | > 40% |
| Velocità media | > 10% |
| Superficie stradale | Diversa tipologia |
| Direzione di marcia | da 2 ad 1 direzione di marcia |

Si tratta naturalmente di valori indicativi, relativamente ai quali si può osservare che:

- per quanto riguarda la pendenza della strada, alcune prove effettuate con software che implementano il modello europeo ad interim XPS 31-133 [22], la pendenza della strada risulta poco influente; d'altra parte, la UNI/TS 11387 sottolinea l'importanza di questo parametro e dedica il toolkit 7 dell'appendice A alla sua determinazione;
- per quanto riguarda le variazioni di flusso di traffico, va sottolineata la difficoltà legata alla effettiva disponibilità dei dati da utilizzare come input dei modelli e all'impossibilità di effettuare preventivamente capillari campagne di rilevamento dei flussi di traffico,

necessarie per valutare variazioni dell'ordine del 10%; si suggerisce pertanto di procedere sulla base dell'esperienza e della conoscenza del caso specifico, più che del rispetto di un valore numerico puramente indicativo.

La ricostruzione geometrica della sorgente sonora richiede che siano raccolti i dati informativi relativi alle seguenti caratteristiche dell'infrastruttura:

- tipologia del tracciato stradale (viadotto, rilevato, infrastruttura a raso, in trincea, in galleria);
- caratteristiche geometriche della sezione stradale: larghezza complessiva del corpo stradale, delle singole carreggiate e/o delle corsie, delle banchine e delle aree spartitraffico;
- tracciato planimetrico ed altimetrico (cfr. anche UNI/TS 11387, appendice A, toolkit 7);
- caratteristiche costruttive dell'opera correlate con emissioni di rumore a bassa frequenza (viadotti, imbocchi di gallerie) o emissioni impulsive (giunti di viadotto);
- tipologia di pavimentazione (tradizionale, fonoassorbente, ecc.) (cfr. anche UNI/TS 11387, appendice A, toolkit 5).

Devono essere acquisite le informazioni relative ai flussi veicolari medi annui, per tronchi omogenei di strada, riferiti ai periodi diurno, serale e notturno, specificando:

- la percentuale dei veicoli pesanti;
- la velocità media degli autoveicoli;
- l'andamento del flusso (scorrevole, interrotto, accelerato, decelerato).

Il livello di disaggregazione del dato di traffico disponibile influisce sull'accuratezza della valutazione: quanto maggiore è il grado di dettaglio, tanto minore è l'incertezza associata al livello di potenza sonora calcolato.

L'opportunità di disporre di dati di traffico più o meno dettagliati discende anche dalle caratteristiche dell'infrastruttura e dell'ambiente di propagazione limitrofo.

È richiesta l'acquisizione di **dati disaggregati per corsia** se:

- i ricettori sono prossimi a grandi infrastrutture di comunicazione (autostrade, raccordi, tangenziali, ecc.);
- il tipo di sezione stradale ha una forte influenza sulla propagazione sonora (per esempio, quando la strada è in rilevato o in trincea);
- sono state rilevate significative discrepanze nei flussi di traffico tra le diverse corsie.

In questo caso si deve considerare ciascuna corsia come una sorgente a sé stante e calcolare i livelli di rumore conseguenti a partire dai dati di traffico in esse rilevati o ad esse assegnati. Qualora non si disponga dei dati disaggregati per corsia, la strada deve essere modellizzata con due linee sorgente, una per ogni direzione di marcia. Se il dato di traffico di cui

si dispone è aggregato per strada i flussi devono essere suddivisi equamente tra le due direzioni di marcia.

La strada deve essere modellizzata con non meno di due linee sorgente (una per ogni direzione di marcia) nelle condizioni di seguito riportate:

- le carreggiate si trovano ad una distanza maggiore di 5 m;
- le carreggiate si trovano ad altezze diverse (>1 m);
- il numero delle corsie per carreggiata è >3.

La strada può essere modellizzata con un'unica linea sorgente quando risulta verificata almeno una delle seguenti condizioni:

- ridotte dimensioni della sezione stradale;
- ricettori sensibili ubicati a sufficiente distanza dall'infrastruttura;
- flussi di traffico omogeneamente distribuiti lungo la strada.

Nell'appendice A della UNI/TS 11387 [40], sono riportate le procedure metodologiche (toolkit) per l'acquisizione dei dati funzionali al calcolo del livello di potenza sonora della sorgente; qui si riporta in tabella 5 l'indice di tali toolkit.

Tabella 5. – Indice dei toolkit della UNI/TS 11387 [40] per l'acquisizione dei dati funzionali al calcolo del livello di potenza sonora della sorgente sonora stradale.

| Dato da acquisire | Toolkit |
|--|----------------|
| Flussi di traffico | 2 |
| Velocità media veicolare | 3 |
| Composizione del traffico veicolare | 4 |
| Fattori correttivi per tipologia di superficie stradale | 5 |
| Fluttuazioni della velocità in corrispondenza di intersezioni stradali | 6 |
| Pendenza del tracciato stradale | 7 |

3.2.1.1 Misure di traffico

Il rilievo dei dati di traffico può essere operato attraverso sistemi di monitoraggio automatico, mobili o fissi. Esistono numerose tecnologie, di accuratezza più o meno elevata, in grado di acquisire i dati di traffico necessari alla valutazione dei livelli di rumore generati dall'infrastruttura. Anche le tecnologie meno prestanti consentono la classificazione veicolare in almeno due categorie (leggeri e pesanti) e la valutazione della velocità istantanea e media dei veicoli su intervalli temporali di aggregazione predefiniti.

Il grado di accuratezza dei dispositivi di rilevamento dipende non soltanto dal principio fisico adottato dal sistema e dalle caratteristiche intrinseche del sensore, ma anche da altri fattori, quali:

- la corretta installazione o posizionamento dei sensori;
- la taratura;
- le condizioni ambientali (temperatura, umidità, luce);
- le condizioni di traffico (intensità del flusso veicolare, congestione, presenza di fenomeni anomali);
- le condizioni del manto stradale per i sensori di tipo intrusivo (per es. spire), quali la presenza di deterioramenti o variazioni della consistenza dello strato superficiale della pavimentazione nei diversi periodi dell'anno).

Il dato di traffico deve pertanto essere sempre accompagnato dall'informazione sulla relativa incertezza.

3.2.1.2 *Modelli di calcolo per la determinazione dei dati di traffico*

I dati di traffico possono essere generati anche da modelli di calcolo. In funzione delle caratteristiche e dell'estensione dell'area da analizzare è possibile avvalersi di modelli di traffico di diverso tipo:

- statici;
- dinamici;
- continui;
- micro simulatori.

I modelli statici sono solitamente utilizzati per simulare i dati di traffico su grandi aree, mentre i micro-simulatori sono impiegati principalmente per eseguire studi di dettaglio su aree di estensione limitata.

Si dovrebbe tuttavia tenere conto che i modelli di traffico sono stati sviluppati per applicazioni di tipo trasportistico. L'impiego di questi modelli in ambito ambientale è possibile, ma richiede alcuni adattamenti in grado di rendere i dati di uscita compatibili con il livello di dettaglio richiesto per l'elaborazione delle mappe acustiche. Le incompatibilità tra modelli di traffico e modelli di rumore riguardano principalmente i seguenti aspetti:

- risoluzione spaziale della rete stradale;
- risoluzione temporale dell'intervallo di analisi;
- risoluzione del dato generato (livello di dettaglio dell'informazione prodotta).

Risoluzione spaziale.

I modelli di traffico rappresentano la rete stradale attraverso un grafo costituito da linee (aste) che congiungono punti successivi (nodi), corrispondenti ad intersezioni, lungo la rete.

L'esatta corrispondenza spaziale tra l'effettiva posizione geografica delle strade e le aste non è in generale rilevante nei modelli di traffico, per cui in linea di principio il grafo costruito per simulazioni di traffico non è adatto all'elaborazione di mappe acustiche. Se il livello di dettaglio del grafo è, tuttavia, sufficientemente spinto e le linee del grafo ricadono all'interno del corridoio stradale, è possibile utilizzare lo stesso grafo nel modello acustico.

In aggiunta si deve tenere presente che il grafo utilizzato nei modelli di traffico (fatta eccezione per i modelli che eseguono le micro-simulazioni) riproduce in generale soltanto le strade di maggiore rilievo, sulle quali è prassi comune far convergere i flussi di traffico relativi alle strade di minore importanza. Questa semplificazione influisce sulla capacità del modello di traffico di produrre dati locali attendibili, in particolare nelle zone silenziose. Tale problematica è particolarmente rilevante nei modelli statici, specificamente sviluppati per applicazioni di larga scala, ma costituisce un problema non indifferente anche per le altre tipologie di modelli, ad esclusione dei micro-simulatori, destinati all'analisi di aree più contenute, dove la rete stradale è riprodotta in maniera dettagliata. Si veda l'esempio di figura 8.

Il dato generato dal modello di traffico deve quindi essere opportunamente rielaborato, per tenere conto delle aggregazioni effettuate, prima di potere essere trasferito sul grafo di dettaglio adottato per le elaborazioni acustiche.

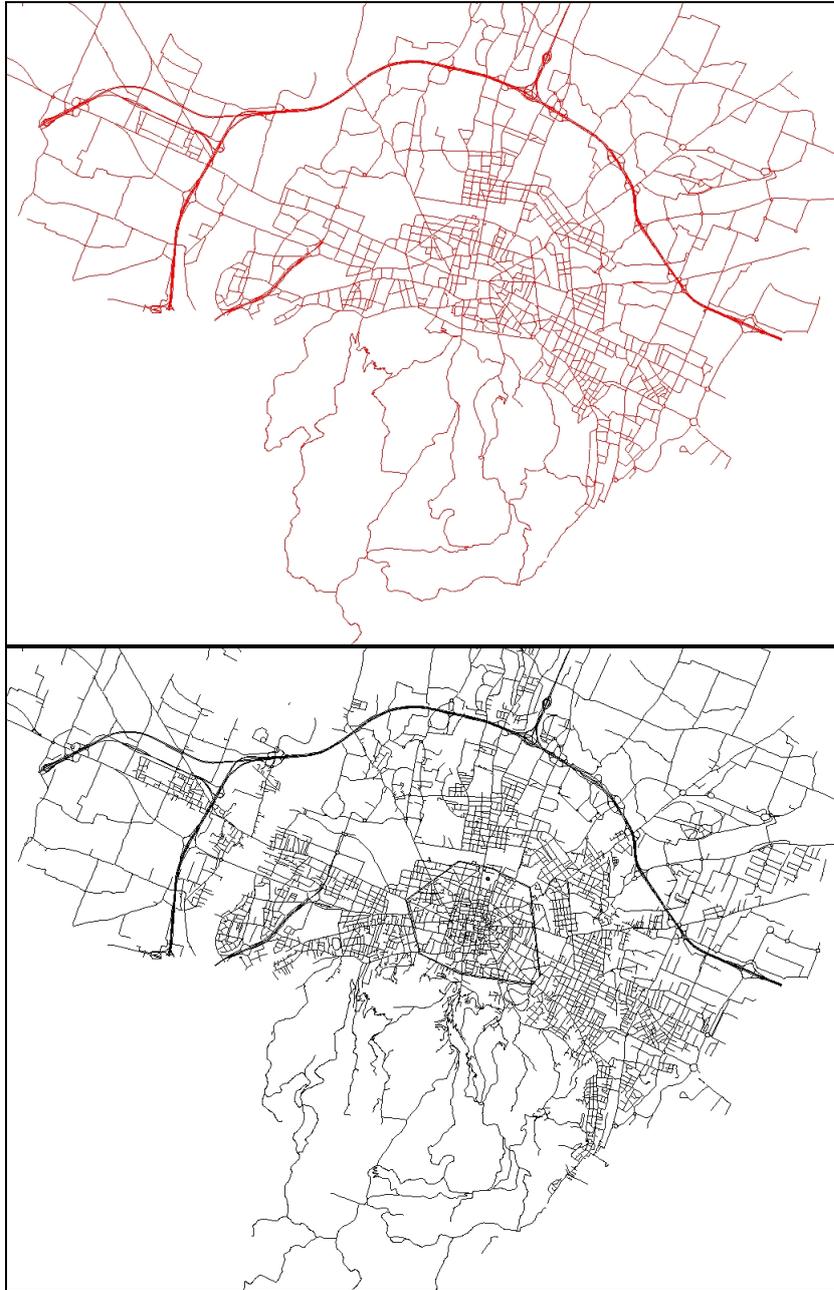


Figura 8 - Archi stradali di un agglomerato. Sopra: modello trasportistico. Sotto: situazione reale.

Risoluzione temporale.

I dati generati dai modelli di traffico si riferiscono solitamente all'ora di punta. L'elaborazione delle mappe acustiche richiede invece un'informazione più ampia sulla distribuzione annuale dei flussi di traffico nei periodi di riferimento diurno, serale e notturno. In linea di principio tali informazioni possono essere desunte dai modelli di traffico disponibili

purché siano note le distribuzioni orarie dei flussi (modelli dinamici) o le correlazioni tra i valori corrispondenti all'ora di punta e l'andamento del deflusso veicolare nei diversi periodi della giornata e dell'anno.

Accuratezza dei dati.

Per ottenere incertezze contenute entro 1 dB occorre che i dati di traffico trasferiti al modello acustico siano sufficientemente accurati. Nella tabella 6 sono riportati i requisiti di accuratezza richiesti per contenere l'incertezza dei livelli sonori calcolati entro 1 dB [29].

Tabella 6. – Requisiti di accuratezza richiesti ai dati di traffico per contenere l'incertezza dei livelli sonori calcolati entro 1 dB.

| Grandezza | Incerteza |
|--------------------------------|----------------------|
| Volume di traffico | 25% |
| Percentuale di veicoli pesanti | 5% |
| Velocità veicolare | 10 km/h |
| Accelerazione | 0,3 m/s ² |
| Decelerazione | 0,8 m/s ² |

3.2.1.3 Spettro di potenza della sorgente sonora

I livelli di rumore ai ricettori possono anche essere determinati fornendo al modello di calcolo direttamente lo spettro di potenza della sorgente sonora in bande di terzi di ottava, rilevato strumentalmente in prossimità dell'infrastruttura. Lo spettro rilevato deve essere rappresentativo del livello di potenza sonora media annua nei diversi periodi di riferimento diurno, serale e notturno. Il rilievo può essere eseguito con continuità attraverso delle centraline di monitoraggio o utilizzando una tecnica di campionamento che includa periodi rappresentativi della variabilità delle condizioni di deflusso veicolare. È stato dimostrato che l'acquisizione dei livelli di rumore in 9 giorni distribuiti saltuariamente lungo l'arco dell'anno consente di ottenere un'incertezza estesa sul livello di rumore a lungo termine pari a ± 1 dB con un livello di fiducia pari all'87% [80].

Lo spettro di potenza sonora, rilevato in un intervallo temporale contenuto, può anche essere utilizzato in congiunzione con i dati di traffico medi annui per determinare i livelli di potenza sonora a lungo termine. In questa seconda ipotesi i livelli di potenza sonora misurati contemporaneamente ai flussi di traffico veicolare sono utilizzati per calibrare il modello sorgente.

La scelta della tecnica di rilevamento più appropriata è quella sorgente-orientata, in cui le posizioni di misura sono individuate prevalentemente in funzione dell'ubicazione dell'infrastruttura stradale. Il numero e la posizione dei punti di misura dipende dalle sorgenti

sonore indipendenti presenti nell'area territoriale analizzata. Devono essere considerate sorgenti indipendenti anche quelle tratte di strada che, per effetto di intersezioni od innesti di altre strade, subiscono delle sostanziali variazioni di flusso o fanno riferimento a differenti caratteristiche morfologiche del sito.

Per ogni tronco omogeneo di strada si individua almeno una postazione di rilievo in cui effettuare le misure. La postazione microfonica deve essere preferibilmente situata nelle immediate vicinanze della sede viaria ad una quota da terra di 4 m, lontano da intersezioni od interruzioni semaforiche (almeno 150 m).

La durata temporale dei rilievi fonometrici dipende sostanzialmente dalla modalità con cui è eseguita la caratterizzazione acustica del territorio. Se con il rilevamento si intende quantificare direttamente il livello di potenza sonora generato dalla sorgente, i tempi di monitoraggio dovrebbero in linea di principio essere conformi a quanto prescritto dalla legislazione vigente (un anno). I valori a lungo termine possono essere anche determinati attraverso una tecnica di campionamento temporale, andando a prelevare durante l'intero periodo di osservazione, un certo numero di campioni rappresentativi della rumorosità ambientale. Se, invece, la valutazione del clima acustico viene eseguita con il supporto di un modello matematico, la durata dei rilievi deve essere dimensionata in funzione delle informazioni disponibili sulla sorgente e commisurata alle esigenze di taratura del modello.

3.2.2 Sorgenti ferroviarie

Ambito extraurbano. Dal secondo ciclo di mappatura, la rete da mappare comprende gli assi ferroviari su cui transitano più di 30 000 convogli all'anno. Al fine di garantire la continuità della mappatura acustica della rete ferroviaria, oltre a tutte le tratte con traffico maggiore di 30 000 convogli annui, si dovrebbero includere anche le **tratte contigue con traffico inferiore** al valore di soglia menzionato, purché di estensione non superiore ai limiti di seguito indicati:

- 500 m per le tratte ferroviarie extraurbane secondarie al di fuori degli agglomerati urbani;
- 1 km per i tratti interessati da transiti di treni ad alta velocità e le tratte extraurbane principali.

Agglomerati. In ambito urbano devono essere mappate tutte le tratte ferroviarie indipendentemente dall'entità del traffico ferroviario.

Per facilitare la lettura dei dati associati alla rete, la Commissione richiede che ciascuna infrastruttura individuata sia sezionata in segmenti. Ogni segmento può essere costituito da uno o più archi del grafo.

Per consentire una corretta ed agevole valutazione dei livelli di rumore nelle aree da mappare, ciascun segmento può essere suddiviso a sua volta in un certo numero di tratte omogenee. È consigliabile prevedere la scissione dei segmenti almeno in corrispondenza di stazioni, snodi, o scali merci.

Nel caso in cui si disponga di dati di maggiore dettaglio, è possibile eseguire la segmentazione di secondo livello anche in base alle caratteristiche dell'infrastruttura (velocità media, entità del traffico, percentuale di treni merci, numero di binari, tipologia di armamento, ecc.). Questa ulteriore segmentazione dell'infrastruttura si attua a livello operativo durante le fasi di caratterizzazione della sorgente sonora.

Qualora non siano disponibili i dati di dettaglio necessari per operare tale segmentazione, è consigliabile suddividere l'infrastruttura ogniqualvolta il livello di potenza sonora sia sottoposto ad una variazione di 2 dB rispetto al valore rilevato nella tratta precedente. Secondo la UNI/TS 11387 [38], punto 7.2.1.4, tali variazioni si possono verificare quando alcune caratteristiche dell'infrastruttura subiscono le variazioni riportate nella tabella 7.

Tabella 7. – Parametri di riferimento per la segmentazione di secondo livello degli assi ferroviari da mappare.

| Caratteristica dell'infrastruttura | Variazione o aspetto significativo |
|---|--|
| Flusso di traffico | > 40% |
| Percentuale treni merci | > 5% (considerando un fattore di equivalenza tra convogli merci e passeggeri pari a 16) |
| Velocità media | > 20% (valida per un intervallo di velocità da 60 km/h a 250 km/h all'interno del quale la componente del rumore dovuta all'interazione tra rotaia e ruota è prevalente) |
| Direzione di marcia | Passaggio dal doppio senso di circolazione al senso unico alternato |
| Numero di binari | Raddoppio o dimezzamento |

Si tratta naturalmente di valori indicativi, relativamente ai quali va sottolineata la difficoltà legata alla effettiva disponibilità dei dati da utilizzare come input dei modelli senza la collaborazione degli enti gestori e all'impossibilità di effettuare preventivamente capillari campagne di rilevamento dei flussi di traffico ferroviario, necessarie per valutarne l'entità e le variazioni; si suggerisce pertanto di procedere sulla base dell'esperienza e della conoscenza del caso specifico, più che del rispetto di un valore numerico puramente indicativo.

La ricostruzione geometrica della sorgente sonora richiede che siano raccolti i dati informativi relativi alle seguenti caratteristiche dell'infrastruttura:

- tipologia del tracciato ferroviario (viadotto, rilevato, infrastruttura a raso, in trincea, in galleria);
- caratteristiche geometriche della sezione ferroviaria: larghezza complessiva del corpo ferroviario, delle banchine e delle aree spartitraffico;
- tracciato planimetrico ed altimetrico;
- caratteristiche costruttive dell'opera correlate con l'emissioni di particolari componenti sonore (impulsive, a bassa od alta frequenza), quali viadotti, imbocchi di gallerie, giunti, scambi;
- tipologia di armamento (ballast e traversine monoblocco in CAP, ballast e traversine bi-blocco in CAP, ballast e traversine in legno, piattaforma in cemento, tipo di rotaia, rigidità piastra sottorotaia, rigidità del ballast);
- spettro della rugosità dei binari, qualora disponibile (la caratterizzazione dello spettro della rugosità si esegue secondo le procedure indicate dalla UNI EN ISO 3095 [43]).

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.

Qualora tali informazioni non siano disponibili, è possibile applicare la UNI/TS 11387, appendice A, toolkit 8 e 9.

È richiesta l'acquisizione di **dati disaggregati per tipologia di convoglio** se:

- i ricettori sono prossimi a grandi infrastrutture di comunicazione;
- il tipo di sezione ferroviaria ha una forte influenza sulla propagazione sonora (per esempio, quando il tracciato è in rilevato o in trincea).

La struttura ferroviaria può essere modellizzata con un'unica linea sorgente quando la larghezza della sezione della sede ferroviaria è trascurabile rispetto alla distanza dai ricettori.

Per l'applicazione del modello ad interim RMR (vedere punto 3.4.2.2) è necessario provvedere alla caratterizzazione dei convogli ferroviari e al loro inserimento in una delle nove categorie individuate.

Tale caratterizzazione si può eseguire per esempio applicando le procedure descritte nel documento [26].

Nel caso in cui non sia possibile inserire una particolare tipologia di treno in una delle categorie predefinite dal metodo RMR, si deve valutare l'emissione delle diverse sorgenti presenti nel sistema rotaia-ruota-veicolo (rotolamento, trazione, effetto aerodinamico).

Il livello di rumore ai ricettori può anche essere determinato fornendo al modello di calcolo direttamente lo spettro di potenza della sorgente sonora in bande di terzi di ottava rilevato strumentalmente in prossimità dell'infrastruttura. Lo spettro rilevato deve essere rappresentativo del livello medio di potenza sonora che insiste sulla tratta 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;

Per le modalità di misura si rimanda alla UNI 11143-3 [46].

3.2.3 Sorgenti aeroportuali

L'elaborazione delle mappe acustiche relative alle sorgenti aeroportuali deve essere riferita alle indicazioni del documento 29 ECAC-CEAC [23]. La stima dei livelli di pressione sonora avviene in termini di un particolare indicatore acustico (generalmente L_{AE}) e procede, in generale, attraverso l'esecuzione delle fasi di seguito indicate:

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 $L(x,y)$. questo si ottiene dall'equazione (2):

$$L(x,y) = L(\xi,d) + \Lambda(\beta,l) + \Delta_L + \Delta_V + \Delta_T \quad (2)$$

dove:

$L(\xi,d)$ è il livello di rumore nel singolo punto al suolo, di coordinate (x, y) , ricavato per interpolazione dalle tabelle *Noise Power Distance* (NPD); tale livello dipende dalla distanza d tra il punto di esposizione e la rotta, e dalla spinta dei motori ξ ;

$\Lambda(\beta,l)$ è il termine di attenuazione laterale del suono, che si propaga perpendicolarmente alla direzione dell'aeromobile, dipendente dalla distanza tra il ricevitore e la proiezione della rotta (l) e dall'angolo tra la distanza del ricevitore dalla rotta e quella dalla traccia al suolo (β);

Δ_L , Δ_V , Δ_T sono termini correttivi rispettivamente della direttività del rullaggio a terra durante le manovre di decollo, della velocità rispetto ai dati NPD e della durata dell'evento sonoro durante una virata. Gli ultimi due termini sono diversi da zero solo se il descrittore acustico nelle tabelle NPD è L_{AE} .

Le tabelle *Noise Power Distance* (NPD) riportano i valori di un indicatore acustico (solitamente L_{AE} o L_{Amax}) per alcune distanze fissate (da 80 m a 8 000 m). I dati indicati nelle tabelle si riferiscono ad un particolare tipo di aeromobile e derivano dai valori acquisiti durante un passaggio in volo livellato alla velocità costante di 160 nodi (circa 300 km/h), in una specifica configurazione di flap e potenza, normalizzati rispetto all'assorbimento atmosferico. La determinazione del parametro acustico di riferimento per qualunque posizione si effettua operando un'interpolazione (logaritmica con la distanza) dei dati riportati nelle tabelle NPD (vedere documento 29 ECAC-CEAC [23]).

Il valore assunto dall'indicatore di riferimento tiene conto delle condizioni meteorologiche medie di lungo periodo. I valori di riferimento sono utilizzati senza alcuna correzione se i parametri meteorologici di seguito indicati assumono valori compresi in intervalli predefiniti:

- temperatura dell'aria $< 30^{\circ}\text{C}$;
- prodotto della temperatura dell'aria ($^{\circ}\text{C}$) e dell'umidità relativa (%) > 500 ;
- velocità del vento $< 8 \text{ m/s}$ (15 nodi).

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).

Le informazioni richieste nei sopracitati punti da 1 a 5 sono dedotte dalle pubblicazioni ufficiali ENAV.

I dati caratteristici dell'emissione acustica della sorgente sonora sono riferiti a:

- I. composizione della flotta operante nell'aeroporto;
- II. definizione della categoria di peso (o delle categorie di peso) al decollo per ciascun modello di aereo;
- III. frequenza media di voli giornalieri, rapportata al periodo di interesse;
- IV. condizioni meteorologiche più frequenti in termini di componente della velocità del vento lungo la direzione della pista, di temperatura e pressione – eventualmente anche umidità relativa – rapportate al periodo di interesse.

L'insieme dei primi tre elementi sopra enumerati è noto come "*fleet mix*". Per ogni periodo omogeneamente rappresentato deve essere inserito un unico *fleet mix*. Per la produzione delle mappe acustiche è sufficiente la definizione del *fleet mix* medio annuo e la valutazione delle condizioni meteorologiche più frequenti in un anno.

Per ciascun modello di aereo presente nel *fleet mix* devono essere specificate:

- a. le informazioni che consentono di determinare la posizione dell'aereo nello spazio tridimensionale, in funzione del peso al decollo, delle caratteristiche della pista, delle condizioni meteorologiche prevalenti utilizzate (tabella performance data);
- b. le informazioni che legano il rumore al regime di potenza dell'aereo e alla distanza tra sorgente e recettore (tabella NPD);
- c. il numero medio di operazioni giornaliere nei tre periodi di riferimento (*day*, *evening* e *night* in ora locale) per ciascun tipo di aereo, operazione, categoria di peso, tipo di procedura, traiettoria.

Da questi brevi cenni si capisce come la caratterizzazione completa delle sorgenti di rumore aeroportuale sia una attività estremamente specialistica che richiede molti dati in possesso solo delle autorità aeroportuali e programmi di simulazione specifici, che operano in maniera diversa dai programmi utilizzati per le sorgenti stradali, ferroviarie e industriali. Inoltre, l'attività di simulazione del rumore aeroportuale è già svolta dai gestori degli aeroporti per i loro

fini istituzionali. Pertanto si suggerisce di istituire una collaborazione tra i tecnici incaricati della mappatura acustica degli agglomerati ai sensi del D. Lgs. 194/05 ed i tecnici delle società di gestione degli aeroporti che impattano sugli agglomerati, al fine di scambiare i dati. In particolare, la società di gestione dell'aeroporto potrebbe fornire ai tecnici incaricati della mappatura acustica dell'agglomerato le griglie di valori dei livelli di rumore aeroportuale, già calcolato in termini degli indicatori europei, per l'importazione diretta nella mappa acustica strategica dell'agglomerato.

Nei toolkit da 17 a 20 dell'appendice A della UNI/TS 11387 sono descritte le modalità di acquisizione dei dati necessari per la valutazione dei livelli di rumore.

3.2.4 Siti di attività industriale

La mappatura acustica si applica ai “siti di attività industriale” interni agli agglomerati, così come definiti dal D. Lgs. 194/05, ossia “alle aree classificate V (aree prevalentemente industriali) o VI (aree esclusivamente industriali) ai sensi del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 14 Novembre 1997, in cui sono presenti attività industriali quali quelle definite nell'allegato 1 al D. Lgs. 18 febbraio 2005, n. 59” [11].

Nel caso in cui l'amministrazione comunale non abbia ancora approvato il piano di zonizzazione acustica del proprio territorio, le attività di mappatura si applicano alle aree afferenti alla categoria “zona esclusivamente industriale” come definita dall'art. 6, comma 1, del D.P.C.M. 1 marzo 1991 [2], in cui siano presenti attività industriali quali quelle definite nell'allegato 1 al D. Lgs. 18 febbraio 2005, n. 59 [11].

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.

Nella UNI/TS 11387, appendice A, toolkit 10, riportato nell'appendice A, sono indicate alcune procedure di calcolo applicabili per la determinazione del livello di potenza sonora da assegnare alla sorgente nei periodi di riferimento diurno, serale e notturno, in funzione delle informazioni disponibili. A ciascuno dei metodi suggeriti sono attribuiti diversi livelli di complessità, accuratezza e costo.

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 [6].

Si può procedere ad una valutazione globale dell'impatto prodotto sul territorio dall'impianto industriale con il metodo di categoria A descritto in [70]. Lo stesso documento riporta i metodi di categoria B "per singole sorgenti" e i metodi di carattere generale, di categoria C.

3.2.5 Siti portuali

Il rumore prodotto dalle aree portuali è da considerarsi come una tipologia specifica di "rumore industriale", la cui caratterizzazione si inserisce nell'ambito della mappatura acustica strategica degli agglomerati urbani [1].

Il rumore portuale si compone di vari contributi originati da sorgenti sonore di diversa tipologia: strade, ferrovie, industrie, imbarcazioni, operazioni di scarico e carico merci. La determinazione dell'impatto acustico prodotto dalle diverse componenti deve limitarsi alle sole sorgenti di pertinenza dell'autorità portuale. Sono escluse dalla valutazione le aree di stoccaggio e scambio delle merci, gli interporti, le agenzie di spedizione e tutte le attività che, se pur collegate con la presenza del porto, si trovano all'esterno dell'area di competenza dell'autorità portuale.

Le caratteristiche geografiche/altimetriche dell'Area Portuale possono essere acquisite con le stesse modalità individuate per gli altri campi di indagine. Al fine di rendere omogenea e cautelativa la caratterizzazione acustica dell'Area Portuale, le barriere artificiali, costituite

dall'impilamento di container all'interno delle zone di stoccaggio, possono essere escluse dalla ricostruzione modellistica.

Il rumore generato dai veicoli che circolano all'interno dell'area portuale costituisce una componente importante del rumore complessivo ai ricettori, da imputarsi principalmente alla movimentazione dei container mediante camion navetta dalle aree di stoccaggio alla ferrovia e viceversa. A questo traffico estremamente locale va aggiunto quello determinato dai solleva-container o dai gru da impilaggio, che movimentano le merci nei piazzali.

Per una corretta modellazione del rumore stradale si devono individuare i percorsi interni al porto dedicati alla movimentazione delle merci.

Relativamente ai dati funzionali, le informazioni sul traffico pesante entrante ed uscente dall'area portuale possono essere raccolte dalle seguenti fonti:

- 1) registrazione dei passaggi attraverso i varchi portuali o doganali, se disponibili;
- 2) dati di movimentazione in termini di TEU (*Twenty-Foot Equivalent Unit*, unità equivalente a 20 piedi), misura standard internazionale di volume nel trasporto dei container ISO o tonnellate forniti dagli operatori all'interno del porto, applicando fattori di corrispondenza empirici con il numero di veicoli impiegati (per esempio un camion generalmente movimentava 2 TEU per volta). In questa ipotesi si deve tenere conto che ad ogni mezzo pesante così individuato, corrispondono di regola due passaggi attraverso il varco (uno in ingresso e uno in uscita);
- 3) misure dirette dei volumi di traffico su specifiche sezioni stradali; quest'ultima ipotesi tuttavia, ha lo svantaggio di essere particolarmente onerosa, sia dal punto di vista economico che temporale, e di fornire un dato non immediatamente rappresentativo dell'operatività nell'arco di un anno medio.

Il traffico leggero, se disponibile, può essere inserito nel calcolo del modello anche se il suo contributo non è generalmente significativo; fa eccezione il traffico leggero dovuto a:

- 1) aree traghetti - dati e statistiche sul numero di veicoli movimentati, spesso diversificati per tipologia, sono disponibili presso l'autorità portuale o i singoli operatori;
- 2) import/export autoveicoli - la movimentazione delle vetture destinate alla vendita può avvenire per mezzo di bisarche, oppure attraverso un trasferimento diretto ed autonomo in magazzini ed aree di scambio esterne al porto. In quest'ultimo caso il flusso generato dalla movimentazione delle vetture risulta difficilmente distinguibile dal traffico naturale delle strade impiegate. Per valutarne il loro apporto è quindi opportuno acquisire dagli operatori responsabili i dati specifici sulle modalità di trasferimento degli autoveicoli.

Infine le informazioni sulla movimentazione dei camion navetta circolanti sui percorsi interni possono essere acquisite mediante interviste agli operatori.

La sorgente ferroviaria in ambito portuale può essere trattata in modo analogo alla sorgente ferroviaria ordinaria, con le seguenti puntualizzazioni:

- 1) i carri impiegati in ambito portuale sono principalmente di tipo merci. Ai fini di una corretta modellazione della sorgente è quindi importante che siano acquisite le informazioni sul numero di assi per carro costituenti i convogli ferroviari;
- 2) il traffico ferroviario all'interno del porto si svolge sempre a velocità molto ridotte, anche per questioni di sicurezza legate alla commistione tra traffico su gomma e su ferro. Inoltre i convogli subiscono frequenti operazioni di frenatura ed accelerazione, trovandosi quindi in condizioni simili a quelle presenti nelle stazioni passeggeri. Si deve pertanto tenere conto di queste particolari condizioni operative introducendo opportuni fattori correttivi;
- 3) la valutazione del rumore emesso dalle linee ferroviarie interne alle aree portuali, situate generalmente su rami dedicati della rete infrastrutturale, deve estendersi fino al loro ricongiungimento con la rete principale.

Le navi, soprattutto di grandi dimensioni, contribuiscono in modo sensibile al rumore emesso dall'intera struttura portuale. Questo è principalmente dovuto al fatto che le stesse, per ragioni di approvvigionamento energetico e per l'ottimizzazione dei cicli di arrivo/scarico/carico/partenza, tendono a mantenere sempre in moto i motori a combustione interna.

A tale scopo va anche rilevato che la rumorosità della nave, all'ormeggio o in movimento, non ha livelli di emissione significativamente differenti, mentre differisce in modo consistente il tempo di permanenza all'ormeggio rispetto al transito negli specchi d'acqua portuale. L'omissione della valutazione del rumore dovuto al transito dei convogli non produce pertanto alterazioni significative sui livelli globali degli indicatori L_{den} e L_{night} .

Per tenere dunque in considerazione il contributo apportato dalle navi al computo del rumore portuale si devono acquisire almeno le seguenti informazioni:

- 1) localizzazione degli ormeggi;
- 2) occupazione (ore complessive annue o percentuale del tempo) degli ormeggi delle navi, possibilmente suddiviso per classi di stazza nei tre periodi di riferimento (giorno, sera, notte).

Entrambi i dati possono essere recuperati dall'autorità portuale di riferimento.

Per quanto riguarda la caratterizzazione acustica e classificazione delle sorgenti navali in funzione della stazza, è possibile riferirsi al database predisposto nell'ambito del progetto *Imagine*, nel quale sono individuate le seguenti fasce di peso (in tonnellate): fino a 1 000, da 1 000 a 2 000, da 2 000 a 5 000, da 5 000 a 10 000, da 10 000 a 20 000, da 20 000 a 60 000, oltre 60 000.

Sono sorgenti portuali le attività portuali in senso stretto, dovute al carico e scarico delle merci, mezzi o passeggeri dalle navi. In considerazione di quanto già descritto, è evidente che tali sorgenti sono principalmente identificabili con i macchinari collegati alla movimentazione delle merci. A questo fine è necessario acquisire informazioni almeno sulle seguenti sorgenti:

- 1) gru portuali, gru da impilaggio, gru per “LO-LO”, benne per la movimentazione degli sfusi solidi;
- 2) stazioni di pompaggio per gli sfusi liquidi, petroli e granaglie;
- 3) solleva containers;
- 4) container refrigerati (diesel ed elettrici);
- 5) motrici per “RO-RO”.

Le sorgenti di tipo navale, portuale ed industriali possono essere generalmente schematizzate come sorgenti di tipo puntuale, od al più areale se sono presenti grandi superfici di emissione. I dati relativi all'emissione possono essere reperiti in letteratura [70].

Laddove la complessità dell'attività lavorativa non si presti per una modellazione analitica, può essere ipotizzata una stima dell'emissione basata su rilievi fonometrici eseguiti nell'intorno della zona d'interesse.

3.2.6 Conversione di valori di altri descrittori acustici

In molti casi esistono dei valori di livello di pressione sonora in condizioni date, utili per caratterizzare le sorgenti sonore, ma reperibili solo come valori dei descrittori L_{Aeq} e L_{VA} . Risulta quindi indispensabile convertirli nei valori dei descrittori europei.

Una metodologia di conversione dei valori, misurati o calcolati, espressi tramite i descrittori stabiliti dalla normativa nazionale vigente nei descrittori L_{den} ed L_{night} è disponibile nella UNI 11252 [37] ed è subordinata al rispetto di una serie di condizioni al contorno dipendenti dal caso specifico.

In particolare, la UNI 11252, al punto 5 specifica che: “*non si può procedere alla conversione di L_{Aeq} o di L_{VA} se non esiste, o è incompleta, la documentazione sui seguenti aspetti:*

- 5.1 *configurazione geometrica del sito, con indicazione almeno della distanza del punto di determinazione di L_{Aeq} o di L_{VA} dalla sorgente, dal suolo e da eventuali edifici;*
- 5.2 *configurazione geometrica degli eventuali aggetti esterni della facciata (balconi, cornicioni, ecc.) se in prossimità del punto di determinazione;*
- 5.3 *descrizione della tipologia di sorgente sonora cui il dato acustico si riferisce;*
- 5.4 *data, tempi di riferimento (diurno e/o notturno), intervalli temporali ai quali si riferisce il livello L_{Aeq} o L_{VA} ;*

5.5 numerosità e distribuzione nell'arco dell'anno dei dati di L_{Aeq} o di L_{VA} sufficienti a descrivere la variabilità annuale dell'emissione sonora della sorgente specifica e quella delle condizioni meteo climatiche”.

3.3 **Dati meteorologici**

L'influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione acustica a distanze di alcune centinaia di metri dalla sorgente può determinare variazioni di livello sonoro consistenti (dell'ordine di alcuni decibel) rispetto ai valori stimabili in condizioni neutre di propagazione.

Per determinare le condizioni di propagazione medie annue, necessarie per la valutazione dell'indicatore armonizzato L_{den} , sarebbe necessario acquisire i parametri meteorologici che caratterizzano l'area di studio per un periodo di osservazione di almeno 10 anni.

I fenomeni atmosferici che maggiormente incidono sulla propagazione sonora sono dovuti alla presenza di vento ed alla stratificazione della temperatura dell'aria: il vento causa variazioni delle condizioni di propagazione che dipendono dalla posizione reciproca di sorgente e ricevitore, mentre la variazione verticale della temperatura determina effetti isotropi sul piano orizzontale; anche in virtù di questa caratteristica i due fenomeni influiscono indipendentemente sulle condizioni di propagazione.

Le condizioni meteorologiche che influenzano la propagazione del suono possono diversificarsi in modo significativo in maniera puntuale al variare del periodo di osservazione. Questa caratteristica, tipica delle osservazioni di breve termine, può essere mitigata da una valutazione su base decennale, che consente di ottenere risultati sufficientemente stabili per ampie zone di territorio.

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* [29], toolkit 21). In sintesi tale toolkit raccomanda di usare, in ordine di preferenza:

- dati meteorologici locali (difficilmente disponibili in Italia);
- dati specificati in norme tecniche o regolamenti nazionali (non esistenti in Italia);
- dati meteorologici di default a livello nazionale (non esistenti in Italia);

- i valori di default di tabella 8 (vedere anche il punto 3.4.4).

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 [64]. 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. In alternativa, è possibile calcolare il raggio di curvatura utilizzando un metodo semplificato, basato sui risultati conseguiti nell'ambito del progetto *Imagine* [67].

Tabella 8. – Valori percentuali cautelativi di riferimento per la determinazione dell'incidenza di condizioni favorevoli alla propagazione sonora nei periodi diurno, serale e notturno.

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

3.4 Modalità di elaborazione delle mappe acustiche

Secondo il D. Lgs. 194/05, le mappe sono elaborate attraverso l'uso di modelli di calcolo in grado di determinare i valori dei descrittori a lungo termine nei tre periodi di riferimento diurno, serale e notturno, tenendo conto degli effetti meteorologici e delle fluttuazioni dell'emissione acustica delle sorgenti nell'anno di osservazione. Gli Stati Membri che non dispongono di metodi nazionali di calcolo da adattare alle specifiche della END, sono tenuti ad eseguire le mappe acustiche utilizzando i modelli di calcolo ad interim in essa raccomandati [21], [22]. È questo il caso dell'Italia.

In linea di principio le mappe acustiche possono essere tracciate anche sulla base di dati acustici acquisiti attraverso campagne strumentali di rilievo, tuttavia questa tecnica è generalmente impraticabile a causa dell'estensione temporale richiesta (rappresentatività annuale del dato) e la risoluzione spaziale necessaria affinché i dati prodotti e la relativa mappa siano conformi alle specifiche della direttiva 2002/49/CE.

I rilievi strumentali possono tuttavia essere utilizzati per validare i risultati prodotti dal modello di calcolo o verificare l'efficacia degli interventi pianificati a seguito dell'accertamento del superamento dei limiti di rumore vigenti.

Le mappe acustiche e le mappe acustiche strategiche ad uso locale o nazionale devono essere tracciate utilizzando un'altezza di misurazione di 4 m ed intervalli di livello dei descrittori di 5 dB. Mappe acustiche e mappe acustiche strategiche devono essere corredate dell'informazione relativa ai metodi di calcolo o di misurazione adottati per la loro elaborazione. I risultati delle elaborazioni devono essere accompagnati dall'informazione relativa alla loro accuratezza.

3.4.1 Caratteristiche generali del programma di simulazione

In questa sezione sono passate in rassegna le caratteristiche generali che il programma di simulazione acustica deve possedere, indipendentemente dallo specifico modello costruito per un agglomerato o una infrastruttura di trasporto.

1. Riferenze

Il fornitore deve indicare se il programma offerto è già stato impiegato per la mappatura acustica strategica di agglomerati europei, specificando sia gli agglomerati che l'ente e la persona di riferimento.

2. Garanzia ed aggiornamenti del programma

La garanzia sul programma deve essere di almeno 36 mesi; per tutta la durata della garanzia, il fornitore si impegna a fornire gratuitamente tutti gli aggiornamenti, comprensivi degli allineamenti alle eventuali nuove disposizioni legislative e norme tecniche europee e, qualora fosse richiesta, l'assistenza per l'installazione degli stessi, eventualmente "in loco".

3. Conformità ai modelli di calcolo ed ai descrittori acustici raccomandati dalla Commissione Europea

Il programma deve essere garantito come conforme ai modelli di calcolo ed ai descrittori acustici raccomandati dalla Commissione Europea (direttiva 2002/49/CE, raccomandazione 2003/613/CE, disposizioni future). Il programma deve permettere di scegliere, volta per volta, il metodo di calcolo utilizzato selezionandolo da un elenco di metodi disponibili. Deve essere possibile l'utilizzo simultaneo dei metodi raccomandati (per esempio strade, ferrovie e industrie contemporaneamente).

4. Massimo numero di entità trattabili simultaneamente

Devono essere dichiarati i limiti di calcolo del modello, sia con che senza "tiling": le dimensioni massime dell'area trattabile e il corrispondente livello di risoluzione massima, il numero massimo di punti di griglia (ricettori) sui quali può calcolare il livello sonoro, il numero massimo e la tipologia delle sorgenti trattabili

simultaneamente, il numero massimo di edifici trattabili simultaneamente, il numero massimo di altri ostacoli (differenziati per tipo) trattabili simultaneamente nel calcolo. Per esempio per l'agglomerato di Bologna i requisiti minimi sono:

- dimensione area: 10 km × 10 km, con risoluzione almeno 10 m;
- numero massimo di punti di griglia (ricettori): almeno 100 000 000;
- numero di sorgenti lineari (strade e ferrovie): almeno 20 000;
- numero di sorgenti puntuali: almeno 100 000;
- numero di edifici: almeno 100 000;
- numero di bordi di diffrazione: almeno 100 000.

5. **Tempo di calcolo per punto ricettore (velocità di calcolo)**

Parametro di primaria importanza. Deve essere dichiarato il tempo di calcolo per ricettore valutato su casi di riferimento, supportando la dichiarazione con opportuna documentazione tecnica.

6. **Flessibilità nella regolazione dei parametri di efficienza**

Poiché svolgere tutti i calcoli alla massima accuratezza possibile è oneroso in termini di tempo e inutile alla scala dell'agglomerato, occorre impostare il programma per una maggior velocità con una limitata e controllata perdita di accuratezza (*efficiency settings*) [85], [86]. Deve essere dichiarato quali dei seguenti parametri sono regolabili dall'utente del programma e quali variazioni di velocità e accuratezza di calcolo comportino:

- raggio di ricerca delle sorgenti (*source search/fetch radius*);
- margine di errore dinamico;
- minima lunghezza di una sezione di sorgente lineare;
- utilizzazione di DTM *contour line* e punti quota;
- raggio di influenza delle riflessioni (*reflection radius*);
- semplificazioni della propagazione (specificare quali);
- interpolazione della griglia di calcolo (specificare come).

La dichiarazione deve essere supportata dalla relativa documentazione tecnica.

7. **Accuratezza**

Parametro di primaria importanza, valutabile in base allo scostamento medio tra i valori calcolati con un *efficiency setting* ottimale ed i valori calcolati con la massima accuratezza possibile (*benchmark setting*) per uno stesso caso campione [85], [86].

Il programma dovrebbe essere accompagnato da una dichiarazione riguardo:

- quale accuratezza è stata stimata per il programma;
- se il programma permette il confronto tra i risultati ottenuti con le impostazioni definite dall'utente ed i risultati ricalcolati con la massima precisione possibile in punti scelti a caso;

- se il programma permette il calcolo dell'incertezza dei risultati in punti dati a partire dall'incertezza sui dati di input.

Le dichiarazioni devono essere supportate dalla relativa documentazione tecnica.

8. **Calibrazione del modello**

E' una delle operazioni fondamentali per rendere affidabile ogni modello costruito. Pertanto devono essere dettagliate le modalità di confronto tra valori calcolati e valori di riferimento (per es. misurati) previste dal programma offerto e le conseguenti possibilità di messa a punto del modello. Vedere anche il punto 3.4.7.

9. **Riflessioni**

La documentazione di accompagnamento del programma deve dichiarare:

- il numero massimo e minimo di riflessioni su ostacoli (tipo facciate di edifici) considerato nei calcoli e la configurabilità del parametro da parte dell'utente;
- come vengono trattate le riflessioni (ad es. riflessioni di primo ordine utilizzando il metodo delle sorgenti immagine e riflessioni di ordine superiori con altri metodi, ecc.);
- se è possibile calcolare il livello sonoro in facciata di un edificio escludendo la riflessione sulla facciata stessa.

10. **Modellazione delle sorgenti sonore**

Deve essere possibile inserire:

- sorgenti di tipo diverso: strade, ferrovie, industrie, aeroporti, altre eventuali;
- sorgenti di geometria diversa: puntuale, lineare, areale, altre eventuali;
- uno spettro di potenza sonora delle sorgenti definito dall'utente;
- la direttività delle sorgenti, sia sul piano orizzontale che su quello verticale, meglio se in 3D, e con opportuna risoluzione angolare.

Eventualmente deve essere possibile stimare i livelli di potenza sonora delle sorgenti applicando tecniche di *reverse engineering* per risalire da valori noti di livelli di pressione sonora a valori non noti di potenza sonora.

11. **Barriere acustiche**

Deve essere possibile inserire:

- posizione, dimensioni e forma delle barriere acustiche;
- terminazioni curve o inclinate o di forma complessa (dispositivi aggiunti) delle barriere acustiche;
- un coefficiente di riflessione diverso per ogni lato delle barriere acustiche;

Preferibilmente dovrebbe essere possibile attivare il dimensionamento dinamico delle barriere acustiche per ottimizzare le dimensioni rispetto a valori limite di rumore in punti dati.

Devono essere considerate "barriere acustiche", cioè ne viene valutata l'attenuazione per diffrazione, anche edifici, terrapieni, irregolarità del terreno.

12. **Terreno**

Deve essere possibile inserire la morfologia del terreno:

- per punti singoli;
- per linee isolivello;
- per griglie di coordinate tridimensionali;
- eventualmente con altri metodi.

Il programma deve essere applicabile a qualsiasi orografia senza limitazioni.

13. **Dati meteorologici**

Deve essere possibile:

- l'inserimento manuale di dati meteorologici;
- l'importazione di dati meteorologici;
- la definizione di dati meteorologici diversi per periodi diversi (per es. la percentuale di condizioni favorevoli e omogenee del modello stradale NMPB).

14. **Compatibilità**

Possibilità di scambio dati con i più diffusi software GIS (tipo ArcGIS), CAD (tipo AutoCAD) e di database management (tipo Access). Possibilità di importazione di immagini digitali di sfondo. Possibilità di importazione di risultati da INM. È caratteristica preferenziale la compatibilità con altri software commerciali – specificando con quali limitazioni – per l'interscambio di dati, sia in ingresso che in uscita. Come minimo è richiesto di indicare la compatibilità – con rispettive limitazioni e caratteristiche d'uso – per i seguenti software o formati standard:

- ArcGIS/Arcview/Arcinfo (shp, shx, dbf);
- Autocad (dwg, dxf);
- Access;
- Excel (xls, xlsx);
- file di tipo ASCII (txt);
- file di tipo bmp, jpg o altri formati *raster*;
- file di risultati di INM.

15. **Possibilità di scambio dati con programmi concorrenti**

È caratteristica preferenziale la compatibilità con altri software commerciali di modellazione acustica – specificando con quali limitazioni – per l'interscambio di dati, sia in ingresso che in uscita. In particolare è preferenziale la compatibilità con SoundPlan, già utilizzato da alcuni degli Enti partecipanti al primo ciclo di mappatura in Emilia-Romagna.

16. **Interfaccia utente**

L'interfaccia utente deve possedere il maggior numero possibile delle caratteristiche seguenti:

- configurazione dei file e *run* del modello svolti dall'interno dell'applicazione senza necessità di attivare altri applicativi;
- sequenza logica delle operazioni da svolgere facilmente comprensibile dall'utente, anche attraverso l'uso di icone autoesplicative;
- input di configurazione richiesti scelti – laddove possibile – in un elenco di valori (tipo *combo-box*);
- controllo sulla congruità dei valori di input e impossibilità di inserire parametri superflui o sbagliati;
- comandi supportati da un help in linea che ne descrive la sintassi e l'uso tipico, in italiano o in inglese;
- *log* delle attività per ogni *run* eseguito;
- possibilità di ricaricare un *run* già eseguito, comprensivo quindi delle configurazioni, dei set di file, dei parametri e metodi di calcolo utilizzati, modificarlo parzialmente ed effettuare un nuovo *run*;
- possibilità di personalizzazione dell'interfaccia (scelta dei menu, inserimento di nuovi bottoni, attivazione di funzioni, ecc.);
- possibilità di scrittura di macro di comandi per l'automazione di compiti ripetitivi; in particolare, deve essere possibile programmare, eventualmente con modalità differita nel tempo, l'esecuzione di una serie di calcoli.

17. Strumenti di creazione e manipolazione oggetti

Deve essere presente il maggior numero possibile delle caratteristiche seguenti:

- strumenti di combinazione dei dati provenienti da diverse fonti e di semplificazione degli oggetti creati per ottenere modelli tridimensionali ottimizzati;
- programma CAD interno al programma, per la definizione di oggetti acusticamente rilevanti;
- strumenti per facilitare l'introduzione della terza dimensione su planimetrie bidimensionali (descrivere quali);
- strumenti di controllo della geometria e della duplicazione di entità;
- database, modificabili, relativi alle proprietà di assorbimento acustico o riflessione dei materiali (facciate degli edifici, barriere acustiche, terreno, ecc.);
- strumenti di semplificazione dei dettagli superflui della geometria che appesantiscono il modello; specificare se la semplificazione è eseguita in una fase separata di *pre-processing* oppure *on the fly*.

18. Espressione dei risultati

Deve essere garantito che il risultato dei calcoli può essere espresso almeno nei seguenti modi, per uno stesso calcolo e contemporaneamente:

- livelli di pressione sonora in bande di frequenza di ottava e di 1/3 di ottava;

- livelli di pressione sonora globale in dB lineari e in dB(A);
- livello equivalente riferito a periodi definiti dall'utente;
- con i descrittori richiesti dal D. Lgs. 194/05: L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} , L_{den} .

Deve essere possibile il calcolo parziale dei risultati solo per un insieme limitato di ricettori, allo scopo di verifica puntuale o di calibrazione locale del programma.

19. **Restituzione grafica e tabellare dei risultati**

I risultati delle elaborazioni devono poter essere visualizzati in vari modi, nonché esportati per ulteriori successive elaborazioni o rappresentazioni. Il fornitore deve dichiarare se è possibile, e con quali caratteristiche e livelli qualitativi, fruire di visualizzazioni tridimensionali a più viste o a movimento continuo. Si privilegerà la visualizzazione dei risultati in 3 dimensioni anche sulle singole facciate. Gli output tabellari devono contenere una descrizione sintetica delle modalità del *run* e il significato dei parametri riportati. Dall'interno del software deve essere possibile preparare un grafico di output personalizzato (aggiunta di testo, modifica di colori, adattamento dimensionale, etc.). In mancanza di queste opzioni deve essere possibile esportare la tabella dei dati grezzi per importazione in altri software di grafica e/o sistemi geografici. I file esportati devono contenere – oltre ai livelli sonori – anche le coordinate dei punti bersaglio e/o della griglia.

I risultati:

- devono essere rappresentabili almeno con le seguenti modalità: valori relativi ai singoli punti (tabella), valori applicati direttamente alla mappa, curve di livello in vista dall'alto, *color mapping* in vista dall'alto, curve di livello su sezione verticale, *color mapping* su sezioni verticali;
- devono potere essere rappresentati in 3D, almeno nelle seguenti modalità: rappresentazione delle curve di livello in ambientazione 3D, *color mapping* in ambientazione 3D.

Deve essere possibile stampare le condizioni assunte (standard utilizzati, risoluzione della griglia, altezza, ecc.) per ottenere un determinato risultato grafico.

Deve essere possibile esportare le simulazioni effettuate in altri programmi, almeno nei seguenti formati: file ASCII, fogli elettronici tipo Excel, DXF, file Bitmap, ArcView e ArcInfo.

Deve essere possibile fare somme o sottrazioni, aritmetiche ed energetiche, di mappe acustiche.

Deve essere possibile ottenere mappe di conflitto (confronto tra i livelli sonori in un singolo ricevitore o tra mappe di rumore e valori limite di legge).

Deve essere possibile correlare i livelli di rumore previsti in facciata degli edifici con il numero di residenti (mappe di esposizione).

Deve essere possibile utilizzare i risultati di calcoli per la determinazione automatica delle facciate silenziose come richiesto dal D. Lgs. 194/05.

20. Strumenti di analisi quantitativa della popolazione esposta

Il programma deve stimare, come richiesto dal D. Lgs. 194/05, in maniera automatica:

- il numero totale, arrotondato al centinaio, di abitazioni esposte a prefissati intervalli di livelli di L_{den} e L_{night} ;
- il numero totale, arrotondato al centinaio, di persone esposte a prefissati intervalli di livelli di L_{den} e L_{night} ;
- la superficie totale, in km^2 , esposta a livelli di L_{den} e L_{night} superiori a valori dati.

3.4.2 Modelli di calcolo utilizzati per l'elaborazione delle mappe acustiche

Allo stato attuale l'Italia non dispone di modelli di calcolo nazionali, pertanto è tenuta ad **utilizzare i modelli ad interim** indicati dalla direttiva europea 2002/49/CE. Tali modelli rimarranno in vigore fino alla definitiva pubblicazione del metodo di calcolo europeo.

Per completezza di seguito si ricordano i modelli di calcolo ad interim raccomandati.

3.4.2.1 Sorgenti stradali

Il metodo di calcolo ad interim raccomandato per il rumore da traffico veicolare è il modello di calcolo 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.

Il modello NMPB-Routes 96 prevede un procedimento dettagliato per il calcolo dei livelli sonori a lungo termine generati dal traffico in prossimità dell'infrastruttura stradale.

Il modello NMPB-Routes 96 è implementato in diversi software commerciali.

3.4.2.2 Sorgenti ferroviarie

Il metodo di calcolo ad interim raccomandato per il rumore ferroviario è il modello di calcolo nazionale olandese "RMR", pubblicato in "*Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996*".

Questo modello comprende una metodologia di calcolo semplificata (SRM I) ed una di maggiore dettaglio (SRM II). Per quanto possibile è meglio utilizzare il metodo SRM II, come prescritto dalla Commissione Europea, inserendo valori di default per i dati di input non pervenuti.

Il modello RMR-SRM II è implementato in diversi software commerciali.

3.4.2.3 Sorgenti aeroportuali

Il metodo di calcolo ad interim raccomandato per il rumore degli aeromobili è il documento 29 ECAC-CEAC “*Report on standard method of computing noise contours around civil airports*”, 1997.

Tale documento descrive un approccio metodologico al quale non corrisponde uno specifico codice di calcolo da impiegare per la determinazione dei livelli di rumore di origine aeronautica nell’intorno degli aeroporti.

Sebbene la direttiva non faccia riferimento ad un esplicito modello, allo stato attuale è prassi ormai consolidata nell’ambito delle attività di competenza delle Commissioni Aeroportuali (istituite ai sensi dell’art.5 del D.M. 31 ottobre 1997) e in altri contesti, utilizzare il modello INM *Integrated Noise Model* realizzato dalla *Federal Aviation Administration* (FAA), il cui approccio rispecchia parzialmente le specifiche descritte nel documento ECAC-CEAC e può in sostanza essere reso compatibile con quest’ultimo.

3.4.2.4 Sorgenti industriali

Il metodo di calcolo ad interim raccomandato per il rumore prodotto dalle sorgenti di tipo industriale è l’ ISO 9613-2: “*Acoustics - Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2 - General method of calculation*” [66].

Questo metodo definisce ed implementa le modalità di attenuazione del suono in ambiente esterno prodotte da una qualsiasi sorgente esterna.

Il modello ISO 9613-2 è implementato in diversi software commerciali.

3.4.3 Combinazione dei livelli sonori concorrenti alla rumorosità ambientale

La combinazione dei livelli concorrenti alla rumorosità ambientale si applica per l’elaborazione delle mappe acustiche strategiche: i livelli di immissione ai ricettori generati dalle varie sorgenti sonore devono essere combinati per determinare l’esposizione globale al rumore e /o una previsione generale per l’agglomerato analizzato.

La combinazione dei livelli sonori ai ricettori si esegue effettuando la somma energetica dei vari contributi:

$$L_{tot} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (3)$$

dove:

L_{tot} è il livello sonoro complessivo;

L_i è il livello rilevato o calcolato per ciascuna delle sorgenti presenti (in termini di L_{den} o L_{night});

n è il numero di sorgenti che concorrono al livello sonoro complessivo.

- I livelli sonori complessivi riportati nelle mappe acustiche strategiche possono essere:
- calcolati direttamente attraverso **un unico modello di calcolo**, fornendo in ingresso al software previsionale tutte le informazioni relative alle diverse sorgenti presenti nell'area di analisi;
 - sommando logaritmicamente i valori assunti dai livelli di pressione sonora prodotti dalle diverse sorgenti in tutti i punti di una griglia georeferenziata mediante l'utilizzo di strumenti GIS. Questa operazione richiede di **operare su una stessa base cartografica** e di calcolare i livelli di pressione sonora dovuti alle diverse sorgenti di rumore **sulla stessa griglia spaziale**. In caso contrario, la sovrapposizione delle diverse mappe e la manipolazione dei dati che ne consegue conduce a risultati di accuratezza molto inferiore rispetto ai valori associati alle rispettive mappe di partenza ed in pratica inaccettabile.

Questo punto è particolarmente problematico alla luce del D. Lgs. 194/05, che consente ai singoli gestori di infrastrutture di trasporto – anche relativamente ai tratti d'interesse di un agglomerato urbano – di produrre le mappe acustiche ciascuno per suo conto, su basi cartografiche non armonizzate, con modelli di calcolo diversi e griglie spaziali indipendenti. In generale, ne risultano mappe di rumore non integrabili tra loro e con quella delle ulteriori sorgenti dell'agglomerato. In queste condizioni, la somma energetica rappresentata dalla formula (3) non è praticamente realizzabile. Pertanto, l'unica soluzione rimanente è la costruzione di un modello acustico complessivo dell'agglomerato, da parte di un'unica autorità individuata dalla Regione. In tal caso però l'autorità designata necessita di dettagliati dati di input relativi alle singole infrastrutture, che vanno ben oltre ai dati minimali che i gestori devono obbligatoriamente dichiarare secondo il *Reporting Mechanism* [21], [30]. È quindi necessario attivarsi fin dall'inizio delle attività per ottenere la collaborazione dei gestori nel fornire i dati necessari.

3.4.4 Influenza delle condizioni meteorologiche

La determinazione del livello a lungo termine richiede la caratterizzazione del livello sonoro in due condizioni meteorologiche specifiche (omogenea e favorevole alla propagazione) e l'introduzione di un fattore di ponderazione p , che quantifica l'incidenza nel lungo periodo di condizioni favorevoli alla propagazione. L'espressione del livello a lungo termine si riferisce alla formulazione proposta dal metodo ad interim XPS 31-133 individuato dalla Direttiva 2002/49/CE del 25 giugno 2002 [21], [22]:

$$L_{longterm} = 10 \lg \left(p \cdot 10^{\frac{L_F}{10}} + (1-p) \cdot 10^{\frac{L_H}{10}} \right) \quad (4)$$

dove:

L_F è il livello calcolato o rilevato in condizioni favorevoli alla propagazione, rappresentativo della variabilità delle emissioni sonore della sorgente specifica nei tre periodi di riferimento diurno, serale e notturno;

L_H è il livello acustico calcolato o rilevato in condizioni omogenee di propagazione, rappresentativo della variabilità delle emissioni sonore della sorgente specifica nei tre periodi di riferimento diurno, serale e notturno;

p è l'incidenza nel lungo periodo di condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione del rumore nella direzione sorgente-ricettore (cfr. punto 3.3).

3.4.5 Valori delle impostazioni generali del programma

I valori delle impostazioni generali di calcolo per il software di simulazione acustica possono indicativamente essere desunti da quelli adottati nel primo ciclo di mappatura, qui di seguito riportati.

```
Angle increment:          1,00 degree
Reflection depth:         0
Number of reflections:    2
Maximal search radius     1000 m
Weighting:                dB(A)
Calculation with side screening
Source side reflection precalculation enabled
```

Standards:

```
Roads:      NMPB - Routes - 96
Driving on right side
Emission according to:      Guide du Bruit (Lden)
Limitation of screening loss:
    single/multiple         20 dB /25 dB
Environment:
    Air pressure            1013,25 mbar
    rel. Humidity           70 %
    Temperature             10 °C
    Fixed favorable/homogeneous percentage:
    p(6-20h)[%]=50,0;  p(20-22h)[%]=75,0;  p(22-6h)[%]=100,0;
```

Dissection parameters:

```
Distance to diameter factor 2
Minimal Distance [m]         1 m
Max. Difference GND+Diffraction  1 dB
Max. No. of Iterations      4
```

Railway: RMR 2002 (EU)

```
Emission according to: RMR 2002 (Lden)
Air absorption:        ISO 3891
Environment:
    Air pressure            1013,25 mbar
    rel. Humidity           80 %
    Temperature             10 °C
    Meteorological Correction:
    C0(6-20h)[dB]=0,0;  C0(20-22h)[dB]=0,0;  C0(22-6h)[dB]=0,0;
```

```
Industry:              ISO 9613-2 : 1996
Air absorption:        ISO 9613
```

Limitation of screening loss:
 single/multiple 20 dB /25 dB
 Environment:
 Air pressure 1013,25 mbar
 rel. Humidity 70 %
 Temperature 10 °C
 Meteorological Correction:
 C0(6-20h)[dB]=0,0; C0(20-22h)[dB]=0,0; C0(22-6h)[dB]=0,0;
 VDI-Parameters for diffraction
 C1=3 C2=20
 Dissection parameters:
 Distance to diameter factor 2
 Minimal Distance [m] 1 m
 Max. Difference GND+Diffraction 1 dB
 Max. No. of Iterations 4
 Assessment: Lden (IT)

Grid Map:
 Grid Interpolation:
 Field size = 9x9
 Min/Max = 10,0 dB
 Difference = 0,1 dB

3.4.6 Concorsualità di più sorgenti sonore

Nel caso di concorsualità di più sorgenti sonore:

1. il valore limite da attribuirsi alle aree in cui si sovrappongono più fasce di pertinenza è il valore limite più elevato.
2. il limite di riferimento che ciascuna sorgente deve rispettare si può ottenere da una rimodulazione del valore limite assoluto di zona (L_{zona}), previsto dalla classificazione territoriale o dalle fasce di pertinenza acustica delle infrastrutture, in funzione del numero di sorgenti concorsuali. Il limite di soglia (L_s) a cui le singole sorgenti concorsuali devono riferirsi si può calcolare utilizzando l'espressione:

$$L_s = L_{zona} - 10 \lg(N) \quad (5)$$

dove N è il numero di sorgenti concorsuali presenti nella medesima area critica.

Il contributo di una sorgente al livello di rumore complessivo può essere trascurato se il livello di rumore da essa immesso è inferiore di 10 dB(A) al livello della sorgente a cui è attribuito il massimo livello di immissione sonora e/o inferiore al livello di soglia calcolato per N - 1 sorgenti sonore.

3.4.7 Calibrazione del modello con misurazioni di riferimento

Modelli complessi come quelli relativi alla situazione acustica di un intero agglomerato urbano o di un insieme di archi stradali necessitano di una accurata messa a punto, che non può prescindere dal confronto con valori misurati. Purtroppo i dati sperimentali disponibili sono spesso pochi o nulli, in quanto a livello amministrativo si tende a non valutare adeguatamente l'importanza di misure di riferimento e quindi a non predisporre il necessario budget. Si

raccomanda quindi, per ogni futuro ciclo di mappatura, di **predisporre il budget per una nutrita campagna di misurazioni fonometriche accoppiate a misure di traffico**, che sono le sole che permettono di calibrare rapidamente il modello in modo che risponda come nella realtà.

Attualmente manca una specifica tecnica sulla calibrazione dei modelli di calcolo, se si eccettuano le indicazioni della UNI 11143-1 [44], dalle quali sono riprese le considerazioni seguenti.

Concorrono all'incertezza dei risultati i seguenti fattori:

- l'incertezza dei dati di ingresso del modello di calcolo, quali: potenza sonora e direttività delle sorgenti sonore, tipologia puntuale, lineare o areale delle sorgenti sonore, fattori di riflessione delle superfici modellate, ecc.;
- l'incertezza dovuta alle ipotesi sulle quali è basato il modello di calcolo, quali: rappresentazione idealizzata delle condizioni geomorfologiche e meteorologiche, presa in conto dei fenomeni di riflessione e di diffrazione e relativo grado di approssimazione, ecc.;
- l'ampiezza dell'area di validità del modello di calcolo, intesa come l'area oltre la quale le approssimazioni insite nel modello di calcolo non permettono più di ottenere risultati attendibili, indipendentemente dai valori dei dati di ingresso;
- l'incertezza dovuta alla rappresentazione dei valori numerici con un numero finito di cifre;
- l'incertezza dovuta alla combinazione dei valori di ingresso secondo algoritmi complessi ("rumore di calcolo").

Nel caso di utilizzo diretto di un modello di calcolo senza confronto con misurazioni, l'incertezza può talora assumere valori così elevati da precludere un confronto significativo con valori limite assegnati, e ciò si può verificare per casi anche molto diversi tra loro e non identificabili a priori. In particolare, eseguendo un confronto a posteriori tra le previsioni di modelli di calcolo non calibrati e valori misurati, si riscontrano spesso importanti deviazioni sistematiche.

Nel caso di calcolo con un modello calibrato per confronto con misurazioni, le componenti d'incertezza associate all'uso del modello di calcolo possono essere notevolmente ridotte, anche se naturalmente vengono introdotte tutte le componenti d'incertezza associate alle misurazioni dirette. L'esperienza dimostra che un'adeguata calibrazione per confronto con misurazioni porta ad una riduzione del valore finale dell'incertezza tipo composta, per cui **si raccomanda l'uso di modelli di calcolo calibrati**.

La calibrazione deve avvenire di preferenza per confronto con misurazioni relative al sito ed al caso specifico in esame. Solo se ciò non è possibile si ammette una calibrazione compiuta eseguendo sia i calcoli sia le misurazioni in un caso simile a quello in esame, ancorché semplificato.

Per calibrare il modello di calcolo si variano i valori di alcuni parametri critici al fine di avvicinare i valori calcolati con i valori misurati: ciò richiede che si identifichino con cura i parametri che, per difficoltà nella stima o imprecisione del modello di calcolo, si ritiene abbiano maggiori responsabilità nel determinare differenze tra misure e calcoli. Tale operazione può essere effettuata ponendosi come obiettivo la minimizzazione della somma degli scarti quadratici tra i valori calcolati ed i valori misurati.

Per ogni applicazione di un modello di calcolo, calibrato o meno, si devono dichiarare almeno le incertezze dei singoli dati di ingresso, e una stima dell'incertezza globale del modello di calcolo. Le incertezze dei singoli dati di ingresso possono essere stimate anche per "classi di qualità" dei dati applicando i toolkit della *Good Practice Guide* [29], dalle quali si può pervenire ad una stima di massima dell'incertezza globale del modello costruito. L'incertezza globale del modello di calcolo può essere ripresa da quanto dichiarato dagli estensori del modello. Un esempio di stima dell'incertezza globale del modello di calcolo è fornita nel prospetto 5 della ISO 9613-2 [66], qui riportato come tabella 9.

Tabella 9. – Accuratezza stimata del modello ISO 9613-2 sul parametro $L_{AT}(DW)$ per sorgenti con spettro sonoro a banda larga [66].

| Altezza media sorgente-ricevitore, h in m | Distanza sorgente-ricevitore, d in m | |
|---|--|--------------------|
| | $0 < d < 100$ m | $100 < d < 1000$ m |
| $0 < h < 5$ m | ± 3 dB | ± 3 dB |
| $5 < h < 30$ m | ± 1 dB | ± 3 dB |

La letteratura sulla stima dell'incertezza degli altri modelli di calcolo ad interim è troppo tecnica per poter essere qui discussa, ed alla fine porta a stime non troppo dissimili da quella sopra riportata per la ISO 9613-2.

L'incertezza del modello costruito dipende dalle incertezze dei dati di ingresso e del modello di calcolo in maniera complessa.

In pratica per la calibrazione **globale** del modello in un'area data si procede per passi successivi, per esempio nel modo seguente (si veda anche lo schema a blocchi rappresentato nella figura 9).

- 1) Effettuare misurazioni di livello sonoro, in funzione della frequenza, sia in punti di riferimento prossimi alle sorgenti sonore individuate (punti di calibrazione delle sorgenti) sia in punti più lontani ed in prossimità dei ricettori (punti di calibrazione dei ricettori e di verifica). I punti di verifica devono essere generalmente diversi dai punti di calibrazione.

Ne risultano i valori di livello sonoro L_{mc} nei punti di calibrazione e L_{mv} nei punti di verifica.

- 2) Sulla base dei valori misurati, determinare i valori dei parametri di ingresso del modello di calcolo (potenza sonora e direttività delle sorgenti sonore, tipologia puntuale, lineare od areale delle sorgenti sonore, ecc.), in maniera tale che la media degli scarti $|L_{cc} - L_{mc}|$ al quadrato tra i valori calcolati con il modello, L_{cc} , ed i valori misurati, L_{mc} , nei punti di calibrazione delle sorgenti, sia minore di 0,5 dB:

$$\frac{\sum_{c=1}^{N_S} (L_{cc} - L_{mc})^2}{N_S} \leq 0,5 \text{ dB} \quad (6)$$

dove N_S è il numero dei punti di riferimento sorgente-orientati.

- 3) Sulla base dei valori misurati ai ricettori (calibrazione ai ricettori), minimizzare la somma dei quadrati degli scarti regolando i parametri del modello che intervengono sulla propagazione, in maniera tale che la media degli scarti al quadrato sia minore di 1,5 dB:

$$\frac{\sum_{c=1}^{N_R} (L_{cc} - L_{mc})^2}{N_R} \leq 1,5 \text{ dB} \quad (7)$$

dove N_R è il numero di punti di misura ricettore-orientati utilizzati per la calibrazione.

- 4) Calcolare i livelli sonori nei punti di verifica, L_{cv} .
- 5) Se lo scarto $|L_{cv} - L_{mv}|$ al quadrato tra i livelli sonori calcolati, L_{cv} , e quelli misurati, L_{mv} , in tutti i punti di verifica è minore di 3 dB(A), allora il modello di calcolo è da ritenersi calibrato; altrimenti, è necessario riesaminare i dati di ingresso del modello di calcolo (specificatamente quelli relativi alla propagazione acustica) e ripetere il processo.

In talune situazioni il procedimento, soprattutto in presenza di sorgenti sonore non molto numerose o non molto complesse, può consentire di ridurre lo scarto fra i valori calcolati e i valori misurati entro 2 dB in tutti i punti di verifica.

La metodologia può essere talvolta semplificata, per esempio utilizzando punti ricettori-orientati, oltre che per regolare i parametri del modello di propagazione, come punti di verifica.

Anche per la calibrazione **puntuale** del modello in un piccolo insieme di punti (al limite uno solo) la procedura è generalmente semplificata. L'importante è che sia dichiarato lo scostamento ottenuto tra valori calcolati e valori misurati.

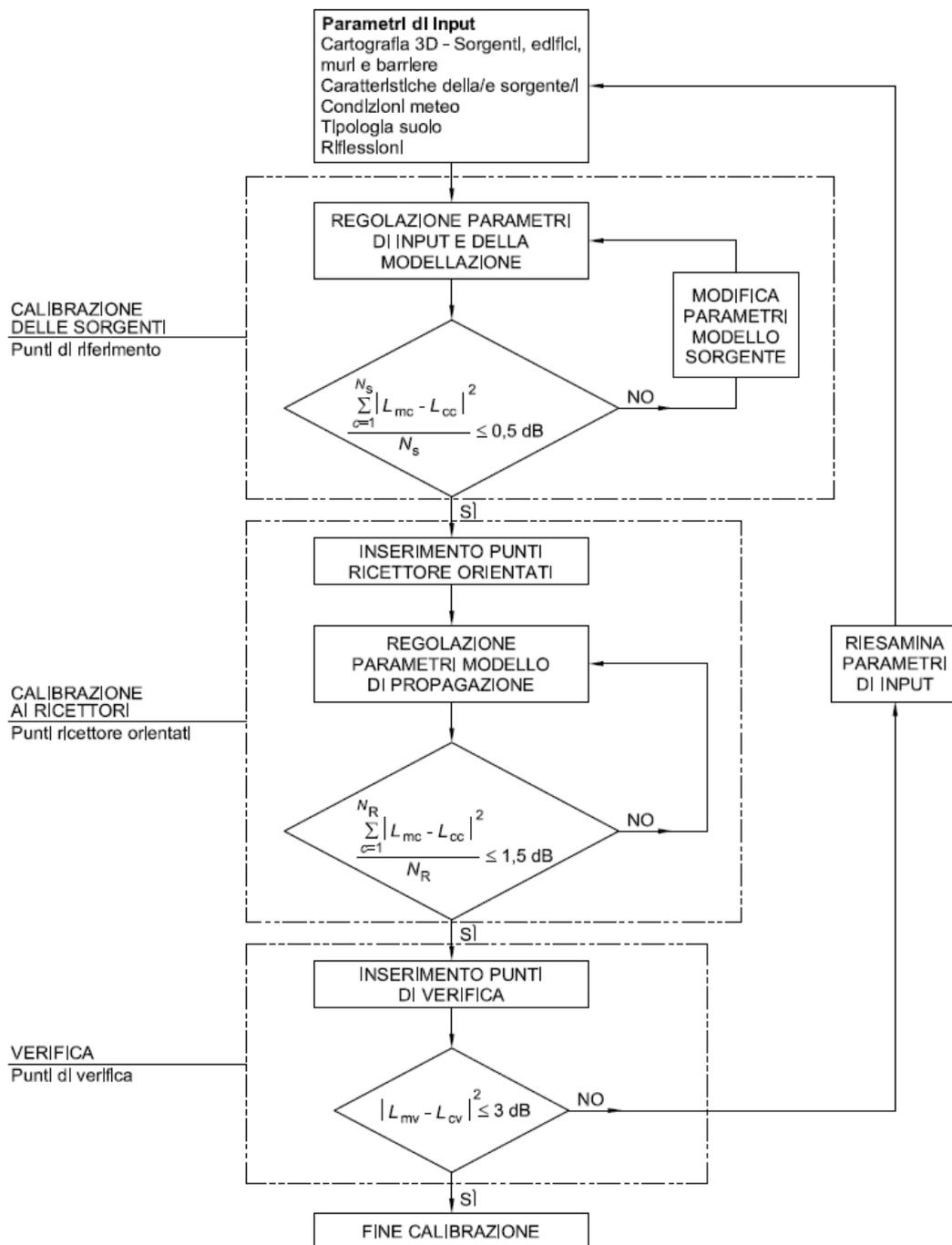


Figura 9 – Schema a blocchi esemplificativo di una possibile procedura di calibrazione (da [44]).

Si possono inoltre dare le indicazioni seguenti.

1. Le misurazioni per la calibrazione del modello devono essere effettuate in un insieme di punti sufficientemente numeroso e rappresentativi delle diverse situazioni presenti nel modello (tipologie di sorgenti, ambienti di propagazione sonora, tipologie di ricettori, ecc.).

2. I punti di misura devono essere caratterizzati in maniera univoca, mediante georeferenziazione, fotografie, ecc.
3. Le misurazioni di livello sonoro devono essere accompagnate da misurazioni dei flussi di traffico veicolare, ferroviario o aeroportuale, in funzione delle tipologie di sorgenti sonore presenti nelle vicinanze, o almeno i gestori delle infrastrutture interessate devono fornire i flussi di traffico rilevati nel periodo di misura.
4. Le misurazioni devono essere condotte a norma di legge, con strumentazione fonometrica di classe 1, da parte di tecnici competenti in acustica ambientale ai sensi della legge 447/95.
5. Le misurazioni devono essere condotte per una durata minima di 24 ore consecutive (per strade ed aeroporti le disposizioni di legge sono più articolate, ma i tempi canonici prescritti dalle disposizioni in vigore non si riferiscono alla calibrazione dei modelli di calcolo).
6. Le condizioni meteorologiche durante le misurazioni non devono essere molto diverse dalle condizioni medie assunte nel modello.

Spesso gli enti di controllo ambientale hanno dati storici relativi a monitoraggi acustici effettuati sul territorio in anni passati. Tuttavia se le schede fonometriche non sono accompagnate da rilievi di traffico o di altri parametri d'influenza, quali per esempio le condizioni meteorologiche, il confronto con un modello attuale non è molto indicativo ed anzi può a volte essere fuorviante, in quanto:

- i rilievi fonometrici non sono accompagnati da rilievi di traffico e risulta quindi impossibile simulare l'emissione della sorgente al momento delle misure di rumore: per esempio i flussi veicolari attuali sono verosimilmente maggiori;
- i rilievi fonometrici non sono accompagnati da rilievi meteorologici, e risulta quindi impossibile stimare l'influenza dei parametri climatici sulla propagazione del suono;
- nel tempo possono essere intervenute trasformazioni urbanistiche o dell'infrastruttura costituente la sorgente sonora, delle quali risulta impossibile stimare la portata;
- i rilievi fonometrici sono stati riportati utilizzando indicatori diversi da quelli attualmente richiesti.

Inoltre, occorre sottolineare che i modelli acustici di interi agglomerati sono modelli "globali", fatti cioè per dare previsioni globalmente corrette su aree vaste, nello spirito della direttiva 2002/49/CE; per renderli efficaci a livello locale, cioè in ogni microarea o – al limite – per ogni singolo edificio, come può essere richiesto nello sviluppo di piani d'azione *operativi*, è necessario calibrare tali modelli su insiemi di valori misurati in ogni microarea.

A conclusione di questo paragrafo si riporta un esempio concreto, tratto dalla calibrazione del modello acustico dell'agglomerato di Bologna nel primo ciclo di mappatura.

Esempio di calibrazione puntuale

In un punto selezionato, lungo i viali di circonvallazione di Bologna, è stata posta una centralina fonometrica, accompagnata da dispositivi di rilevazione del traffico. La tabella 10 riporta le informazioni essenziali. Le figure 10 e 11 mostrano la posizione della centralina.

Nel modello acustico è stato posto un ricevitore nella posizione esatta in cui è stata installata la centralina (figura 12).

Tabella 10. – Informazioni sulla centralina fonometrica.

| POSIZIONE CENTRALINA | VIALE ERCOLANI |
|---|---|
| Coordinate | 44°29.481' N - 11°21.457' E |
| Posizione box | a ridosso della cancellata di confine degli spazi verdi di pertinenza dell'ospedale Sant'Orsola |
| Distanza box da cabina elettrica | 17 m |
| Distanza box da stradina della camera mortuaria | 25 m |
| Altezza microfono da centro carreggiata | 3,80 m |
| Distanza microfono da centro carreggiata direzione via Massarenti | 9 m |
| Distanza microfono da centro carreggiata direzione via Mazzini | 25 m |



Figura 10 - Fotografie aeree con la posizione della centralina fonometrica.

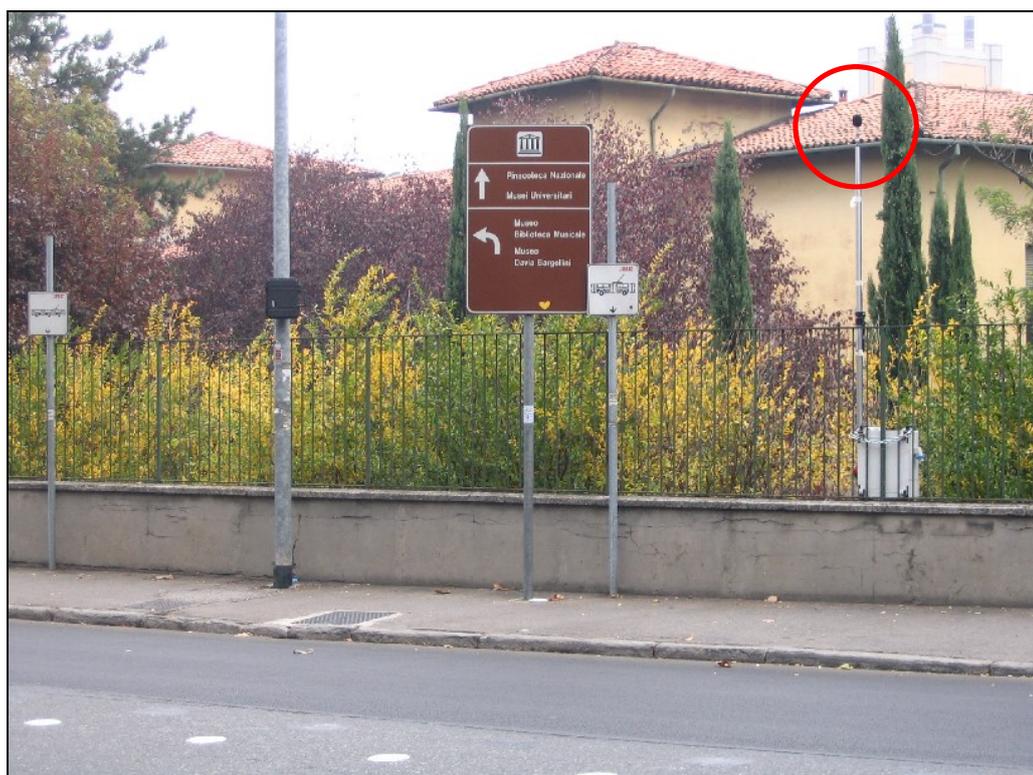


Figura 11 - Fotografia con la posizione della centralina fonometrica.

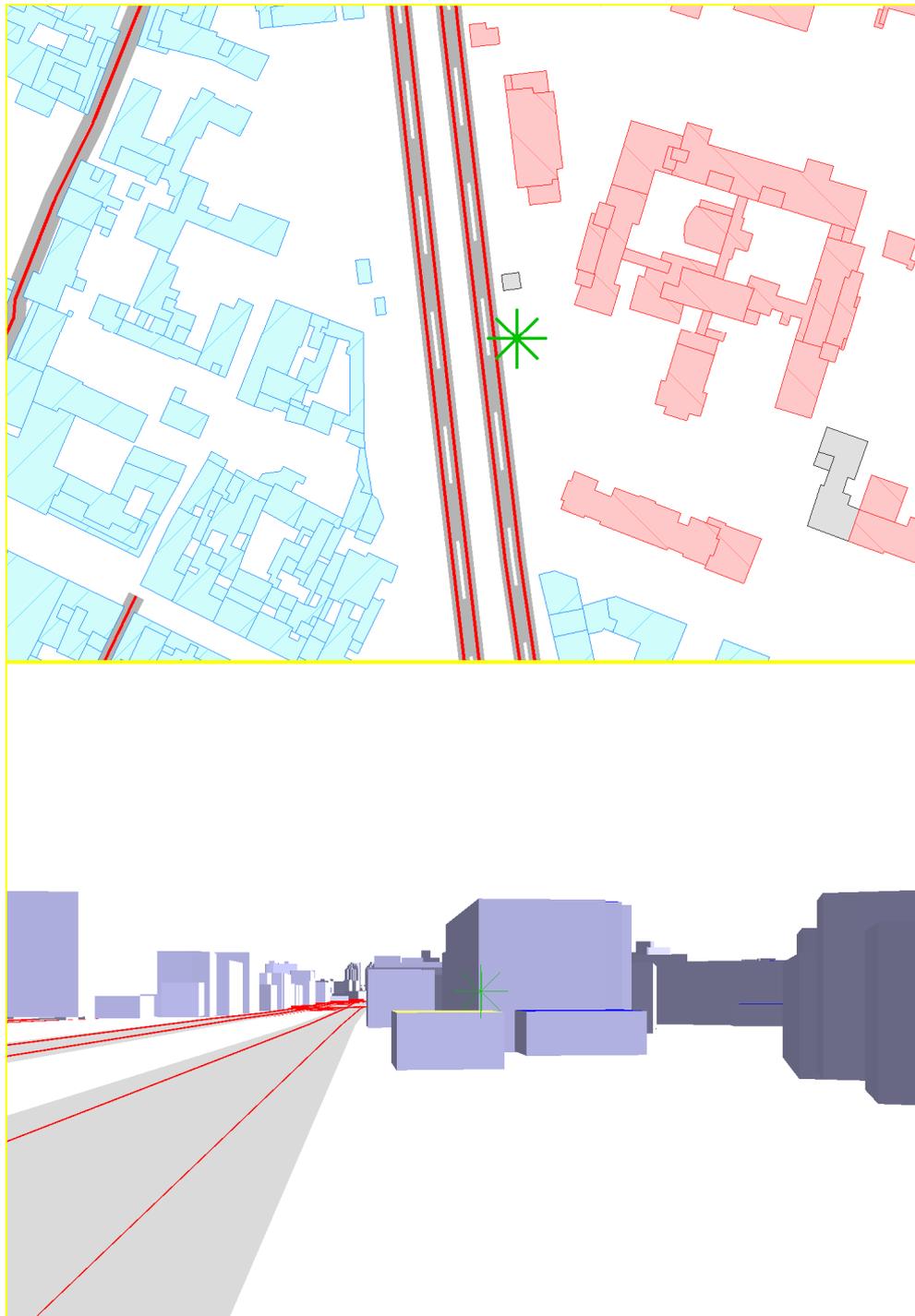


Figura 12 - Posizione del ricevitore corrispondente alla centralina fonometrica nel modello acustico.

La calibrazione è stata eseguita selezionando i dati in base all'arco temporale in cui sono disponibili tutti i dati, fonometrici e di traffico, nelle due direzioni di marcia verso Porta S. Vitale e verso Porta Mazzini. L'arco temporale selezionato, perciò, va dalle ore 12:00 del 21/10/2008 alle ore 12:00 del 22/10/2008. La tabella 11 riassume i flussi veicolari ed i livelli sonori misurati.

Tabella 11. – Flussi veicolari e livelli sonori misurati in Viale Ercolani.

| DATA | ORA | Direzione Porta S. Vitale | | | | Direzione Porta Mazzini | L_{Aeq} |
|------------|-----|---------------------------|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| | | N. Leg. | N. Pes. | Velocità Leggeri [km/h] | Velocità Pesanti [km/h] | N. Leggeri + Pesanti | dB(A) |
| 22/10/2008 | 0 | 328 | 30 | 50,8 | 41,7 | 329 | 67,8 |
| 22/10/2008 | 1 | 193 | 7 | 49,9 | 49,7 | 200 | 65,1 |
| 22/10/2008 | 2 | 133 | 4 | 54,9 | 44,3 | 104 | 64,6 |
| 22/10/2008 | 3 | 110 | 12 | 51,7 | 37,1 | 78 | 65,4 |
| 22/10/2008 | 4 | 76 | 11 | 54,0 | 49,4 | 65 | 63,7 |
| 22/10/2008 | 5 | 123 | 14 | 52,9 | 31,9 | 95 | 64,4 |
| 22/10/2008 | 6 | 295 | 46 | 51,8 | 37,2 | 271 | 68,2 |
| 22/10/2008 | 7 | 847 | 166 | 43,3 | 35,1 | 562 | 71,1 |
| 22/10/2008 | 8 | 973 | 247 | 34,8 | 27,7 | 695 | 71,5 |
| 22/10/2008 | 9 | 962 | 190 | 38,4 | 31,8 | 631 | 70,3 |
| 22/10/2008 | 10 | 924 | 127 | 42,6 | 34,1 | 678 | 70,6 |
| 22/10/2008 | 11 | 938 | 127 | 43,3 | 35,5 | 681 | 70,9 |
| 21/10/2008 | 12 | 848 | 141 | 46,3 | 40,7 | 736 | 71,2 |
| 21/10/2008 | 13 | 913 | 123 | 45,4 | 37,6 | 733 | 71 |
| 21/10/2008 | 14 | 893 | 136 | 46,1 | 38,1 | 664 | 71,1 |
| 21/10/2008 | 15 | 938 | 130 | 45,0 | 36,4 | 670 | 70,9 |
| 21/10/2008 | 16 | 904 | 117 | 44,8 | 37,8 | 775 | 71,1 |
| 21/10/2008 | 17 | 926 | 142 | 44,1 | 37,6 | 847 | 71,3 |
| 21/10/2008 | 18 | 886 | 104 | 45,4 | 37,7 | 847 | 71,1 |
| 21/10/2008 | 19 | 766 | 97 | 46,4 | 37,4 | 833 | 70,5 |
| 21/10/2008 | 20 | 701 | 77 | 49,7 | 42,0 | 694 | 70,3 |
| 21/10/2008 | 21 | 471 | 43 | 51,5 | 41,5 | 347 | 69,2 |
| 21/10/2008 | 22 | 454 | 35 | 49,5 | 40,8 | 374 | 68,6 |
| 21/10/2008 | 23 | 438 | 30 | 50,2 | 42,6 | 372 | 68,3 |

I flussi veicolari e le velocità medi per periodo di riferimento sono stati applicati al modello acustico ed i risultati della simulazione sono stati confrontati con le misure effettuate. Risulta che il modello stima il valore di L_{den} con un'approssimazione di 1 dB rispetto al valore misurato: calcolato 74,8 dB, misurato 73,8 dB.

3.5 Presentazione dei risultati

Gli elaborati prodotti a seguito delle attività di mappatura acustica e mappatura acustica strategica devono essere predisposti secondo formati standard, stabiliti dagli enti di *reporting* autorizzati, ed organizzati in strutture logiche che ne consentano una facile individuazione e consultazione. In particolare si distinguono due tipologie di presentazione dei dati:

- presentazione dei dati alla Commissione Europea [30], [31];
- presentazione dei dati a supporto delle attività di controllo e validazione dei risultati conseguiti.

La prima tipologia di presentazione dei dati è obbligatoria; è rivolta al Ministero dell’Ambiente che a sua volta la deve consegnare alla Commissione Europea.

La seconda tipologia è opzionale, a discrezione degli enti di raccolta dati e presentazione individuati dalla Regione e della Regione stessa, e si attua secondo le modalità da esse individuate; è rivolta alla Regione per la verifica delle procedure seguite e può essere utilizzata, in genere in forma semplificata, per la presentazione al pubblico.

3.5.1 Struttura dei dati da trasmettere alla Commissione

I risultati delle elaborazioni devono essere trascritti in un documento di presentazione dei dati [30], [31] che identifica l’autorità responsabile della mappatura e la sorgente a cui si riferisce (infrastruttura di trasporto principale o agglomerato). Il documento di presentazione dei dati è costituito da una o più tabelle in cui sono contenute le seguenti informazioni:

- risultati della mappatura;
- riferimenti alla copia elettronica del file contenente la tabella stessa;
- riferimenti al file relativo al documento descrittivo che esplicita i metodi di calcolo e di misura utilizzati, nonché i limiti di rumore da applicare alle sorgenti in relazione alle aree analizzate.

Per tabelle e documenti descrittivi il formato del metadato deve essere conforme alle specifiche per i metadati *Reportnet* della *European Environment Agency*.

3.5.1.1 Le tabelle dati

I dati contenuti nella tabelle devono essere organizzati ed aggregati per unità di presentazione dei dati. Ogni unità di presentazione dei dati deve fornire un unico insieme di dati che si riferisce all’insieme delle infrastrutture gestite. Con riferimento alle infrastrutture stradali e ferroviarie, il Ministero dell’Ambiente e per la Tutela del Territorio e del Mare richiede che siano forniti anche i dati disaggregati per singola infrastruttura.

I dettagli delle informazioni da riportare nelle tabelle, distinte per infrastrutture principali di trasporto ed agglomerati, sono indicati nelle tabelle DF4 (DF8) di [31] e riportati sinteticamente nei punti successivi.

Per le infrastrutture di trasporto principali in ogni unità di *reporting* si devono riportare i seguenti dati:

- a) identificativo dell'unità di *reporting*;
- b) popolazione esposta a livelli di L_{den} compresi da 55 dB a 59 dB, da 60 dB a 64 dB, da 65 dB a 69 dB, da 70 dB a 74 dB e ≥ 75 dB. Negli stessi intervalli, se disponibile, deve essere indicato il numero di residenti che occupano abitazioni dotate di insonorizzazione o di una facciata silenziosa;
- c) popolazione esposta a livelli di L_{night} compresi da 50 dB da 54 dB, da 55 dB a 59 dB, da 60 dB a 64 dB, da 65 dB a 69 dB e ≥ 70 dB. Negli stessi intervalli, se disponibile, deve essere indicato il numero di residenti che occupano abitazioni dotate di insonorizzazione o di una facciata silenziosa;
- d) numero di abitazioni, popolazione e superficie esposta a livelli di L_{den} maggiori di 55 dB, 65 dB e 75 dB. Il dato si riferisce anche alle infrastrutture interne agli agglomerati;
- e) riferimento al documento elettronico contenente le tabelle;
- f) riferimento al documento descrittivo di cui al punto seguente.

Per gli agglomerati deve essere predisposta una tabella per ogni tipologia di sorgente (strade, ferrovie, aeroporti, siti di attività industriale). Ciascuna tabella deve contenere le seguenti informazioni:

- a) identificativo dell'agglomerato;
- b) popolazione esposta a livelli di L_{den} compresi da 55 dB a 59 dB, da 60 dB a 64 dB, da 65 dB a 69 dB, da 70 dB a 74 dB e ≥ 75 dB. Negli stessi intervalli, se possibile, dovrebbe essere indicato il numero di residenti che occupano abitazioni dotate di insonorizzazione o di una facciata silenziosa;
- c) popolazione esposta a livelli di L_{night} compresi da 50 dB a 54 dB, da 55 dB a 59 dB, da 60 dB a 64 dB, da 65 dB a 69 dB e ≥ 70 dB. Negli stessi intervalli, se possibile, dovrebbe essere indicato il numero di residenti che occupano abitazioni dotate di insonorizzazione o di una facciata silenziosa;
- d) popolazione esposta a livelli di L_{den} compresi da 55 dB a 59 dB, da 60 dB a 64 dB, da 65 dB a 69 dB, da 70 dB a 74 dB e ≥ 75 dB riferita alle sorgenti principali incluse nell'agglomerato. Negli stessi intervalli, se possibile, dovrebbe essere indicato il numero di residenti che occupano abitazioni dotate di insonorizzazione o di una facciata silenziosa;
- e) popolazione esposta a livelli di L_{night} compresi da 50 dB a 54 dB, da 55 dB a 59 dB, da 60 dB a 64 dB, da 65 a 69 dB e ≥ 70 dB riferita alle sorgenti principali incluse nell'agglomerato. Negli stessi intervalli, se possibile, dovrebbe essere indicato il numero di residenti che occupano abitazioni dotate di insonorizzazione o di una facciata silenziosa;
- f) riferimento al documento descrittivo di cui al punto seguente.

3.5.1.2 Formato e contenuti della documentazione descrittiva

La documentazione descrittiva deve comprendere una relazione sintetica che illustri le procedure e modalità tecniche adottate per l'elaborazione delle mappe acustiche. I contenuti della relazione devono includere almeno i seguenti aspetti:

- descrizione delle caratteristiche della base cartografica impiegata per eseguire la mappatura: tipologia e risoluzione;
- descrizione dei dati inerenti le caratteristiche di emissione della sorgente forniti in ingresso al modello di calcolo: rappresentatività annuale del dato ed incertezza associata; l'incertezza può eventualmente essere stimata applicando i toolkit della *Good Practice Guide* [29];
- modello di calcolo utilizzato per eseguire la stima dei livelli di rumore;
- software utilizzato (denominazione commerciale) e relativa versione;
- modalità di calcolo dei livelli di rumore a lungo termine (influenza delle condizioni meteorologiche);
- modalità di rilievo dei livelli di rumore (nel caso in cui la mappatura sia stata eseguita con l'ausilio di rilievi fonometrici);
- procedura di calibrazione del modello (nel caso in cui siano stati effettuati rilievi fonometrici);
- procedure di calcolo per la stima della popolazione esposta;
- incertezza dei risultati associati alle mappe; l'incertezza può eventualmente essere stimata applicando i toolkit della *Good Practice Guide* [29];
- limiti di rumore applicabili alle aree mappate.

La documentazione descrittiva deve essere predisposta in formati elettronici di tipo non editabile, preferenzialmente *.pdf* o *.tif* multipagine.

3.5.2 Criteri per la definizione della struttura di reporting a supporto delle attività di controllo e validazione dei risultati

Le attività di controllo e validazione dei risultati richiedono la trasmissione di dati e strati informativi di dettaglio non contenuti nel documento di *reporting* per la Commissione Europea.

Pertanto in questo paragrafo sono suggerite una struttura dati e informazioni associate **non strettamente obbligatorie** ma solo raccomandate; esse costituiscono una traccia, ripresa dalla UNI/TS 11387 [40], alla quale le Autorità competenti possono attenersi per consentire di uniformare le modalità di strutturazione e trasmissione dei dati.

L'elevata mole di informazioni richieste da queste attività necessita di una struttura dati più complessa che può pensarsi composta da due macrostrutture di base:

- elementi descrittivi della struttura di dati: contiene documenti di tipo descrittivo in formato non editabile (relazioni, elenchi, schede, ecc.) ed un database con le informazioni inerenti gli elaborati consegnati e la loro collocazione fisica nei supporti provvisti;

- dati: contiene documenti di tipo descrittivo e gli strati informativi con i risultati e le informazioni attinenti alle attività di mappatura.

3.5.2.1 Elementi descrittivi della struttura dati

La macrostruttura “Elementi descrittivi della struttura dati” contiene documenti di tipo descrittivo (relazioni, elenchi, schede, ecc.) che illustrano l’architettura del sistema informativo impiegato per la memorizzazione e trasmissione dei dati.

La documentazione deve includere anche un elenco dei contenuti di ciascun supporto (per esempio CD/DVD) impiegato per memorizzare gli elaborati. La documentazione descrittiva deve essere predisposta in formati di tipo non editabile, preferenzialmente *.pdf* o *.tif* multipagina. Nella parte iniziale di ogni documento deve essere previsto un indice generale che consenta, attraverso un collegamento ipertestuale, l’accesso alle diverse parti del documento stesso.

Elenco degli elaborati.

Per facilitare la ricerca e la lettura degli elaborati, tutti i documenti memorizzati nei supporti trasmessi devono essere elencati in una tabella o inseriti in una database che consenta una rapida reperibilità delle informazioni concernenti i dati inviati. Di seguito sono indicati i campi che devono essere inclusi nella tabella o nel database:

- codice univoco identificativo del file;
- titolo dell’elaborato;
- nome del file;
- tipologia del file (strato informativo, metadato, allegato);
- descrizione del file;
- scala di rappresentazione (solo per la documentazione grafica);
- percorso per accedere direttamente al file;
- estensione del file;
- data di emissione del file originario;
- indicazione del supporto (per esempio CD/DVD) in cui è contenuto il file.

3.5.2.2 Dati

La macrostruttura “dati” contiene:

- i documenti di tipo descrittivo che illustrano procedure e modalità adottate per l’elaborazione delle mappe acustiche;
- gli strati informativi con i risultati e le informazioni attinenti alle attività di mappatura acustica.

Documenti di tipo descrittivo.

La documentazione descrittiva comprende una relazione sintetica che illustra le procedure e modalità tecniche adottate per l'elaborazione delle mappe acustiche. La relazione deve includere i contenuti indicati nel punto 3.5.1.2 ed in aggiunta le procedure adottate per:

- la stima dei livelli di rumore prodotti dalla sovrapposizione delle diverse sorgenti (elaborazione delle mappe strategiche);
- la descrizione delle caratteristiche del terreno (uso del suolo) nell'intorno dell'infrastruttura.

I documenti di tipo descrittivo devono essere elaborati in formato elettronico, preferibilmente *.pdf* o *.doc*.

Strati informativi.

Con “strato informativo” si intende l'unità base della gestione dei dati che definisce attributi posizionali e tematici per gli elementi di mappa di una data area. A supporto di ogni strato informativo è collegato un documento descrittivo (metadato) che riporta l'insieme delle informazioni associate al dato contenuto nello strato informativo. Lo stesso strato informativo può richiamare al suo interno altri documenti di supporto (allegati) ad esso direttamente correlati.

Strato informativo, metadato ed allegati associati allo strato informativo devono essere contenuti nel medesimo supporto e all'interno di una stessa cartella, con la medesima nomenclatura, fatta eccezione per il suffisso finale, come mostrato nell'esempio di figura 13.

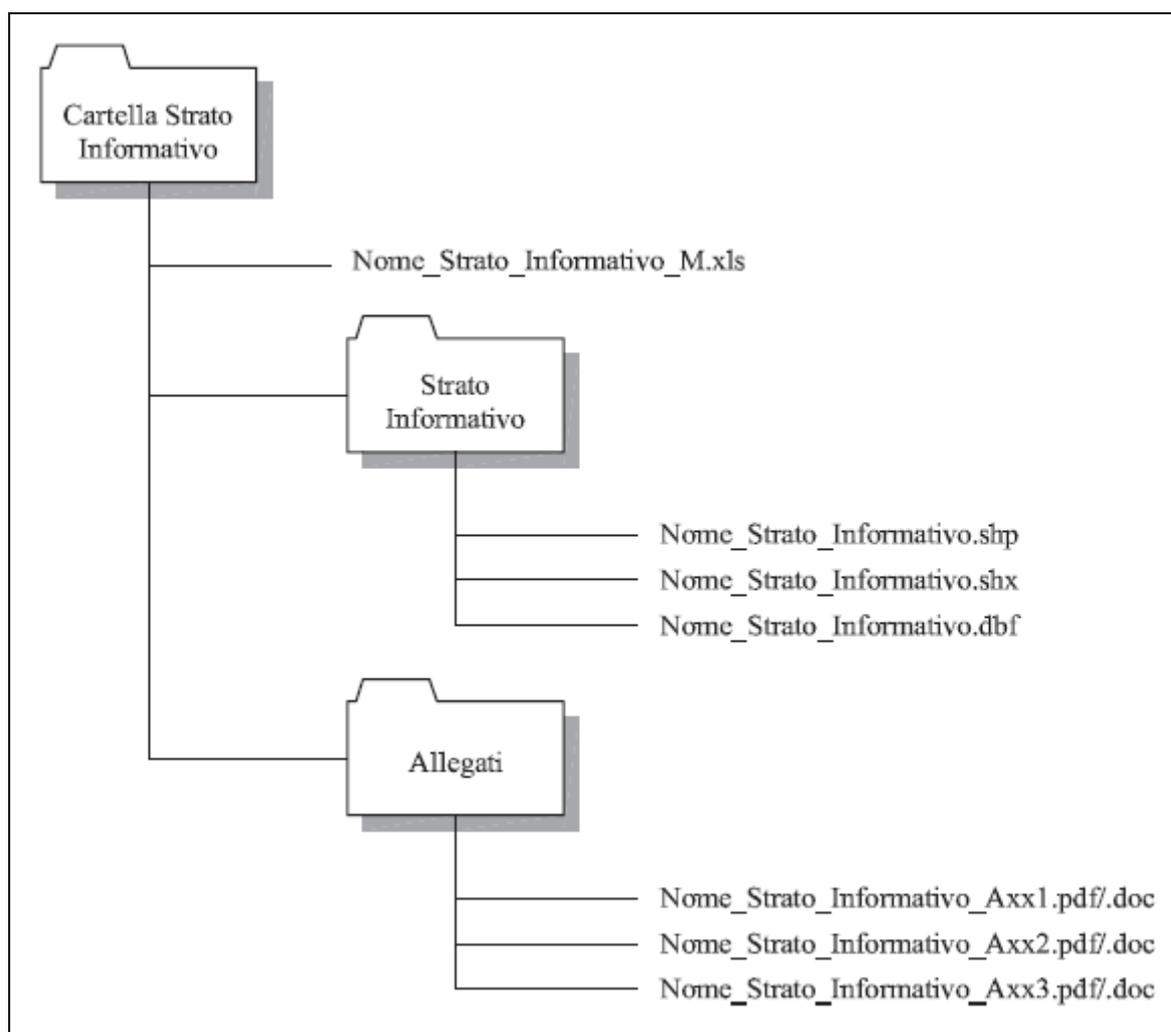


Figura 13 – Organizzazione della cartella contenente lo strato informativo. Nome_Strato_Informativo_M (metadato). Nome_Strato_Informativo_Axxx (allegati: possono essere presenti più allegati all'interno della cartella di uno stesso strato informativo) (da [40]).

Elenco degli strati informativi di supporto al controllo e alla validazione dei risultati.

Per coadiuvare il controllo e la validazione dei risultati si devono trasmettere alle Autorità competenti strati informativi in grado di fornire informazioni di dettaglio sulle caratteristiche della sorgente e l'ambiente di propagazione. È lasciata alle Autorità competenti la definizione delle informazioni da trasmettere. Indicativamente si riporta di seguito un elenco degli strati informativi utili alle attività di cui sopra:

- a) agglomerato - Strato informativo contenente la delimitazione dell'agglomerato. Gli attributi associati a questo strato informativo devono contenere dati su: identificazione dell'agglomerato, numero di abitanti e superficie coperta;
- b) edifici ed aree - Strato informativo contenente i poligoni corrispondenti ai ricettori interni alle aree mappate: edifici, parchi pubblici ed aree esterne destinate ad attività ricreative. Gli

- attributi associati a questo strato informativo devono contenere dati su: ubicazione, altezza degli edifici, classe acustica (zonizzazione), limiti di rumore associati, numero di residenti;
- c) ostacoli - Strato informativo contenente gli ostacoli alla propagazione del suono. Gli attributi da associare a questo strato informativo comprendono almeno le informazioni relative all'altezza ed alla lunghezza dell'ostacolo. Se noto può essere aggiunto il dato sul coefficiente di assorbimento acustico e/o sul materiale di cui è costituito l'ostacolo;
 - d) strade - Strato informativo contenente gli assi stradali mappati. Gli attributi da associare a questo strato informativo si riferiscono a: identificazione dell'asse stradale e del segmento mappato, lunghezza del segmento e flusso veicolare medio annuo. Se il flusso veicolare medio annuo non è noto possono essere inseriti i valori minimo e massimo rilevati. Se noto può essere aggiunto il dato sulla tipologia della pavimentazione stradale;
 - e) ferrovie - Strato informativo contenente gli assi ferroviari mappati. Gli attributi da associare a questo strato informativo si riferiscono a: identificazione dell'asse ferroviario e del segmento mappato, lunghezza del segmento e flusso medio annuo. Se noto può essere aggiunto il dato sul sedime ferroviario;
 - f) aeroporti - Strato informativo contenente l'area aeroportuale e le piste. Gli attributi da associare a questo strato informativo si riferiscono a: identificazione dell'aeroporto, numero delle piste e traffico medio annuo;
 - g) siti di attività industriale, inclusi i porti - Strato informativo contenente la delimitazione dei siti di attività industriale. Gli attributi da associare a questo strato informativo si riferiscono a: identificazione del sito industriale e delle attività svolte negli stabilimenti compresi nell'area;
 - h) ricettori - Strato informativo contenente i punti in cui sono stati individuati i valori di L_{den} e L_{night} rappresentativi dei livelli per singola abitazione o edificio. A questo strato informativo sono associati gli attributi relativi ai valori di L_{den} e L_{night} calcolati in ciascun punto. Negli agglomerati si deve produrre uno strato informativo per ogni sorgente mappata (strade, ferrovie, aeroporti e siti di attività industriale);
 - i) isolivello L_{den} - Strato informativo contenente i poligoni relativi ai valori di L_{den} che sono compresi negli intervalli da 55 dB a 60 dB, da 60 dB a 65 dB, da 65 dB a 70 dB, da 70 dB a 75 dB e ≥ 75 dB. Negli agglomerati si deve produrre uno strato informativo per ciascuna delle sorgenti mappate (strade, ferrovie, aeroporti e siti di attività industriale);
 - j) isolivello L_{night} - Strato informativo contenente i poligoni relativi ai valori di L_{night} che sono compresi negli intervalli da 50 dB a 55 dB, da 55 dB a 60 dB, da 60 dB a 65 dB, da 65 dB a 70 dB e ≥ 70 dB. Negli agglomerati si deve produrre uno strato informativo per ciascuna delle sorgenti mappate (strade, ferrovie, aeroporti e siti di attività industriale);
 - k) griglia - Strato informativo contenente i punti della griglia in cui sono stati calcolati i valori di L_{den} e L_{night} . La tabella degli attributi contiene i valori di L_{den} e L_{night} calcolati nei punti

della griglia. Si deve produrre uno strato informativo per ciascuna delle sorgenti mappate (strade, ferrovie, aeroporti e siti di attività industriale).

Formato del metadato

Per consentire un'agevole gestione dei dati trasmessi i dati geospaziali (GIS) e i documenti descrittivi devono essere accompagnati da informazioni di supporto (metadato). In relazione alla tipologia di dato trasmesso sono individuati due diversi schemi di riferimento raccomandati dalla *European Environment Agency* (EEA):

- “*EEA Reportnet metadata specification*” per tabelle e documenti descrittivi;
- “*EEA GIS metadata specification*” per i dati geospaziali (*shapefile*).

Formato allegati grafici

La cartella Strati informativi può contenere degli allegati grafici, molto utili anche se non strettamente necessari, che visualizzano le mappe acustiche e mappe acustiche strategiche predisposte. Gli elaborati grafici devono includere i contenuti riportati nella tabella 12.

Tabella 12. – Contenuti degli allegati grafici (da [40]).

| Allegato grafico | Contenuto |
|--|--|
| Mappe acustiche dell'area relative agli indicatori L_{den} e L_{night} | <ul style="list-style-type: none"> - Perimetro dell'area mappata - Curve isolivello L_{den} 55 dB, 60 dB, 65 dB, 70 dB, 75 dB - Curve isolivello L_{night} 50 dB, 55 dB, 60 dB, 65 dB e 70 dB - Edifici - Infrastrutture (strade/ferrovie/aeroporti) - Zone silenziose - Ricettori sensibili (scuole, ospedali, case di cura ecc.) - Siti di attività industriale (solo per gli agglomerati) - Toponimi - Perimetro dell'agglomerato (per le infrastrutture esterne agli agglomerati) - Centri abitati con relativi toponimi (per le infrastrutture esterne agli agglomerati) - Confini amministrativi con relativi toponimi (comuni, province, regioni) |

- Il formato dell'elaborato grafico deve essere conforme agli standard (A0, A1, A2, A3, A4). È consigliabile l'utilizzo di un formato che ottimizzi il numero di mappe prodotte.

- La scala di rappresentazione delle mappe è 1:10 000 o più dettagliata (per esempio 1: 5 000) se la leggibilità della mappa lo richiede.
- Le mappe devono riportare un cartiglio che contenga almeno le seguenti informazioni: soggetto responsabile della mappatura, codice identificativo dell'infrastruttura o dell'agglomerato, codice itinerario internazionale (solo per le strade), nome dell'infrastruttura o dell'agglomerato, codice del segmento o/e progressive chilometriche di inizio e fine segmento (solo per le infrastrutture lineari), Regione di appartenenza, Comuni interessati, scala di rappresentazione, legenda, nord.
- Le mappe possono riportare uno sfondo cartografico di riferimento (per esempio CTR, ortofoto, ecc.), compatibilmente con la leggibilità della mappa stessa.
- La scala cromatica da adottare dovrebbe essere conforme alla UNI 9884 [34].
- Sono ammessi i formati *.pdf*, *.tif* o *.dwf*. Il formato *.jpg* può essere utilizzato solo in casi eccezionali e con una definizione maggiore o uguale a 300 dpi. I file non devono essere compressi (*.zip*, *.rar*, ecc.).

3.5.3 Aggiornamenti dei criteri per la predisposizione e consegna dei risultati

In data 18 maggio 2012 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha pubblicato il documento [14]:

Predisposizione e consegna della documentazione digitale relativa alle mappature acustiche e mappe acustiche strategiche (D.Lgs. 194/2005) – Specifiche Tecniche, versione 2.0

apportando sostanziali modifiche alla struttura della presentazione dei risultati.

Nel presente paragrafo sono sintetizzati i contenuti del suddetto documento, fermo restando che per una trattazione completa è necessario consultare il documento originale.

Occorre anche sottolineare che tale nuovo documento, vista la data di emissione, è da ritenersi applicabile solo alle consegne dati relative al secondo ciclo di mappatura in poi. Si precisa infine che il documento citato non rappresenta una versione definitiva, bensì una bozza suscettibile di ulteriori modifiche.

3.5.3.1 Organizzazione della documentazione digitale

Le documentazione digitale richiesta è formata da:

- *strati informativi georeferenziati* (SHAPEFILE);
- *metadati* (METADATA);
- *relazione tecnica* (REPORT);
- *immagini* (facoltative) delle mappature acustiche e mappe acustiche strategiche (IMAGES);

Gli *strati informativi*, in formato *shapefile*, e i relativi *metadati*, in formato .xls o .xml (conforme allo standard ISO19115), devono essere memorizzati nella cartella denominata SHAPEFILE_METADATA. Tutti i file devono essere organizzati nei diversi Data Flow di appartenenza.

La *relazione tecnica*, in formato .pdf, e le eventuali *immagini* delle mappature acustiche e delle mappe acustiche strategiche, in formato .jpg con definizione uguale o superiore a 300 dpi o in formato .pdf, devono essere memorizzate nella cartella denominata REPORT_IMAGES.

Al capitolo 3 delle *Specifiche Tecniche* [14] prodotte dal MATTM, le figure 1, 2, 3 e 4 illustrano lo schema di organizzazione dei dati per quanto riguarda rispettivamente gli agglomerati, le strade, le ferrovie e gli aeroporti.

In aggiunta alle informazioni sopra elencate, i gestori e gli agglomerati devono obbligatoriamente trasmettere i file Excel del Reporting Mechanism compilati in tutte le loro parti. Per la compilazione di tali file Excel si rimanda al sito <http://dd.eionet.europa.eu/datasets/>, in cui sono descritte tutte le informazioni richieste per ciascun Data Flow (le informazioni obbligatorie sono contrassegnate da un asterisco).

3.5.3.2 Predisposizione degli strati informativi georeferenziati

Formato degli strati informativi

Gli strati informativi devono essere consegnati in formato shapefile, formato aperto divenuto ormai uno standard, utilizzabile dalla maggior parte dei software GIS, sia proprietari sia *open source*. Uno *shapefile* è formato almeno dai seguenti quattro file tra loro collegati:

- *Nome_file.shp*: parte geometrica dell'informazione vettoriale;
- *Nome_file.shx*: indici per l'accesso ai dati contenuti nel file .shp;
- *Nome_file.dbf*: attributi associati al file .shp;
- *Nome_file.prj*: sistema di riferimento associato al file .shp.

Il “Nome_file” deve essere lo stesso per tutti i file. Prima dell’invio dei dati, è necessario verificare che, per ciascuna informazione geografica, siano presenti nella stessa directory tutti i file sopra elencati.

Sistema di riferimento degli strati informativi

In accordo con quanto indicato nel documento “*Eionet Reportnet - Delivery Guide for Environmental Noise Data*”, versione 1.3, rilasciato nell’aprile 2010, si raccomanda ora l’utilizzo del sistema di riferimento ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*). In alternativa, qualora non fosse possibile fornire i dati in tale sistema di riferimento, le informazioni spaziali saranno fornite in coordinate geografiche nel sistema di riferimento WGS 84. In particolare, le coordinate latitudine e longitudine saranno espresse in gradi decimali, con almeno 4 cifre decimali (es. 41,9109 – 12,4818). In ogni caso, è necessario indicare il sistema di riferimento utilizzato.

Definizione degli strati informativi

Le informazioni geografiche devono essere codificate secondo uno schema comune a tutti gli Stati membri. Ogni Stato membro è tenuto a inviare uno *shapefile* unico per ciascuna categoria oggetto della comunicazione: agglomerati, strade, ferrovie e aeroporti. Affinché ciò sia possibile, tutti i gestori e gli agglomerati devono predisporre le informazioni geografiche come indicato di seguito. Sarà poi cura del MATTM predisporre gli strati informativi unici per l'invio. I dati geografici da trasmettere per i diversi Data Flow sono essenzialmente di due tipi:

– **strati informativi di localizzazione**

- . **Data Flow DF0:** contiene l'informazione geografica di localizzazione della “*Reporting entities*” soggetta alla END. Questo strato informativo è a cura del MATTM in qualità di “*Reporting Entity*”. Nel paragrafo 2.2.3.1 delle *Specifiche Tecniche* [14] prodotte dal MATTM sono presenti le specifiche dello strato informativo da predisporre per il *Data Flow DF0*;
- . **Data Flow DF1 e DF5:** contengono le informazioni geografiche di localizzazione delle infrastrutture e degli agglomerati soggetti alla END. Questi strati informativi sono cura dei gestori e degli agglomerati. Nel paragrafo 2.2.3.2 delle *Specifiche Tecniche* [14] prodotte dal MATTM sono presenti le specifiche degli strati informativi da predisporre per i Data Flow DF1 e DF5;

– **strati informativi relativi alle mappature acustiche e alle mappe acustiche strategiche**

- . **Data Flow DF4 e DF8:** contengono le informazioni geografiche di localizzazione delle infrastrutture e degli agglomerati soggetti alla END. Questi strati informativi sono a cura dei gestori e degli agglomerati. Nel paragrafo 2.2.3.3 delle *Specifiche Tecniche* [14] prodotte dal MATTM sono presenti le specifiche degli strati informativi da predisporre per i *Data Flow DF4 e DF8*;

L'**Allegato I** delle *Specifiche Tecniche* [14] prodotte dal MATTM riporta la sintesi di tutti gli strati informativi richiesti per ogni Data Flow.

L'**Allegato II** delle *Specifiche Tecniche* [14] prodotte dal MATTM descrive la convenzione per la creazione dei codici univoci per l'identificazione degli Agglomerati e delle infrastrutture soggette alla END, dei gestori e dei responsabili delle mappe acustiche e dei piani d'azione.

3.5.3.3 *Metadati*

Tutte le informazioni geografiche fornite devono essere corredate dei relativi metadati. Nel paragrafo 4.3 “GIS metadata” del manuale d’utilizzo “Delivery Guide for Environmental NoiseData” è richiesto di far riferimento alla sezione 6.2.2 del documento “END Reporting Mechanism Handbook” in cui è presente il riferimento al sito <http://www.eionet.europa.eu/gis>. A questo indirizzo è possibile consultare la sezione “Inspire compliant metadata for spatial data: Inspire compliant metadata guidelines” in cui sono descritti tutti i metadati INSPIRE richiesti per la descrizione delle informazioni geografiche, a cui si aggiungono ulteriori metadati non previsti dalle linee guida INSPIRE sui metadati ma comunque previsti sia nell’Allegato IV del D.Lgs. 32/2010 “Attuazione della direttiva 2007/2/CE, che istituisce un’infrastruttura per l’informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE)” sia nel recente decreto Ministeriale del 10 novembre 2011 recante “Regole tecniche per la definizione del contenuto del Repertorio nazionale dei dati territoriali, nonché delle modalità di prima costituzione e di aggiornamento dello stesso”.

I metadati devono avere lo stesso nome degli strati informativi cui fanno riferimento.

Nell’**Allegato III** delle *Specifiche Tecniche* [14] prodotte dal MATTM sono specificate tutte le informazioni richieste per la compilazione dei metadati.

3.5.3.4 *Relazioni tecniche e immagini delle mappature acustiche e mappe acustiche strategiche*

La relazione tecnica, in formato .pdf, e le eventuali immagini delle mappature acustiche e delle mappe acustiche strategiche, in formato .jpg con definizione uguale o superiore a 300 dpi o in formato .pdf, devono essere memorizzate nella cartella denominata REPORT_IMAGES.

Nel caso siano prodotte le immagini delle mappature acustiche e delle mappe acustiche strategiche queste devono includere gli strati informativi riportati in Tabella 16 pagina 27 delle *Specifiche Tecniche* [14] prodotte dal MATTM. La scala di rappresentazione di tali mappe è 1:10.000 o maggiore (es. 1:5.000) se la leggibilità della mappa lo richiede. Le mappe devono riportare un cartiglio che contenga almeno le seguenti informazioni:

- *Soggetto responsabile;*
- *Codice identificativo dell’infrastruttura;*
- *Nome dell’infrastruttura;*
- *Regione di appartenenza;*
- *Comuni interessati;*
- *Scala di rappresentazione;*
- *Legenda;*
- *Nord.*

Le mappe possono riportare una cartografia di base di riferimento (es. CTR, ortofoto, ecc.), compatibilmente con la leggibilità della mappa stessa.

3.6 Informazione al pubblico

La presentazione al pubblico dei risultati della mappatura acustica e mappatura acustica strategica deve garantire alcuni requisiti di base ed essere effettuata attraverso strumenti idonei a raggiungere il pubblico in maniera immediata e facilmente accessibile.

Di seguito sono elencati i requisiti a cui ci si deve attenere affinché l'informazione al pubblico risulti efficace. In particolare l'informazione deve:

- a) essere chiara, comprensibile e accessibile;
- b) riguardare gli aspetti salienti delle mappature, in particolare quelli di maggior interesse per i diversi destinatari;
- c) prevedere una suddivisione per aree territoriali (Comune, Provincia, Regione);
- d) includere diversi livelli di approfondimento, anche in relazione ai vari destinatari dell'informazione; in particolare è consigliabile, ove opportuno, effettuare una sintesi degli elaborati prodotti;
- e) riportare la fonte da cui provengono i dati e la data a cui essi si riferiscono;
- f) essere validata e riportare i riferimenti del soggetto giuridico che ha operato la validazione;
- g) essere diffusa in maniera coerente, anche in relazione ai diversi gradi di approfondimento;
- h) prevedere procedure di *feed back* da parte del pubblico, che consentano di monitorare l'effettivo accesso all'informazione da parte dei soggetti interessati, sia in termini quantitativi che qualitativi: numero di accessi alle diverse tipologie di dati per categorie di soggetti (privati cittadini, enti, associazioni, ecc.);
- i) essere fornita gratuitamente, a meno dell'eventuale costo di produzione del supporto e di richieste particolari che non rientrino tra i prodotti previsti;
- j) essere resa disponibile in modo tempestivo per consentire la diffusione dei risultati in occasione delle scadenze previste dalla legislazione vigente [1], [12], l'aggiornamento periodico (per esempio annuale) sulle azioni o revisioni in corso e la pianificazione di momenti informativi "una tantum" su specifici argomenti.

Ulteriori indicazioni sull'informazione al pubblico sono contenute in [32].

3.6.1. Modalità di comunicazione al pubblico

La diffusione dei risultati delle attività di mappatura deve essere garantita a tutte le fasce di cittadini mediante modalità di comunicazione facilmente accessibili, sia di tipo tradizionale che elettronico (web, CD, DVD, ecc.). La diffusione al pubblico può essere attuata tramite:

- siti web della pubblica Amministrazione;
- siti web delle Agenzie Ambientali (ARPA, ISPRA);

- siti web dei soggetti responsabili della mappatura, per la parte di informazione di loro competenza;
- link ai suddetti siti da portali web di gruppi o associazioni ambientaliste, o di Enti, Organizzazioni e soggetti che, a diverso titolo, ne facciano richiesta;
- supporti informatici (per esempio CD, DVD) a scuole, università, biblioteche, associazioni, ecc.;
- supporti cartacei (per esempio opuscoli) a scuole, università, biblioteche, associazioni, ecc.;
- dibattiti e incontri pubblici di presentazione.

4. VERSO IL PIANO D'AZIONE

4.1 I valori limite di legge per l'elaborazione dei piani d'azione

In genere gli indicatori di criticità adottati per legge fanno riferimento a valori limite. Per esempio, il D.M. 29/11/2000 [8] basa esplicitamente l'indice di priorità P sulla differenza tra i valori di livello equivalente stimati ed i valori limite di legge italiani, espressi tramite il livello continuo equivalente ponderato A .

Infatti, si ritiene comunemente che non sia possibile valutare la criticità di una situazione senza fare riferimento a valori limite per determinare l'entità del superamento.

Il D. Lgs. 194/05, all'art. 5 comma 1, prescrive che *“ai fini dell'elaborazione e della revisione della mappatura acustica e delle mappe acustiche strategiche di cui all'articolo 3 sono utilizzati i descrittori acustici L_{den} e L_{night} calcolati secondo quanto stabilito all'allegato I”*.

D'altra parte, il D. Lgs. 194/05, all'art. 5 comma 2, specifica che *“entro centoventi giorni dalla data di entrata in vigore del presente decreto, con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, su proposta del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, di concerto con il Ministro della salute, sentita la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano, sono determinati, ai sensi dell'articolo 3 della legge n. 447 del 1995, i criteri e gli algoritmi per la conversione dei valori limite previsti all'articolo 2 della stessa legge, secondo i descrittori acustici di cui al comma 1”*.

Inoltre, il D. Lgs. 194/05, all'art. 5 comma 4, precisa che *“fino all'emanazione dei decreti di cui al comma 2 (decreti di conversione dei valori limite in valori di L_{den} e L_{night}) si utilizzano i descrittori acustici ed i relativi valori limite determinati ai sensi dell'articolo 3 della legge n. 447 del 1995”*.

Quindi: da una parte il D. Lgs. 194/05 richiede che le mappe acustiche siano elaborate utilizzando i descrittori L_{den} e L_{night} e precisa che i valori limite determinati ai sensi della legge n. 447 del 1995, cioè espressi tramite L_{Aeq} e L_{VA} , siano convertiti in valori di L_{den} e L_{night} ; dall'altra chiede di utilizzare (almeno per le mappe acustiche) i valori limite espressi tramite L_{Aeq} e L_{VA} , fino a che non sia stato emesso un decreto relativo alla conversione, tuttora atteso.

Questa situazione incompiuta determina il problema della possibile duplicazione dei calcoli: da una parte si devono produrre gli elaborati finali in base alla direttiva europea, utilizzando i descrittori L_{den} e L_{night} , dall'altra si dovrebbero ripetere i calcoli anche utilizzando i descrittori L_{Aeq} e L_{VA} , in modo da avere un riscontro chiaro con i valori limite di legge attualmente in uso in Italia.

La confusione legislativa produce un problema tecnico: quali descrittori utilizzare? L'elaborazione delle mappe acustiche deve essere ripetuta due volte, una con i descrittori europei ed una con i descrittori italiani? Per risolvere il problema sono possibili le tre alternative seguenti.

Alternativa 1: adozione della procedura del doppio calcolo. Le mappe acustiche sono elaborate due volte, utilizzando sia i descrittori L_{den} e L_{night} sia i descrittori L_{Aeq} e L_{VA} ; il primo insieme di mappe, conforme al D. Lgs. 194/05 [1], è consegnato all'Unione Europea attraverso il Ministero dell'Ambiente; il secondo è utilizzato per il confronto con i valori limite determinati ai sensi della legge 447/95 [3]. Il rispetto formale delle leggi in vigore è assicurato, ma la duplicazione degli sforzi e dei tempi di calcolo, in un contesto a budget e tempi limitati, rischia di rendere non praticabile il programma di lavoro. Inoltre, il fatto di avere dei riferimenti per il risanamento espressi mediante indicatori diversi da quelli europei, obbligatori nella presentazione delle mappe acustiche, causa difficoltà nella comprensione e valutazione delle scelte di bonifica e del loro ordine di priorità; infatti l'ordine di priorità degli interventi può cambiare passando dal criterio di criticità del D. M. 29/11/200 con il descrittore L_{Aeq} al criterio di criticità, suggerito nella *Good practice guide on noise exposure and potential health effects* [33], basato sull' ECU_{den} con i descrittori L_{den} e L_{night} , prescritti dalla direttiva END.

Alternativa 2: adozione esclusiva degli indicatori europei. Le mappe acustiche sono elaborate una sola volta, utilizzando i descrittori L_{den} e L_{night} . Le criticità sono valutate con il criterio dell' ECU_{den} , facendo cioè riferimento esclusivo alle fasce di valori di L_{den} e L_{night} riportate nella direttiva 2002/49/CE, senza considerare i valori limite di legge attualmente in vigore in Italia e ragionando solo sul numero di persone esposte e sulla gravità dell'esposizione. Questa alternativa ha il pregio della semplicità (non si ripetono i calcoli) e della coerenza (si utilizzano solo gli indicatori europei), ma può esporre alla critica di non avere considerato disposizioni di legge in vigore, segnatamente riguardo ai valori limite di cui al D.P.C.M. 14/11/97 [5]. In realtà il D. Lgs. 194/05 lascia ampia libertà di scelta della metodologia di determinazione delle criticità, delle priorità di intervento e delle modalità di attuazione, per cui basterebbe alla fine della procedura ripetere il calcolo della situazione dopo gli interventi di risanamento utilizzando i descrittori italiani, al solo fine di mostrare il confronto tra i valori attesi ed i valori limite vigenti. Tuttavia i responsabili delle amministrazioni potrebbero pesare maggiormente il rispetto formale delle disposizioni vigenti piuttosto che la coerenza tecnica.

Alternativa 3: adozione degli indicatori europei e conversione "tecnica" dei valori limite italiani. Le mappe acustiche sono elaborate una sola volta, utilizzando i descrittori L_{den} e L_{night} . Le criticità sono valutate sia con il criterio dell' ECU_{den} , che tiene conto della popolazione esposta in accordo al D. Lgs. 194/05 [1], sia confrontando i valori dei descrittori L_{den} e L_{night} calcolati con i valori limite vigenti in Italia, opportunamente convertiti in valori dei descrittori L_{den} e L_{night} . I valori limite di legge italiani sono convertiti numericamente mediante un calcolo diretto, esplicito ed invertibile in valori L_{den} e L_{night} da utilizzare come termine di riferimento

“tecnico” nei calcoli dei superamenti. Gli elaborati finali del piano d’azione sono ancora espressi in termini di L_{den} e L_{night} (e di persone esposte), conformemente al D. Lgs. 194/05, ma nel processo si sarà tenuto conto anche dei valori limite italiani, così come convertiti. Questa alternativa ha il pregio della semplicità (non si ripetono i calcoli), della coerenza (si utilizzano solo gli indicatori europei) e del rispetto formale dei valori limite in vigore in Italia. Al termine dell’elaborazione dei piani d’azione potranno essere valutati - una sola volta - anche i valori di livello sonoro continuo equivalente ponderato A, L_{Aeq} , attesi dopo gli interventi di risanamento; **questa è la soluzione raccomandata nelle presenti linee guida.**

La tabella 13 riporta la conversione numerica dei valori limite della tabella C di cui al D.P.C.M. 14/11/1997 [5].

La tabella 14 riporta la conversione numerica dei valori limite di cui al D.P.R. 18/11/1998 [7] n. 459, artt. 4 e 5.

La tabella 15 riporta la conversione numerica dei valori limite di cui al D.P.R. 30/04/2004 [9], allegato 1, tabelle I e II.

Il metodo utilizzato per la conversione dei valori limite mostrati nelle tabelle è il seguente.

Il valore limite per il livello giorno-sera-notte (*day-evening-night level*) L_{den} , espresso in decibel ponderati “A”, è definito dalla seguente espressione:

$$L_{den,lim} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(14 \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,lim\ diurno}}{10}} + 2 \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,lim\ diurno} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,lim\ notturno} + 10}{10}} \right) - K \quad (8)$$

dove:

$L_{den,lim}$ è il valore limite del livello giorno-sera-notte (*day-evening-night level*) L_{den} ;

$L_{Aeq,lim\ diurno}$ è il valore limite del livello continuo equivalente ponderato “A”, in periodo diurno (06-22 h) secondo la legislazione italiana;

$L_{Aeq,lim\ notturno}$ è il valore limite del livello continuo equivalente ponderato “A”, in periodo notturno (22-06 h) secondo la legislazione italiana;

K è la correzione per l’esclusione della componente riflessa dalla facciata, pari a 0 dB (nessuna correzione) nel caso di calcolo dei livelli di rumore su di una griglia di punti ricettori (cfr. 2.3.1) e pari a 3 dB nel caso di calcolo dei livelli di rumore su di un insieme di punti ricettori posti in facciata agli edifici (cfr. 2.3.1).

Il valore limite per il livello notturno L_{night} , espresso in decibel ponderati “A”, è definito dalla seguente espressione:

$$L_{night,lim} = L_{Aeq,lim\ notturno} - K \quad (9)$$

dove:

$L_{night,lim}$ è il valore limite del livello notturno L_{night} ;

$L_{Aeq,lim\ notturno}$ è il valore limite del livello continuo equivalente ponderato “A”, in periodo notturno (22-06) secondo la legislazione italiana;

K è la correzione per l’esclusione della componente riflessa dalla facciata, pari a 0 dB (nessuna correzione) nel caso di calcolo dei livelli di rumore su di una griglia di punti ricettori (cfr. 2.3.1) e pari a 3 dB nel caso di calcolo dei livelli di rumore su di un insieme di punti ricettori posti in facciata agli edifici (cfr. 2.3.1).

Le presenti linee guida raccomandano l’uso degli indicatori europei e la conversione “tecnica” dei valori limite italiani (alternativa 3 precedente) nella stesura dei piani d’azione.

Al termine del lavoro saranno valutati una sola volta anche i valori di livello sonoro continuo equivalente ponderato A, L_{Aeq} , in periodo diurno e notturno, attesi dopo gli interventi di risanamento.

Tabella 13. – Conversione della tabella C di cui al D.P.C.M. 14/11/1997 in termini di L_{den} e L_{night} . Colonne 2 e 3: valori limite vigenti in Italia. Colonne 4 e 5: corrispondenti valori convertiti in termini di descrittori europei. $K = 3$ dB.

| Classi di destinazione d'uso del territorio | Periodo diurno (06.00-22.00) L_{Aeq} in dB(A) | Periodo notturno (22.00-06.00) L_{Aeq} in dB(A) | L_{den} in dB(A) | L_{night} in dB(A) |
|--|---|---|--------------------------------------|--|
| I aree particolarmente protette | 50 | 40 | 47,7 | 37 |
| II aree prevalentemente residenziali | 55 | 45 | 52,7 | 42 |
| III aree di tipo misto | 60 | 50 | 57,7 | 47 |
| IV aree di intensa attività umana | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| V aree prevalentemente industriali | 70 | 60 | 67,7 | 57 |
| VI aree esclusivamente industriali | 70 | 70 | 73,2 | 67 |

Tabella 14. - Conversione dei valori limite di cui al D.P.R. 18/11/1998 n. 459, artt. 4 e 5, in termini di L_{den} e L_{night} . Colonne 3 e 4: valori limite vigenti in Italia per le ferrovie. Colonne 5 e 6: corrispondenti valori convertiti in termini di descrittori europei. $K = 3$ dB.

| Tipologia dei ricettori | Fascia di pertinenza in m | Periodo diurno (06.00-22.00) L_{Aeq} in dB(A) | Periodo notturno (22.00-06.00) L_{Aeq} in dB(A) | L_{den} in dB(A) | L_{night} in dB(A) |
|--------------------------------|----------------------------------|---|---|--------------------------------------|--|
| Velocità > 200 km/h | | | | | |
| Scuole | | 50 | - | 47,7* | - |
| Ospedali | | 50 | 40 | 47,7 | 37 |
| Altri ricettori | 250 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| Velocità ≤ 200 km/h | | | | | |
| Scuole | | 50 | - | 47,7* | - |
| Ospedali | | 50 | 40 | 47,7 | 37 |
| Altri ricettori | A - 100 m | 70 | 60 | 67,7 | 57 |
| Altri ricettori | B - 150 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |

* : per le scuole, che non hanno valore limite notturno, non è stata applicata la formula (8), ma è stato assunto un valore limite di L_{den} corrispondente a quello per la classe I ex D.P.C.M. 14/11/1997 e per gli ospedali ex D.P.R. 18/11/1998 n. 459.

Tabella 15. – Conversione dei valori limite di cui al D.P.R. 30/04/2004, allegato 1, tabelle I e II, in termini di L_{den} e L_{night} . Colonne 3 e 4: valori limite vigenti in Italia per le strade. Colonne 5 e 6: corrispondenti valori convertiti in termini di descrittori europei. $K = 3$ dB.

| Tipologia di ricettore / strada | Fascia di pertinenza in m | Periodo diurno (06.00-22.00) | Periodo notturno (22.00-06.00) | L_{den} | L_{night} |
|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| | | L_{Aeq} in dB(A) | L_{Aeq} in dB(A) | in dB(A) | in dB(A) |
| Strade di nuova realizzazione | | | | | |
| Scuole | | 50 | - | 47,7* | - |
| Ospedali | | 50 | 40 | 47,7 | 37 |
| A Autostrade | 250 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| B extraurbane principali | 250 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| C1 extraurbane secondarie | 250 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| C2 extraurbane secondarie | 150 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| D Urbane di scorrimento | 100 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| E Urbane di quartiere | 30 m | seguono la classificazione acustica | | | |
| F Locali | 30 m | seguono la classificazione acustica | | | |
| Strade esistenti | | | | | |
| Scuole | | 50 | - | 47,7 | - |
| Ospedali | | 50 | 40 | 47,7 | 37 |
| A Autostrade | A - 100 m | 70 | 60 | 67,7 | 57 |
| | B - 150 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| B extraurbane principali | A - 100 m | 70 | 60 | 67,7 | 57 |
| | B - 150 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| Ca extraurbane secondarie | A - 100 m | 70 | 60 | 67,7 | 57 |
| | B - 150 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| Cb extraurbane secondarie | A - 100 m | 70 | 60 | 67,7 | 57 |
| | B - 50 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| Da Urbane di scorrimento | 100 m | 70 | 60 | 67,7 | 57 |
| Db Urbane di scorrimento | 100 m | 65 | 55 | 62,7 | 52 |
| E Urbane di quartiere | 30 m | seguono la classificazione acustica | | | |
| F Locali | 30 m | seguono la classificazione acustica | | | |

*: per le scuole, che non hanno valore limite notturno, non è stata applicata la formula (8), ma è stato assunto un valore limite di L_{den} corrispondente a quello per la classe I ex D.P.C.M. 14/11/1997 e per gli ospedali ex D.P.R. 18/11/1998 n. 459.

4.2 I risultati della mappatura a supporto dell'elaborazione dei piani di azione

Le mappe di conflitto non sono obbligatorie per la fase di mappatura acustica e mappatura acustica strategica, ma sono indispensabili come supporto ai piani di azione. Esse individuano aree, dette di conflitto, caratterizzate dallo stesso intervallo di superamento dei limiti. Gli intervalli di superamento hanno ampiezza di 5 dB.

Ogni area di conflitto è rappresentata da un poligono. L'insieme delle aree, in formato poligonale, costituisce lo strato informativo delle aree di conflitto.

Gli attributi allegati a questo strato informativo comprendono per ogni poligono:

- il valore dell'intervallo di superamento che caratterizza l'area;
- l'identificativo delle sorgenti che concorrono a generare il superamento;
- gli edifici esposti all'interno dell'area di conflitto;

Possono inoltre contenere:

- la popolazione esposta all'interno dell'area di conflitto;
- il numero dei ricettori sensibili eventualmente presenti all'interno dell'area di conflitto;
- la superficie dell'area, in chilometri quadrati.

A completamento della mappa di conflitto possono essere forniti le seguenti informazioni da aggiungere agli strati informativi esistenti:

- a) ricettori critici - Strato informativo contenente i punti in cui sono stati individuati i valori critici di L_{Aeqd} , L_{Aeqn} e L_{VA} rappresentativi dei livelli per singola abitazione o edificio. A questo strato informativo sono associati gli attributi relativi ai valori di L_{Aeqd} , L_{Aeqn} e L_{VA} ed i superamenti in ciascun punto;
- b) griglia di conflitto orizzontale - Strato informativo contenente i punti della griglia in cui sono stati calcolati i conflitti. La tabella degli attributi contiene i valori di L_{Aeqd} , L_{Aeqn} e L_{VA} e i valori di conflitto calcolati nei punti della griglia. Si deve produrre uno strato informativo per ciascuna delle sorgenti mappate (strade, ferrovie, aeroporti e siti di attività industriale);
- c) griglia di conflitto verticale - Strato informativo contenente i punti della griglia in cui sono stati calcolati i conflitti sul piano verticale. La tabella degli attributi contiene i valori di L_{Aeqd} , L_{Aeqn} e L_{VA} e i valori di conflitto calcolati nei punti della griglia. Si deve produrre uno strato informativo per ciascuna delle sorgenti mappate (strade, ferrovie, aeroporti e siti di attività industriale);
- d) zonizzazione e fasce di pertinenza acustica - Strato informativo di tipo poligonale in cui sono individuate le aree corrispondenti alla zonizzazione e alle fasce di pertinenza. La tabella degli attributi contiene il dato relativo al valore limite di rumore associato.

Ovviamente la fornitura dei valori di L_{Aeqd} , L_{Aeqn} e L_{VA} è raccomandata in quanto la legislazione italiana antecedente il D. Lgs. 194/05, tuttora in vigore, prescrive valori limite in funzione di questi descrittori acustici [4], [5], [7], [9].

4.3 Individuazione delle aree critiche

Per “**aree critiche**” si intendono generalmente le aree dove il livello sonoro è elevato e il numero di persone esposte è elevato. Convenzionalmente, in un campo coperto da disposizioni legislative cogenti, il livello sonoro è tanto più elevato quanto più supera i valori limite di legge. Per includere anche il numero di persone esposte deve essere applicato un indicatore di criticità composito che tenga conto sia dei livelli sonori presenti sia del numero di persone esposte a tali livelli. Si noti che l’osservanza esclusiva del superamento dei valori limite di legge non distingue tra aree densamente popolate e aree meno popolate; proprio per questo la direttiva 2002/49/CE all’art. 8, comma osserva che le priorità “... *possono essere individuate sulla base del superamento dei valori limite pertinenti o di altri criteri scelti dagli Stati membri ...*”.

L’individuazione delle criticità si basa sulle risultanze del processo di mappatura acustica, che ha preceduto l’elaborazione del piano d’azione, e sulle richieste, risposte ed osservazioni provenienti dal pubblico. Può inoltre basarsi su ulteriori analisi tecniche delle sorgenti sonore e dei percorsi di propagazione sonora, oppure su analisi della percezione sonora e del *soundscape* (cfr. punto 4.5).

In questa fase vengono individuate le singole aree critiche e le relative sorgenti critiche. Ogni area critica viene caratterizzata attraverso uno specifico indice di criticità.

Per individuare correttamente le criticità occorre:

- Evidenziare le aree dove si hanno superamenti dei valori limite di legge; a questo proposito occorre considerare come i descrittori acustici europei, prescritti dalla END, si possono rapportare ai valori limite della legislazione nazionale, espressi tramite altri descrittori: si veda in proposito il punto 4.1.
- Adottare un indicatore di criticità che tenga conto sia dell’entità del superamento dei valori limite di legge sia dell’entità della popolazione esposta a tale superamento.
- Definire i metodi per l’individuazione delle criticità.

Particolare importanza riveste l’individuazione dei ricettori sensibili e delle zone silenziose, ai quali sono rispettivamente dedicati i punti 4.4 e 4.6.

4.4 Ricettori sensibili

Per “**ricettori sensibili**” si intendono generalmente ospedali, case di cura e riposo e assimilati, le scuole di ogni ordine e grado, i parchi pubblici e simili.

Da un punto di vista operativo, quando si dispone di una cartografia digitale completa, i ricettori sensibili possono essere individuati mediante un campo specifico nelle informazioni associate agli edifici nella cartografia digitale. Se non si dispone di tali informazioni, ci si può basare sul fatto che i ricettori sensibili dovrebbero risiedere in aree particolarmente tutelate dal punto di vista acustico, e dunque poste in classe I ai sensi del D.P.C.M. 14 novembre 1997 [5]. Pertanto possono essere facilmente identificati sulle base della classificazione acustica del territorio comunale (o “zonizzazione acustica”).

La disponibilità delle informazioni sulla classificazione acustica del territorio di tutti i comuni interessati dalla mappatura è necessaria non soltanto per l’individuazione dei ricettori sensibili (e delle aree silenziose negli agglomerati, cfr. punto 4.6), ma anche per determinare il superamento dei valori limite di livello sonoro vigenti e quindi delimitare le aree di criticità acustica su cui predisporre i piani di azione.

I dati relativi alla zonizzazione acustica da richiedere ai Comuni comprendono:

- **carta della zonizzazione acustica**, da acquisire preferenzialmente in un formato elettronico standard supportato dai principali sistemi GIS. La mappa deve coprire tutta l’area comunale interessata dalla mappatura. Essa deve essere **georeferenziata** nello stesso sistema di riferimento utilizzato per la cartografia impiegata per la mappatura acustica, al fine di garantire la sovrapposibilità ed integrazione dei vari strati informativi. Il file deve essere di tipo poligonale e ad ogni poligono deve essere associata la corrispondente classe acustica. Nel caso di file acquisito in formato CAD, le zone devono essere rappresentate come polilinee chiuse ed a ciascuna zona deve essere automaticamente associabile come attributo la corrispondente classe acustica. A questo proposito, occorre evitare, che la classe acustica sia associata esclusivamente ad attributi grafici (“retinatura”) del poligono. E’ possibile che si verifichino incongruenze per le zone al confine di Comuni limitrofi, a causa di ambiguità sui limiti amministrativi. In questo caso si possono prendere a riferimento i confini comunali adottati dalla Regione di pertinenza. Dalla carta della zonizzazione, in particolare, deve essere possibile evincere:
 - i ricettori sensibili (scuole, ospedali, case di cura e di riposo, parchi, ecc.);
 - le principali sorgenti sonore (industrie, infrastrutture di trasporto).
- **Relazione tecnica**, da acquisire preferibilmente in formato elettronico. La relazione può essere utile per consultazione, soprattutto per individuare situazioni particolari e per conoscere il clima di rumore rilevato attraverso le indagini fonometriche effettuate.

In assenza della zonizzazione acustica i valori limite sono indicati nell'art. 6 del D.P.C.M. 1 marzo 1991 [2] e gli atti di riferimento sono costituiti dagli strumenti urbanistici vigenti o adottati (PRG/PSC o PGT).

4.5 Valutazioni puramente quantitative e soundscape

Vi sono sostanzialmente due metodi per l'analisi delle criticità: la considerazione delle sorgenti sonore e dei percorsi di propagazione sonora, oppure l'analisi della percezione sonora e del *soundscape*.

L'analisi delle sorgenti sonore e dei percorsi di propagazione sonora tenta di rispondere alle seguenti domande:

- Quali sono le sorgenti sonore rilevanti per una data area ?
- Quali fattori influenzano la generazione del rumore ?
- Quali fattori influenzano la propagazione del rumore ?
- Quando si verifica il disturbo da rumore ?
- Chi è disturbato dal rumore?

Le risposte, qui presentate in forma necessariamente sintetica e generica, potrebbero essere:

- In una determinata area la sorgente sonora più rilevante è il rumore da traffico (sulla base di modelli matematici e/o di misurazioni).
- I fattori che influenzano la generazione del rumore sono principalmente l'elevato numero di veicoli, lo stato della superficie stradale, la congestione del traffico (sulla base di analisi parametriche compiute con modelli matematici).
- I fattori che influenzano la propagazione del rumore sono la conformazione della strada e le riflessioni sugli edifici (sulla base di analisi parametriche compiute con modelli matematici).
- Il disturbo da rumore è continuativo ma è chiaramente più elevato nelle ore di punta (sulla base di misurazioni).
- Il disturbo da rumore colpisce tutti i residenti, in particolare gli occupanti della scuola che si affaccia sulla strada.

L'analisi della percezione sonora e del *soundscape* è complementare a quella basata su descrittori quantitativi, in quanto questi non possono tenere conto di tutti i fattori che influenzano la percezione soggettiva del disturbo. Per esempio, pochi eventi rumorosi in periodo notturno possono causare un forte disturbo anche se non innalzano di molto il valore di L_{night} . Inoltre differenti sorgenti causano differenti gradi di disturbo a parità di livello sonoro (tipico è il caso del confronto tra rumore stradale e rumore ferroviario [78]). In questi casi i cosiddetti

descrittori psicoacustici possono rappresentare la valutazione della situazione meglio di misurazioni di livello sonoro [88].

Se poi si considera che la percezione delle caratteristiche acustiche di un sito è influenzata anche dal suo aspetto estetico, dall'atmosfera tipica del luogo, dalle sensazioni evocate, dalla situazione psicologica dei fruitori, ecc. si capisce perché sia stata proposta l'analisi del "paesaggio sonoro" o *soundscape*. Questo approccio generalmente comprende analisi morfologiche del sito, interviste con i frequentatori del luogo e le cosiddette passeggiate sonore (*sound walks*). In quest'ultimo caso un rilevatore percorre tragitti tipici dell'area investigata e registra gli eventi sonori con sistemi binaurali, creando un'immagine sonora spazializzata delle percezioni dei frequentatori. La registrazione permette l'identificazione delle singole sorgenti sonore e l'analisi della loro qualità: spettro sonoro, intensità in funzione del tempo, effetti spaziali, ecc.[89].

4.6 Individuazione delle zone silenziose

La END e il decreto di recepimento in Italia distinguono tra zone silenziose interne ed esterne ad un agglomerato.

Zone silenziose di un agglomerato – Secondo il D. Lgs. 194/05 [1] per "zona silenziosa di un agglomerato" si intende una zona delimitata dall'autorità comunale nella quale L_{den} o un altro indicatore acustico appropriato relativo a qualsiasi sorgente non superi un determinato valore limite. Non sono fornite indicazioni sui valori limite da adottare. Il dibattito scientifico sulla identificazione di queste zone è ancora aperto, ma è comunque chiaro che essa dipende non solo dai livelli sonori rilevati, ma anche dall'uso e dalla pianificazione del territorio, dal particolare ambiente sonoro, ecc., rientrando a buon diritto nell'ambito degli studi sul *soundscape*.

Zone silenziose esterne agli agglomerati – Nel D. Lgs. 194/05 [1] sono definite "zone silenziosa esterne agli agglomerati" le zone non influenzate dalle emissioni sonore prodotte dalle infrastrutture principali di trasporto. La definizione più che altro di tipo qualitativo e non sono fornite indicazioni né sul descrittore acustico da utilizzare né sui valori limite da adottare. Anche a livello europeo le indicazioni su questo tema si limitano, al momento, ad alcuni suggerimenti e non sono indicati criteri formali di individuazione delle zone silenziose [29]. Si ritiene attualmente che, ancor più delle zone silenziose degli agglomerati, esse rientrino a buon diritto nell'ambito degli studi sul *soundscape*.

In mancanza di criteri definitivi e nell'attesa di ulteriori specifiche di legge, **l'Autorità competente è responsabile** della definizione dei criteri per l'identificazione e la delimitazione delle zone silenziose. Di seguito si indicano tre approcci possibili.

- **Approccio minimale:** consiste nel fare riferimento al D.P.C.M. 14 novembre 1997 [5], identificando come zone silenziose, sia interne che esterne agli agglomerati, le aree appartenenti alla Classe I “Aree particolarmente protette” nelle quali sono effettivamente rispettati i valori limite di rumorosità imposti dal decreto. Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo e allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.
- **Approccio adottato dalla municipalità di Amburgo** [100]: si stabilisce una gerarchia di zone silenziose:
 - *grandi spazi aperti*, differenziati tra silenziosi (livello sonoro < di 55 dB(A)) e molto silenziosi (livello sonoro < di 45 dB(A)). L’analisi dei dati rilevati per Amburgo porta a concludere che la lunghezza minima di tali aree deve essere di almeno 320 m e 3400 m, rispettivamente.
 - *spazi aperti relativamente silenziosi nel centro cittadino*, definiti come gli spazi dove il livello sonoro è inferiore di 6 dB rispetto alle aree circostanti. L’analisi dei dati rilevati per Amburgo porta a concludere che la lunghezza minima di tali aree deve essere di almeno 200 m.
 - *cammini tranquilli*, definiti come percorsi in spazi aperti attraenti a fianco di strade principali. La lunghezza minima di tali percorsi deve essere di almeno 1000 m.
 - *oasi urbane*, definite qualitativamente come spazi utilizzati per attività ricreative e considerati silenziosi dagli utenti, sulla base di consultazioni del pubblico.
- **Approccio basato sulle teorie del *soundscape*:** è l’approccio più complesso, che richiede di compiere uno studio ad hoc, per identificare le zone silenziose sulla base delle teorie disponibili relativamente al *soundscape*.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

5.1 *Disposizioni legislative nazionali*

- [1] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 194, Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (G.U.R.I. n. 222 del 23/9/2005).
- [2] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 1 marzo 1991, Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno (G.U.R.I. n. 57 del 8/3/1991).
- [3] Legge 26 ottobre 1995, n. 447, Legge quadro sull'inquinamento acustico (Suppl. Ord. n. 125 alla G.U.R.I. n. 254 del 30/10/1995).
- [4] Decreto Ministeriale 31 ottobre 1997, Metodologia di misura del rumore aeroportuale (G.U.R.I. n. 267 del 15/11/1997).
- [5] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 14 novembre 1997, Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore (G.U.R.I. n. 280 del 1/12/1997).
- [6] Decreto Ministeriale 16 marzo 1998, Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico (G.U.R.I. n. 76 del 1/4/1998).
- [7] Decreto del Presidente della Repubblica 18 novembre 1998, n. 459, Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario (G.U.R.I. n. 2 del 4/01/1999).
- [8] Decreto Ministeriale 29 Novembre 2000, Criteri per la predisposizione da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore, (G.U.R.I. n. 285 del 6/12/2000).
- [9] Decreto del Presidente della Repubblica 30 marzo 2004, n. 142, Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447 (G.U.R.I. n. 127 del 1/6/2004).
- [10] Decreto Legislativo 17 gennaio 2005, n. 13, Attuazione della direttiva 2002/30/CE relativa all'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti comunitari (G.U.R.I. n. 39 del 17/2/2005).

- [11] Decreto Legislativo 18 febbraio 2005, n. 59, Attuazione integrale della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento (Suppl. Ord. G.U.R.I. n. 93 del 22/4/2005).
- [12] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 195, Attuazione della Direttiva 2003/4/CE sull'accesso del pubblico all'informazione ambientale (G.U.R.I. n. 222 del 23/9/2005).

5.2 Altri documenti nazionali

- [13] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Specifiche tecniche per la realizzazione e la consegna della documentazione digitale relativa a: Mappature acustiche e mappe acustiche strategiche (D.Lgs. 194/05); Piani di contenimento ed abbattimento del rumore delle infrastrutture di trasporto di interesse nazionale o di più regioni (Legge 447/95), terza bozza, 29 Marzo 2007.
- [14] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Predisposizione e consegna della documentazione digitale relativa alle mappature acustiche e mappe acustiche strategiche (D.Lgs. 194/2005) – Specifiche Tecniche”, versione 2.0, 18 Maggio 2012.

5.3 Disposizioni legislative regionali

- [15] Legge Regionale Emilia-Romagna 9 maggio 2001, n. 15, Disposizioni in materia di inquinamento acustico (B.U.R. n. 62 del 11/5/2001).
- [16] Delibera della Giunta Regionale 9 ottobre 2001, n. 2053, Criteri e condizioni per la classificazione acustica nel territorio ai sensi del comma 3 dell'art. 2 della L.R. 9-5-2001, n. 15 recante 'Disposizioni in materia di inquinamento acustico' (B.U.R. n. 155 del 31/10/2001).
- [17] Delibera della Giunta Regionale 21 gennaio 2002, n. 45, Criteri per il rilascio delle autorizzazioni per particolari attività ai sensi dell'articolo 11, comma 1 della L.R. 9 maggio 2001, n. 15 recante 'Disposizioni in materia di inquinamento acustico' (Prot. n. (AMB/01/24223).
- [18] Delibera della Giunta Regionale 14 aprile 2004, n. 673, Criteri tecnici per la redazione della documentazione di previsione di impatto acustico e della valutazione del clima acustico ai sensi della L.R. 9 maggio 2001, n. 15 recante Disposizioni in materia di inquinamento acustico, (Prot. n. AMB/04/24465).

5.4 Documenti dell'Unione Europea

- [19] Direttiva Europea 96/61/CE del Consiglio del 24 settembre 1996 sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento, G.U.C.E. L 257 del 10 ottobre 1996.

- [20] Direttiva Europea 2002/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 26 marzo 2002 che istituisce norme e procedure per l'introduzione di restrizioni operative ai fini de contenimento del rumore negli aeroporti della Comunità, G.U.C.E. L 85-40 del 28 marzo 2002.
- [21] Direttiva Europea 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (END).
- [22] Raccomandazione della Commissione Europea del 6 agosto 2003, Concernente le linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità, G.U.C.E. L 212/49-64 del 22 agosto 2003.
- [23] ECAC-CEAC, Doc. 29 - Report on standard method of computing noise contours around civil airports, 1997.
- [24] European Commission Working Group - Health and Socio-Economic Aspects, Valuation of noise, 2003.
- [25] Symonds Group, Definition, identification and preservation of urban & rural quiet areas. Final report, July 2003.
- [26] European Commission DG Environment, Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping, Final Report AR-INTERIM-CM (CONTRACT:B4-3040/2001/329750/MAR/C1), 2003.
- [27] European Commission Working Group - Health and Socio-Economic Aspects (WG-HEALTH), Position paper on *Valuation of noise*, December 2003.
- [28] European Commission Working Group - Health and Socio-Economic Aspects(WG-HEALTH), Position paper on *Dose-effect relationships for night time noise*, 11 November 2004.
- [29] European Commission Working Group - Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure (GPG), Vr. 2, 13 August 2007.
- [30] EC – DG ENV, Reporting Mechanism proposed for reporting under the Environmental Noise Directive 2002/49/EC, Overview – October 2007.
- [31] EC – DG ENV, Reporting Mechanism proposed for reporting under the Environmental Noise Directive 2002/49/EC, Handbook (including data specification) – October 2007.
- [32] European Commission Working Group - Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), Presenting Noise Mapping Information to the Public, December 2007.

- [33] European Commission Working Group - Expert Panel on Noise (EPoN), Good practice guide on noise exposure and potential health effects, EEA Technical Report n. 11/2010.

5.5 Norme tecniche

- [34] UNI 9884, Acustica - Caratterizzazione acustica del territorio mediante la descrizione del rumore ambientale.
- [35] UNI 10855, Acustica - Misura e valutazione del contributo acustico di singole sorgenti.
- [36] UNI 11160, Linee guida per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo di sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto via terra.
- [37] UNI 11252, Acustica - Procedure di conversione dei valori di L_{Aeq} diurno e notturno e di L_{VA} nei descrittori L_{den} e L_{night} .
- [38] UNI 11296, Acustica - Linee guida per la progettazione, la selezione, l'installazione e il collaudo dei sistemi per la mitigazione ai ricettori del rumore originato da infrastrutture di trasporto.
- [39] UNI/TR 11326, Acustica - Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica - Parte 1: Concetti generali.
- [40] UNI/TS 11387, Acustica - Linee guida alla mappatura acustica e mappatura acustica strategica – Modalità di stesura delle mappe.
- [41] UNI/TR 11327, Acustica - Criteri per la predisposizione dei piani d'azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico ed i relativi effetti.
- [42] UNI EN ISO 11819-1 Acustica - Misurazione dell'influenza delle superfici stradali sul rumore da traffico - Metodo statistico applicato al traffico passante
- [43] UNI EN ISO 3095, Applicazioni ferroviarie - Acustica - Misurazione del rumore emesso dai veicoli su rotaia.
- [44] UNI 11143-1, Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti – Parte 1: Generalità.
- [45] UNI 11143-2, Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti – Parte 2: Rumore stradale.
- [46] UNI 11143-3, Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 3: Rumore ferroviario.
- [47] UNI 11143-5, Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 5: Rumore da insediamenti produttivi (industriali e artigianali).

- [48] UNI 11143-6, Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 6: Rumore da luoghi di intrattenimento danzante e di pubblico spettacolo.
- [49] UNI EN 1793-1 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Parte 1: Caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico.
- [50] UNI EN 1793-2 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Parte 2: Caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea.
- [51] UNI EN 1793-3 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Parte 3: Spettro normalizzato del rumore da traffico.
- [52] UNI CEN/TS 1793-4 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Parte 4: Caratteristiche intrinseche - Valori in situ della diffrazione sonora.
- [53] UNI CEN/TS 1793-5 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Caratteristiche intrinseche - Parte 5: Valori in situ della riflessione sonora e dell'isolamento acustico per via aerea.
- [54] UNI EN 1794-1 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Prestazioni non acustiche - Parte 1: Prestazioni meccaniche e requisiti di stabilità.
- [55] UNI EN 1794-2 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Prestazioni non acustiche - Parte 2: Requisiti generali di sicurezza e ambientali.
- [56] UNI EN 14389-1:2008 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Procedure di valutazione delle prestazioni a lungo termine - Parte 1: Requisiti acustici.
- [57] UNI EN 14389-2:2005 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Procedure di valutazione delle prestazioni a lungo termine - Parte 2: Requisiti non acustici.
- [58] UNI EN 14388:2005 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Specifiche.
- [59] UNI EN 12354-1, Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti.
- [60] UNI EN 12354-2, Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento acustico al calpestio tra ambienti.

- [61] UNI EN 12354-3, Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea.
- [62] UNI EN ISO 11690-2, Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Provvedimenti per il controllo del rumore.
- [63] UNI ISO 1996-1 Acustica - Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale - Parte 1: Grandezze fondamentali e metodi di valutazione.
- [64] UNI ISO 1996-2 Acustica - Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale - Parte 2: Determinazione dei livelli di rumore ambientale.
- [65] UNI ISO 14063, Gestione ambientale - Comunicazione ambientale - Linee guida ed esempi.
- [66] ISO 9613-2, Acoustics - Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2 - General method of calculation.

5.6 Progetti europei, report EEA

- [67] R. Nota, R. Barelds, D. van Maercke, Harmonoise WP3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning, Technical Report HAR32TR-040922-DGMR20, 20 January 2005.
- [68] P. de Vos, M. Beuving, E. Verheijen, Final technical report - Deliverable 4 of the Harmonoise project, Technical Report HAR7TR041213AEAT03, 25 February 2005.
- [69] Imagine Report, Determination of L_{den} and L_{night} using measurements, Imagine Report IMA32TR-040510-SP08, 4 January 2006.
- [70] Imagine Report , Description of the Source Database - WP7: Industrial Noise, Imagine Report IMA07TR-050418-DGMR01, Deliverable D6.
- [71] Imagine Report, Industrial noise: measurement methods - IMA07TR-050418-MBBM03 - Imagine Project.
- [72] Imagine Report, Guidelines for producing strategic noise maps on industrial sources, Imagine Report IMAWP7D14-060811-DGMR03, Deliverable D14.
- [73] EEA, CORINE Land Cover; technical guide - Addendum 2000, Technical report n. 40, 2000.
- [74] ISPRA, La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000, Rapporto n. 36, 2005.

- [75] EEA, CLC 2006 Technical Guidelines, Technical report n. 17, 2007.
- [76] Silence Project, Practitioner handbook for local noise actions plans, <http://www.silence-ip.org>.
- [77] M. Bérengier, J. Picaut, Methods for noise control by traffic management: impact of speed reducing equipments, Silence Project, Deliverable H.R2 <http://www.silence-ip.org>.

5.7 Letteratura scientifica e tecnica

- [78] Miedema H.M., Vos H., Exposure-response relationships for transportation noise, J. Acoust. Soc. Am., **104**(6) (1998).
- [79] Sandberg U., Ejsmont J. A., Tyre/road Noise - Reference Book, INFORMEX (2002).
- [80] Gaja E., Gimenez A., Sanchi S., Reigh A., Sampling techniques for the estimation of the annual equivalent noise level under urban traffic conditions, Appl. Acoust., **64**, 43-53 (2003).
- [81] Manvell D., Software strategies in noise mapping, Proc. Inter-Noise 2003, Jeju.
- [82] Stapelfeldt H., Manvell D., Optimising uncertainty and calculation time, Proc. Forum Acusticum 2005, Budapest.
- [83] Hartog van Banda E., Stapelfeldt H., Implementing prediction standards in calculation software – The various sources of uncertainty, Proc. Forum Acusticum 2005, Budapest.
- [84] Manvell D., Hartog van Banda E., Stapelfeldt H., The Nordtest method of quality assurance of environmental noise calculation methods in software – Practical experiences, Proc. Euronoise 2006, Tampere.
- [85] Hepworth P., Trow J., Hii V., Reference settings in noise mapping software – A comparison of the speed of calculation for different software, Proc. Euronoise 2006, Tampere.
- [86] Hepworth P., Trow J., Hii V., User controlled settings in noise mapping software – The effect on calculation speed and accuracy, Proc. Euronoise 2006, Tampere.
- [87] Probst W., Noise calculation strategies, Proc. Euronoise 2006, Tampere.
- [88] Schulte-Fortkamp B., Brocks B., Bray W., Soundscape: Wahrnehmung und Wissen neuer Experten bestimmen die Vorgehensweise in der Postmoderne des Community Noise, in Lärmbekämpfung, Vol. 2 n. 6, 2007.
- [89] Semidor C., Soundscape approach as a tool for urban design. Second part: “Frequencation, use and sound environment perception in four cities in Europe: Barcelona, Bristol, Brussels and Genoa”, Silence project deliverable I.D5, 2007.

- [90] SoundPLAN user's manual - Version 6.4, Braunstein + Berndt GmbH/SoundPLAN LLC, Backnang, 2007.
- [91] Integrated Noise Model (INM) Version 7.0 User's Guide, FAA, Washington DC, 2008.
- [92] S. Kephelopoulos, M. Paviotti, Advancement in the development of European common noise assessment methods: where are we?, Euronoise 2009, Edinburgh, Scotland.
- [93] Clairbois, J-P., Houtave P., Establishing priorities for ground transport noise in END action plans, Proc. Inter-Noise 2009, Ottawa.
- [94] Garai M., Fattori D., Barbaresi L., Guidorzi P., "La mappa acustica strategica dell'agglomerato di Bologna ai sensi del D. Lgs. 194/05" (relazione ad invito), Atti XXXVI Convegno A.I.A. Torino, Paper S1B-1, 1-6 (2009).
- [95] Bellucci P., Borchì F., Bellomini R., Garai M., Luzzi S., Criteri tecnici e considerazioni per l'attuazione delle disposizioni comunitarie, Atti del Seminario AIA-GAA "Riflessioni e proposte per l'evoluzione della legislazione sul rumore ambientale", Siracusa, 26 maggio 2010.

5.8 Esempi di buona pratica

- [96] Bruiparif: <http://www.bruitparif.it>
- [97] Municipalità di Munich: <http://www.muenchen.de/umweltatlas>
- [98] IVU-Umwelt GmbH: <http://www.ivu-umwelt.de>
- [99] SMILE: http://www.smile.europe.org/PDF/guidelines_noise_en.pdf
- [100] Planungsbüro Richter-Richard: <http://www.prr.de/index.htm>
- [101] Planungsbüro Richter-Richard:
http://www.norderstedt.de/static/de/8_0/8_179/8_4556/8_5359/8_5372/20205.pdf
- [102] IBGE - Bruxelles Environnement: <http://www.ibgebim.be>
- [103] Renova : <http://www.renova.se>