

I PIANI DI AZIONE

AI SENSI DEL D. LGS. n. 194 DEL 19/08/05

*...per sottolineare la necessità di un “Laboratorio
dell’udito” Vertov riflette sull’universo moderno,
nel racconto di un giorno del 1918:
“...sto uscendo da una stazione ferroviaria. Ho ancora nelle
orecchie l’ansimare del treno che si allontana...
un bacio, un’esclamazione ... risa, fischi, voci, lo sbuffare della
locomotiva ... mormorii, saluti
Mentre cammino rifletto:
bisognerebbe ideare uno strumento capace non tanto di descrivere,
ma di fissare, di fotografare questi suoni.
Altrimenti sarà impossibile organizzarli ...
Altrimenti ci fuggiranno come ci fugge il tempo.”*

Dziga Vertov

*in Piero Montanari, VERTOV, Il Castoro Cinema,
La Nuova Italia, Firenze 1975, pag.18*

I PIANI DI AZIONE

AI SENSI DEL D. LGS. n. 194 DEL 19/08/05



Firenze, dicembre 2009

I piani di azione

Ai sensi del D. Lgs. n. 194 del 19/08/05

Si ringraziano

il Prof. Massimo Martinelli, già Direttore dell'Istituto Processi chimico-fisici del CNR Pisa e il dr. Elpidio Tombari, dello stesso Istituto, per il continuo sostegno e la collaborazione prestata per la realizzazione di questa pubblicazione

© ARPAT 2009

Coordinamento editoriale: Silvia Angiolucci, ARPAT

Redazione: Gabriele Rossi, ARPAT

Realizzazione editoriale e stampa: Litografia IP, Firenze, dicembre 2009

Copertina: Alta srl; rielaborazione *effegiesse*

ISBN: 978-88-96693-01-8

Stampato su carta che ha ottenuto il marchio di qualità ecologica della Comunità Europea – Ecolabel

Per suggerimenti e informazioni: A.F. Comunicazione e informazione,
via N. Porpora, 22 - 50144 Firenze - tel. 05532061 - fax 055.3206464

Autori

Gaetano Licitra, ARPAT, Direzione tecnica

Marco Chetoni, Istituto per i processi chimico-fisici - CNR Pisa

Collaborazioni

Mara Nolli, ARPAT, Direzione tecnica

Diego Palazzuoli, ARPAT, Direzione tecnica

Per il par. 2.2: *Beatrice Siervo*, Istituto per i processi chimico-fisici CNR Pisa

Prefazione

L'esposizione al rumore ambientale risulta essere oggi uno dei temi di maggior attenzione, sia da parte dei cittadini, che degli enti di controllo e della comunità scientifica, anche in considerazione delle recenti conferme sull'aumento del rischio di insorgenza di gravi patologie extrauditriche.

Solo negli ultimi anni, dall'emanazione della Legge Quadro sull'inquinamento acustico (L. n. 447 del 26/10/1995), stiamo assistendo alla graduale implementazione di quelle misure di contenimento e abbattimento del rumore previste dal legislatore per la riduzione dell'inquinamento acustico nell'ambiente e dell'esposizione al rumore dei cittadini. La Toscana, grazie all'attenzione sul tema e alle attività promosse dalla Giunta e dal Consiglio Regionale, dalle Amministrazioni locali e da ARPAT, si delinea come la regione più virtuosa nel panorama nazionale. Sono stati approvati Piani Comunali di Classificazione Acustica per il 99% del territorio regionale, equivalente al 99.5% della popolazione, e ben 32 piani Piani Comunali di Risanamento Acustico hanno ricevuto un contributo regionale pari a 17 milioni di euro dal 2003 al 2009, comprensivi dei finanziamenti delle azioni di monitoraggio ai fini del risanamento acustico.

Con il recepimento della Direttiva Europea 49/2002/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale - avvenuto in Italia con il Decreto Legislativo 194/2005 - il quadro delle norme si è ulteriormente arricchito di uno strumento innovativo, dinamico ed efficace per la progressiva riduzione dell'esposizione della popolazione al rumore: le mappe acustiche strategiche e i piani di azione. Il processo di mappatura del rumore generato dalle infrastrutture di trasporto e dalle più impattanti attività industriali è propedeutico alla redazione dei piani di azione, che racchiudono le azioni messe a punto dalle autorità competenti, con la partecipazione del pubblico, per la progressiva riduzione dell'esposizione al rumore.

Al fine di far fronte ai nuovi obblighi normativi, con questa pubblicazione ARPAT intende contribuire alla divulgazione di esperienze e contributi scientifici utili ai decisori e ai tecnici che operano nel settore viene proposto lo stato dell'arte dei possibili interventi per la mitigazione del rumore, attraverso un accurato lavoro di raccolta della normativa e della produzione tecnico-scientifica a livello nazionale e internazionale.

L'obiettivo del volume è ripercorrere in maniera organica e il più possibile esaustiva, seppure accessibile al lettore non necessariamente specialista, i percorsi tecnico amministrativi che portano alla realizzazione dei piani di azione e le relative possibili soluzioni operative. Sono inoltre analizzati i piani già predisposti dai gestori delle

principali infrastrutture, considerando sempre il rapporto costi benefici delle differenti azioni.

ARPAT rinnova così il suo impegno a contribuire al confronto tecnico scientifico essenziale per svolgere un buon lavoro di supporto alle istituzioni per la messa a punto di strategie sempre più efficaci ai fini della protezione dal rumore dei cittadini e dell'ambiente e con l'auspicio che questa iniziativa possa rappresentare un valido riferimento anche a livello nazionale per la messa a punto dei piani di azione per città più sostenibili.

Sonia Cantoni
Direttore generale ARPAT

Indice

1	Introduzione	13
2	I Piani di Azione	15
	<i>2.1 Generalità</i>	15
2.1.1	Riferimenti normativi ai Piani di Azione	15
2.1.1.1	La Direttiva Europea 2002/49/CE	15
2.1.1.2	Il Decreto Legislativo n. 194 del 19/08/05	17
2.1.2	Obiettivi principali	26
2.1.3	Obiettivi secondari	26
2.1.4	I soggetti coinvolti	28
2.1.5	Le fasi del Piano	28
2.1.6	I limiti del Piano	30
2.1.6.1	Limiti normativi	30
2.1.6.2	Limiti legati all'uso dei descrittori acustici	30
2.1.6.3	Difficoltà gestionali del processo amministrativo	34
2.1.7	Normativa di riferimento per le infrastrutture di trasporto	34
2.1.7.1	Normativa relativa al traffico veicolare	38
2.1.7.2	Normativa relativa al traffico ferroviario	43
2.1.7.3	Normativa relativa al traffico aereo	45
	<i>2.2 Pianificazione dell'abbattimento del rumore</i>	53
2.2.1	Pianificazione e amministrazione del territorio	53
2.2.2	I Piani di Risanamento Acustico previsti dalla L. n. 447/95	59
2.2.2.1	I Piani Comunali di Risanamento Acustico	59
2.2.2.2	I Piani di Risanamento Acustico Aziendali	63
2.2.2.3	I Piani di Risanamento Acustico delle infrastrutture e dei trasporti	63
2.2.2.3.1	Risanamento Acustico delle infrastrutture di trasporto veicolare	65
2.2.2.3.2	I Piani di Risanamento Acustico di R.F.I.	68
2.2.3	I Piani di Azione in Italia	70
2.2.3.1	Piano di Azione del Comune di Firenze	71
2.2.3.2	Piano di Azione A.N.A.S.	72

2.2.3.3	Piano di Azione Autostrade per l'Italia	77
2.2.3.4	Piani di Azione R.F.I.	80
2.2.4	Integrazione tra Piani Comunali di Risanamento Acustico e Piani di Azione	84
2.3	<i>I Piani di Azione passo per passo</i>	87
2.3.1	Passo 1: responsabilità e competenze	87
2.3.2	Passo 2: descrizione e controllo della situazione esistente	88
2.3.3	Passo 3: individuazione e analisi delle criticità	89
2.3.3.1	Caratterizzazione degli insediamenti abitativi	90
2.3.3.2	Individuazione dei ricettori sensibili	91
2.3.3.3	Determinazione dei livelli di rumore ai ricettori	91
2.3.3.4	Individuazione della popolazione esposta al rumore	95
2.3.3.5	Individuazione delle aree critiche	98
2.3.3.6	Studio delle infrastrutture di trasporto principali	99
2.3.3.7	Studio degli agglomerati urbani	102
2.3.3.8	Impatto acustico dei siti di attività industriali	102
2.3.3.9	Insieme delle sorgenti: la mappatura acustica strategica	103
2.3.3.10	Analisi delle criticità	104
2.3.3.11	Ricognizione delle soluzioni praticabili e selezione degli interventi	107
2.3.4	Passo 4: coinvolgimento delle parti interessate	109
2.3.5	Passo 5: coinvolgimento della popolazione	110
2.3.5.1	Informazione dei cittadini	110
2.3.5.2	Consapevolezza del pubblico	113
2.3.5.3	Partecipazione dei cittadini	117
2.3.5.3.1	Gestione dei reclami	119
2.3.5.3.2	Indicatori sul fastidio provato dai cittadini	119
2.3.6	Passo 6: individuazione delle strategie per l'abbattimento del rumore e delle strategie a lungo termine	119
2.3.6.1	Impatto sulla politica locale	120
2.3.6.2	Costi	121
2.3.6.3	Benefici	123
2.3.7	Passo 7: stesura del Piano	125
2.3.7.1	Requisiti minimi del Piano	126
2.3.8	Passo 8: adozione e monitoraggio	127
2.3.9	Passo 9: revisione e aggiornamento	127
2.4	<i>Bibliografia</i>	129

3 Riduzione del rumore alla sorgente	135
<i>3.1 Generalità</i>	135
3.1.1 Le fasi dell'analisi	135
3.1.2 La valutazione degli effetti	136
3.1.3 L'individuazione e la caratterizzazione delle criticità	136
3.1.4 Strumenti economici per l'abbattimento del rumore	138
<i>3.2 Riduzione del rumore alla sorgente: infrastrutture stradali</i>	141
3.2.1 Caratteristiche acustiche della sorgente sonora	141
3.2.2 I tipi di interventi	149
3.2.3 Interventi strategici che trattano più sorgenti	151
3.2.3.1 Riduzione del traffico	151
3.2.3.2 Organizzazione del traffico stradale	151
3.2.4 Interventi sulla singola sorgente	157
3.2.4.1 Promozione di modalità di trasporto pubblico a bassa emissione	157
3.2.4.2 Superfici stradali a bassa emissione	158
3.2.4.3 Pneumatici a bassa emissione	169
3.2.4.4 Comportamento dei guidatori	172
3.2.4.5 Promozione dell'uso dei mezzi di trasporto in maniera alternativa	174
3.2.4.6 Promozione dell'uso delle biciclette: l'esempio francese	176
3.2.5 Interventi su strade a percorrenza veloce che attraversano i centri abitati	178
3.2.6 Conclusioni	181
<i>3.3 Riduzione del rumore alla sorgente: infrastrutture ferroviarie</i>	184
3.3.1 Caratteristiche acustiche della sorgente sonora	184
3.3.2 Percezione del rumore ferroviario	194
3.3.3 Rumore da rotolamento	195
3.3.3.1 Misure di riduzione specifiche applicabili al treno	200
3.3.3.1.1 Utilizzo di soles frenanti in materiale composito	200
3.3.3.1.2 Sostituzione dei ceppi dei freni per treni merci	204
3.3.3.1.3 Smorzatori di vibrazione delle ruote	204
3.3.3.1.4 Riprofilatura delle ruote	205
3.3.3.1.5 Utilizzo di ruote a bassa emissione acustica	205
3.3.3.2 Misure di riduzione specifiche applicabili al binario	211
3.3.3.2.1 Molatura acustica	212
3.3.3.2.2 Rotaie annegate per linee urbane	215

3.3.3.2.3	Smorzatori di vibrazione della rotaia	216
3.3.3.2.4	Suola della rotaia	223
3.3.3.2.5	Rotaie in piattaforma resiliente per ponti	224
3.3.3.2.6	Interventi sui supporti del binario	225
3.3.3.2.7	Interventi sugli scambi	226
3.3.3.2.8	Riduzione del rumore in curva	228
3.3.3.2.9	Barriere poste direttamente sui binari	228
3.3.4	Rumore degli impianti	229
3.3.5	Rumore aerodinamico	230
3.3.6	Altre sorgenti di emissione	231
3.3.6.1	I sistemi di segnalazione	231
3.3.6.2	Le operazioni nei piazzali	231
3.3.7	L'effetto della corretta manutenzione	232
3.3.8	Conclusioni	232
3.4	<i>Riduzione del rumore alla sorgente: infrastrutture aeroportuali</i>	239
3.4.1	Caratterizzazione della sorgente sonora	239
3.4.2	Misure di mitigazione del rumore aeroportuale	241
3.4.2.1	La riduzione alla fonte del rumore degli aeromobili	241
3.4.2.2	La pianificazione e la gestione del territorio	241
3.4.2.3	Le procedure operative di abbattimento del rumore	242
3.4.3	Conclusioni	242
3.5	<i>Bibliografia</i>	243
4	Riduzione del rumore lungo la via di propagazione	249
4.1	<i>Barriere acustiche</i>	249
4.1.1	Posizionamento	251
4.1.2	Caratteristiche costruttive	251
4.1.3	Barriere acustiche stradali fotovoltaiche	252
4.2	<i>Altri tipi di schermi al rumore</i>	253
4.3	<i>Bibliografia</i>	255

5 Riduzione del rumore al recettore	256
5.1 Isolamento acustico	256
5.2 La progettazione degli edifici	260
5.2.1 Edifici compatibili con il rumore usati come barriere	260
5.2.2 Struttura degli edifici e distribuzione delle funzioni	262
5.3 Il controllo attivo del rumore	276
5.4 Bibliografia	279
 6 Le aree quiete	 281
6.1 Riferimenti normativi	281
6.2 Identificazione delle aree quiete	283
6.2.1 La procedura a breve termine	283
6.2.2 La procedura a lungo termine	285
6.2.3 Criteri europei per definire le aree quiete	288
6.2.3.1 Criteri basati sui livelli sonori	288
6.2.3.2 Criteri basati sulla distanza	289
6.3 La qualità del paesaggio sonoro	290
6.4 Bibliografia	292

1 INTRODUZIONE

L'attuale politica europea per la gestione comune e integrata del rumore ambientale, che vede come principale riferimento legislativo la *Direttiva Europea 2002/49/CE*, è il frutto di un lavoro di esperti sulla tematica del rumore ambientale durato diversi anni.

Agli inizi del 1998, la Commissione Europea formulò alcune linee di indirizzo per agevolare l'operato di cinque Working Group che avrebbero dovuto consigliare la Commissione stessa sulle future strategie politiche da adottare in tema di rumore. Alla conferenza di Copenhagen, svoltasi qualche mese più tardi, in cui tali riferimenti furono ampiamente argomentati, si evidenziò l'urgenza di emanare una direttiva comunitaria che agisse da supporto a quello che faticosamente veniva portato avanti dalle azioni strategiche di alcuni dei singoli Paesi Membri, volte ad una riduzione dell'inquinamento acustico sul proprio territorio nazionale.

La predisposizione della Direttiva creò molto fermento e fu oggetto di diverse argomentazioni da parte dei massimi esperti di rumore, tanto che videro la luce ben 30 sue versioni ufficiali. La consultazione delle stesse si svolse tramite un apposito *Steering Committee*, con rappresentanza di tutti gli Stati Membri.

La versione definitiva fu pubblicata il 25 giugno del 2002 sulla Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee con il titolo *Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale* ed entrò in vigore il 18 luglio in tutti i Paesi Membri.

Ad essa, ci si riferirà più volte nel testo chiamandola brevemente END dall'inglese: *Environmental Noise Directive*.

La END definisce un approccio comune volto alla riduzione del rumore ambientale basato sulla creazione di un sistema di valutazione e di gestione del rumore, nei grandi agglomerati urbani e in prossimità delle grandi infrastrutture di trasporto.

L'abbattimento dell'inquinamento acustico dovrà avvenire attraverso un'appropriata valutazione dell'esposizione al rumore della popolazione, basata su metodi comuni adottati nei Paesi Europei, una larga e tempestiva informazione della popolazione sui livelli d'esposizione al rumore e sui relativi effetti sulla salute, la messa in atto di politiche e opere materiali volte non solo a ridurre i livelli di esposizione ove gravosi, ma anche a preservare le zone ancora silenziose.

In Italia, la citata Direttiva è stata recepita dal *D. Lgs. n. 194 del 19/08/05*, che ne ricalca completamente gli obiettivi e le metodologie.

La normativa individua dettagliatamente due strumenti principali per la pianificazione delle misure di abbattimento del rumore:

- 1) le *Mappe Acustiche Strategiche*, per la determinazione dell'esposizione della popolazione al rumore, causata globalmente dall'insieme delle sorgenti (stradali, ferroviarie, aeroportuali, industriali) presenti in una certa porzione di territorio o, anche da una sola di esse singolarmente (mappatura strategica);
- 2) i *Piani di Azione*, che a partire dalle mappe strategiche individuino gli interventi da realizzare localmente sul territorio, per la riduzione dell'esposizione al rumore della popolazione ivi presente.

L'implementazione stessa della Direttiva, nonché l'attuazione delle disposizioni contenute, ha fatto sì che fosse necessario un lungo lavoro di confronto fra gruppi di esperti che valutassero i diversi aspetti dell'inquinamento da rumore, dall'analisi delle sorgenti, alla valutazione dell'esposizione e degli effetti socio-sanitari da esse causati, all'ideazione di diverse forme di abbattimento che divengono dunque il vero contenuto dei Piani d'Azione, esplicitamente voluti dalla END.

Questo lavoro si propone di descrivere il processo di definizione dei **Piani di Azione contro il Rumore Ambientale**, cercando di fornire un quadro riassuntivo di quanto proposto dalla letteratura sull'argomento e alcune indicazioni operative per la redazione degli stessi Piani.

Lo schema seguito è quello di indicare, passo per passo, le singole operazioni da compiere, a partire dal design del progetto di piano, fino alle indicazioni dettagliate delle misure necessarie per contrastare il rumore delle principali infrastrutture di trasporto, agendo rispettivamente sulle sorgenti, sul cammino di propagazione e sui ricettori.

Vengono inoltre presentate, a titolo illustrativo, le più moderne strategie di abbattimento impiegate in Europa, in modo da avere un'ampia visione sugli interventi possibili e proponibili.

Il tutto dovrebbe permettere l'ottenimento di un quadro sinottico sulla tematica, sicuramente utile ai tecnici di settore in sede operativa.

2 I PIANI DI AZIONE

2.1 Generalità

2.1.1 Riferimenti normativi ai Piani di Azione

2.1.1.1 La Direttiva Europea 2002/49/CE

La Decisione n. 1600/2002/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 22 luglio 2002, istituisce il Sesto Programma Comunitario di azione in materia di ambiente, che coprirà un periodo di dieci anni, a decorrere dal 22 luglio 2002.

Tale programma definisce le linee guida per la politica ambientale comunitaria nell'arco di tempo da esso coperto, allo scopo di assicurare un elevato livello di protezione della popolazione europea, ed è fondato segnatamente sui principi: "chi inquina paga", su quello di precauzione, sull'azione preventiva e sul principio di riduzione dell'inquinamento alla fonte (Art. 2).

Al comma 1 dell'articolo 7, ("Obiettivi e aree di azione prioritarie per l'ambiente, la salute e la qualità della vita"), si riconosce come uno degli obiettivi principali sia il ridurre sensibilmente il numero di persone costantemente soggette a livelli medi di inquinamento acustico di lunga durata, in particolare, al rumore del traffico infrastrutturale che, secondo diversi studi scientifici pubblicati ormai da anni, provoca danni anche considerevoli alla salute umana.

In modo operativo, occorre preparare oggi i lavori per la seconda fase d'implementazione della citata Direttiva 2002/49/CE, attraverso una serie di azioni prioritarie, tra cui (comma 2, lettera g)):

1) *il completamento e il potenziamento delle misure, incluse le appropriate procedure di omologazione, concernenti l'inquinamento acustico proveniente da prodotti e servizi, in particolare dai veicoli a motore, ivi comprese misure per ridurre il rumore proveniente dall'interazione tra pneumatici e rivestimento stradale, che non compromettano la sicurezza stradale, dai veicoli ferroviari, dagli aeromobili e dai macchinari fissi;*

2) *l'elaborazione e l'applicazione di strumenti diretti a ridurre il rumore del traffico, ove opportuno, per esempio, attraverso una diminuzione della domanda di trasporti, il passaggio a mezzi di trasporto meno rumorosi, la promozione di misure tecniche antirumore e di una pianificazione sostenibile dei trasporti.*

Oggi è in corso un Settimo Programma Quadro Comunitario, istituito dalla Decisione n. 1982/2006/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 18 dicembre 2006,

concernente le attività di ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione, valide per gli anni 2007-2013.

Il Settimo Programma Quadro mira ad una ricerca multidisciplinare sulle interazioni tra i diversi fattori di rischio ambientali e climatici e salute umana, e integra le considerazioni riguardanti la salute pubblica e la caratterizzazione delle patologie, con i riferimenti ai rischi ambientali emergenti.

Le attività di ricerca del Settimo Programma quadro riguarderanno principalmente, oltre alle ripercussioni dei cambiamenti globali, le esposizioni molteplici attraverso diverse vie di esposizione, l'individuazione delle fonti di inquinamento ed i loro vettori, i fattori di stress ambientali nuovi o emergenti (ad esempio, le questioni legate all'ambiente urbano, l'inquinamento atmosferico, i campi elettromagnetici, il rumore e l'esposizione a sostanze tossiche), nonché i potenziali effetti sulla salute.

Nell'elenco dettagliato delle attività di tale Programma compare quella di rendere più ecologici i trasporti di superficie e aerei, al fine di una riduzione integrata dell'inquinamento acustico.

La Direttiva 2002/49/CE, all'Art. 1, comma 1, propone agli Stati Membri un *approccio comune volto ad evitare, prevenire o ridurre, secondo le rispettive priorità, gli effetti nocivi, compreso il fastidio, dovuti all'esposizione al rumore ambientale*. Essa è altresì destinata a *fornire una base per l'elaborazione di misure comunitarie di contenimento del rumore generato dalle principali sorgenti*, come specificato al comma 2.

Il campo di applicazione è quello del rumore ambientale, cioè quello cui l'uomo è esposto in tutte le zone in cui si trova e agisce, siano esse in città o in campagna. Non riguarda, tuttavia, il rumore che la persona stessa genera sul lavoro o nelle attività domestiche o a bordo di veicoli o durante attività militari nelle zone militari.

Con la nuova Direttiva, la Comunità Europea introduce delle sostanziali novità in materia, tra le quali l'utilizzo di nuovi parametri acustici (denominati L_{DEN} e L_{NIGHT}) [Cfr. Paragrafo 2.1.6.2. - Limiti legati all'uso dei descrittori acustici], da applicarsi per la descrizione di tutte le sorgenti sonore, di cui si parlerà più esaurientemente in seguito.

Le rispettive competenze sono definite dall'Art. 4: *Gli Stati Membri designano, agli opportuni livelli, le autorità e gli enti competenti per l'attuazione della presente Direttiva, comprese le autorità responsabili di quanto segue:*

a) l'elaborazione e, se del caso, adozione di mappe acustiche e Piani di Azione per

gli agglomerati, gli assi stradali e ferroviari principali e gli aeroporti principali;
b) la raccolta delle mappe acustiche e dei Piani di Azione.

In particolare, l'Art. 8 è interamente dedicato ai Piani di Azione, e fissa, ai commi 1 e 2, le prime scadenze secondo quanto indicato dalla Tabella 1, presentata nel prossimo Paragrafo.

Le misure antirumore previste dai Piani sono a discrezione delle autorità competenti, ma riguardano, in particolare, la definizione delle priorità, che devono essere individuate sulla base del superamento dei valori limite pertinenti o di altri criteri scelti dagli Stati Membri. Esse saranno applicate, in dettaglio, alle zone ritenute più esposte in base ai risultati delle neo prodotte mappature acustiche strategiche.

La Direttiva prescrive inoltre che i Piani di Azione siano riesaminati e rielaborati in funzione delle necessità, ogniqualvolta sviluppi sostanziali si ripercuotino sul clima acustico esistente e, comunque, almeno ogni cinque anni a partire dalla prima adozione.

La partecipazione del pubblico alla definizione delle diverse misure antirumore è ritenuto un processo fondamentale per la Direttiva, con la precisazione che esso deve intervenire in tutte le fasi di elaborazione e gestione dei Piani d'Azione, nonché partecipare, in tempo utile e in maniera efficace, alla preparazione e al riesame degli stessi.

Occorre, dunque, prevedere calendari ragionevoli, in modo da garantire tempi sufficienti per ciascuna fase di partecipazione del pubblico.

I contenuti minimi del Piano sono definiti nell'Allegato 5 della Direttiva e saranno trattati più avanti in questo lavoro.

2.1.1.2 Il Decreto Legislativo n. 194 del 19/8/2005

La Direttiva Europea 2002/49/CE, in Italia, è stata recepita con *Decreto Legislativo n. 194 del 19/08/2005*. Esso, ricalca sostanzialmente della quanto affermato dalla norma europea.

All'Art. 1, viene precisato che laddove non esplicitamente modificate dal Decreto n. 194, si applicano le disposizioni della *Legge n. 447 del 26/10/95, Legge Quadro sull'inquinamento acustico*, e successive modificazioni, nonché la normativa vigente in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico, adottata in attuazione della citata Legge Quadro.

Il Decreto prevede che l'Autorità individuata dalla Regione (o dalla Provincia

Autonoma) predisponga un quadro degli interventi di risanamento previsti, denominato Piano di Azione (Art. 4), relativamente al territorio dei Comuni coinvolti all'interno di agglomerati urbani, con scadenze differenziate in base alle dimensioni degli agglomerati, e lo trasmetta alla Regione stessa (o alla Provincia Autonoma).

I Piani di Azione sono definiti all'Art. 2 come *Piani destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico ed i relativi effetti, compresa, se necessario, la sua riduzione*.

Il Piano, aggiornato con periodicità quinquennale, prevede contenuti analoghi a quelli del Piano Comunale di Risanamento Acustico, tuttavia la normativa non individua la connessione tra questi due strumenti, sebbene al comma 8 dell'Art. 4 del D. Lgs. n. 194 del 19/08/05, si affermi che *i Piani di Azione recepiscono e aggiornano i piani di contenimento e di abbattimento del rumore prodotto per lo svolgimento dei servizi pubblici di trasporto, i piani comunali di risanamento acustico ed i piani regionali triennali di intervento per la bonifica dall'inquinamento acustico, adottati ai sensi degli Articoli: 3, comma 1, lettera i), 10, comma 5 e 7 e 4, comma 2, della Legge n. 447 del 26/10/95, pur senza specificarne le modalità* [Cfr. Paragrafo 2.2.4].

Le scadenze temporali e i soggetti a cui competono gli interventi definiti nel Decreto n. 194, in tutt'accordo con la Direttiva, sono indicati in Tabella 1.

Tabella 1 - Scadenze temporali e soggetti coinvolti, come indicato dal D. Lgs. n. 194 del 19/08/05

Scadenza temporale	Soggetto proponente	Soggetto ricevente	Oggetto	Revisione
18 gennaio 2004	Commissione	Parlamento Europeo, Consiglio	Relazione sulle misure comunitarie rivolte alle singole sorgenti di rumore	
18 luglio 2005	Stati Membri	Commissione, Pubblico	Disposizioni legislative, regolamentari e amministrative per conformarsi alla Direttiva. Definizione delle Autorità e degli Enti competenti ai sensi della Direttiva	
30 giugno 2005	Stati Membri	Commissione	Notifica alla Commissione di: - Agglomerati con più di 250.000 ab. - Assi stradali principali con più di 6 milioni veicoli - Assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli - Aeroporti principali	5 anni
18 luglio 2005	Stati Membri	Commissione	Valori limite espressi in L_{DEN} e L_{NIGHT}	
30 giugno 2007	Stati Membri		Redazione di mappe acustiche e mappature acustiche strategiche di: - Agglomerati con più di 250.000 ab. - Assi stradali principali con più di 6 milioni veicoli - Assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli - Aeroporti principali	

segue...

...segue

30 dicembre 2007	Stati Membri	Commissione	Trasmissione alla Commissione delle mappe acustiche e mappature acustiche strategiche di: - Agglomerati con più di 250.000 ab. - Assi stradali principali con più di 6 milioni veicoli - Assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli - Aeroporti principali	
18 luglio 2008	Stati Membri		Redazione di Piani di Azione per: - Agglomerati con più di 250.000 ab. - Assi stradali principali con più di 6 milioni veicoli - Assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli - Aeroporti principali	
18 febbraio 2008	Stati Membri	Commissione	Trasmissione alla Commissione dei Piani di Azione per: - Agglomerati con più di 250.000 ab. - Assi stradali principali con più di 6 milioni veicoli - Assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli - Aeroporti principali	
31 dicembre 2008	Stati Membri	Commissione	Notifica alla Commissione di tutti gli: - Agglomerati - Assi stradali principali - Assi ferroviari principali	
18 luglio 2009	Commissione	Pubblico	Relazione relativa a: - Mappe strategiche - Piani di Azione	5 anni

segue...

...segue

18 luglio 2009	Commissione	Parlamento Europeo, Consiglio	Relazione sull'attuazione Direttiva END	Almeno ogni 5 anni
30 giugno 2012	Stati Membri		Redazione di mappe acustiche strategiche di: - Agglomerati - Assi stradali principali - Assi ferroviari principali - Aeroporti principali	5 anni
30 dicembre 2012	Stati Membri	Commissione	Trasmissione alla Commissione di mappe acustiche e mappature acustiche strategiche di: - Agglomerati - Assi stradali principali - Assi ferroviari principali	Almeno ogni 5 anni
18 luglio 2013	Stati Membri		Redazione di Piani di Azione per: - Agglomerati - Assi stradali principali - Assi ferroviari principali	Almeno ogni 5 anni
18 febbraio 2014	Stati Membri	Commissione	Trasmissione dei Piani di Azione per: - Agglomerati - Assi stradali principali - Assi ferroviari principali	Almeno ogni 5 anni

All'Art. 2 del Decreto (*Definizioni*) viene definito agglomerato un'area urbana, individuata dalla Regione o Provincia Autonoma competente, costituita da uno o più centri abitati, ai sensi dell'Art. 3 del D. Lgs. n. 285 del 30/04/92 e successive modificazioni, contigui fra loro e la cui popolazione complessiva sia superiore a 100.000 abitanti;

Il Decreto n. 285 del 30/04/92, detto anche “Codice della strada”, definisce il *centro abitato* come un insieme di edifici, delimitato lungo le vie di accesso dagli appositi segnali di inizio e fine. Per insieme di edifici si intende un raggruppamento continuo, ancorché intervallato da strade, piazze, giardini o simili, costituito da non meno di venticinque fabbricati e da aree di uso pubblico con accessi veicolari o pedonali sulla strada.

Agglomerato, genericamente, è il termine utilizzato per indicare una città estesa che comprende il tessuto urbanizzato costituito da un Comune centrale, di grosse dimensioni, unito ai sobborghi e alle città satellite che lo circondano. L'agglomerato sembra dunque un'area urbanizzata monocentrica, che si differenzia nella conurbazione, nel senso che l'agglomerazione nasce attorno ad una città di maggiore rilevanza rispetto alle altre che la circondano, che si possono definire come città satellite. La dipendenza non è solo demografica, ma anche di servizi. Generalmente, si individua nell'agglomerato quel tessuto urbano che presenta distanze fra il costruito inferiori ai duecento metri, esclusi parchi ed aree protette.

In modo più dettagliato, tuttavia, una definizione non viene fornita da nessuna norma e può, in effetti, essere problematico applicare la definizione dello stesso riportata a tutte le situazioni, a livello internazionale.

Tali definizioni prescindono da valutazioni di carattere meramente amministrativo e si riferiscono, piuttosto e più correttamente, alle caratteristiche di urbanizzazione del territorio.

Si deve sottolineare infatti come la END faccia riferimento non a “città” o “comuni”, ma a conurbazioni che possono essere formate da più unità politico-amministrative, contigue e senza soluzione di continuità, così da assumere, sul piano della loro individuazione, i tratti di un'area urbanizzata unica.

Attorno ad un agglomerato può organizzarsi un'area metropolitana, includendo anche aree periferiche non strettamente connesse all'area urbana, ma legate ad essa per alcune caratteristiche, come, ad esempio, per il commercio.

Elementi necessari affinché esista una vera e propria area metropolitana sono:

- la presenza di una rete di trasporti che colleghi tra loro i diversi ambiti urbani dell'area;
- la presenza di forti interazioni economico/sociali all'interno dell'area stessa.

È difficile individuare un chiaro confine dell'area metropolitana, basandosi esclusi-vamente sulle interazioni economiche e sulla rete dei trasporti, ma spesso proprio l'esistenza di queste forti interazioni, tra le sue diverse parti, obbliga le Amministrazioni locali a delegare parte delle proprie competenze ad un coordinamento centrale, che superi gli ambiti strettamente territoriali, al fine di garantire una corretta gestione dell'area metropolitana, in particolare in alcuni settori specifici. In questo caso, laddove esiste un Ente di coordinamento centrale, è possibile avere una chiara indicazione dei confini dell'area metropolitana, almeno dal punto di vista legislativo/ esecutivo.

In Italia, dal dopoguerra a oggi l'espansione urbanistica si è spesso sviluppata in maniera diffusa e caotica: zone urbanizzate si sono sviluppate attorno alle principali direttrici stradali, senza soluzione di continuità, spesso non rispettando i confini naturali delle città, ma inglobando zone industriali, agricole e naturali. Questo ha permesso la creazione di luoghi costruiti, che rispetto alle città originarie non conservano più una vera e propria identità, ma si trovano a far parte di un sistema più complesso, per certi aspetti di difficile gestione.

Una procedura proposta dalla Regione Toscana (proposta di individuazione degli agglomerati urbani di cui all'art. 17 bis della Legge Regionale Toscana n . 89 del 01/12/98, *Norme in materia di inquinamento acustico*), per identificare gli agglomerati urbani, attualmente in fase di studio, può essere riassunta nei seguenti punti operativi:

1. selezione dell'edificato compreso nel territorio del capoluogo di provincia che potrebbe costituire un agglomerato e nei comuni ad esso confinanti;
2. aggregazione di edifici che distano tra di loro meno di 50 m;
3. conteggio del numero di edifici contenuti in queste aggregazioni;
4. selezione delle aggregazioni con numero di edifici, in esse compresi, uguale o superiore alle 25 unità e quindi definizione di questi ultimi come "centri abitati", ai sensi del D. Lgs. n.285 del 30/04/92;
5. aggregazione di centri abitati interdistanziati da meno di 100 m;
6. individuazione delle aggregazioni appartenenti a comuni limitrofi al comune capoluogo di provincia, ma con esso "agglomerabili" tramite la procedura esposta;
7. individuazione degli edifici contenuti in queste aggregazioni;
8. stima della popolazione residente in questi edifici e pertanto stima della popolazione "agglomerabile" con quella del comune capoluogo di provincia in esame;
9. valutazione del raggiungimento o superamento della soglia dei 100.000 abitanti residenti nell'agglomerato urbano così definito e delimitato.

Nel 2008, le aree metropolitane che rispondono ai requisiti di conurbazione su esposti,

secondo i dati dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (O.C.S.E.), sono quelle riportate in Tabella 2.

Tabella 2 - *Le aree metropolitane italiane* [dati O.C.S.E., 2008]

Pos.	Città	Regione	Popolazione città/agglomerazione
1	Roma	Lazio	2.540.982 / 4.103.250
2	Milano	Lombardia	1.256.002 / 7.123.563
3	Napoli	Campania	1.002.409 / 4.223.652
4	Torino	Piemonte	902.252 / 2.136.362
5	Palermo	Sicilia	668.560 / 1.023.256
6	Genova	Liguria	610.811 / 878.789
7	Bologna	Emilia-Romagna	373.745 / 975.274
8	Firenze	Toscana	367.647 / 984.912
9	Bari	Puglia	325.867 / 1.599.756
10	Catania	Sicilia	302.884 / 632.419
11	Venezia	Veneto	268.934 / 632.419
12	Verona	Veneto	263.541 / 880.230
13	Messina	Sicilia	245.159 / 657.785
14	Trieste	Friuli-Venezia Giulia	210.614 / 236.512
15	Padova	Veneto	208.301 / 882.800

Un documento di R.F.I. S.p.A, denominato *Piano di Azione per gli assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno, negli agglomerati con più di 250.000 abitanti ai sensi del D. Lgs. n.194 del 19/08/05*, datato gennaio 2008, identifica negli agglomerati rispondenti ai requisiti del titolo quelli di: Bologna, Firenze, Genova, Milano, Napoli, Roma, Torino, Venezia.

Gli agglomerati con più di 250.000 abitanti sono quelli per i quali il Decreto Legislativo n. 194 fissa la prima scadenza per la redazione dei Piani di Azione (18 luglio 2008) [Cfr. Tabella 1].

I nuovi descrittori acustici L_{DEN} e L_{NIGHT} introdotti per un'armonizzata descrizione dei livelli sonori sono trattati all'Art. 5 e poi ripresi nell'Allegato 1 del Decreto Legislativo n. 194.

Il livello (giorno-sera-notte) L_{DEN} in decibel (dB), è definito dalla seguente formula:

$$L_{DEN} = 10 \log [(14 \cdot 10^{L_{DAY}/10} + 2 \cdot 10^{(L_{EVENING}+5)/10} + 8 \cdot 10^{(L_{NIGHT}+10)/10})/24]$$

dove:

- L_{DEN} è il livello continuo equivalente, a lungo termine, ponderato «A», determinato sull'insieme dei periodi giornalieri di un anno solare;
- L_{DAY} è il livello continuo equivalente, a lungo termine, ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi diurni di un anno solare;
- $L_{EVENING}$ è il livello continuo equivalente, a lungo termine, ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi serali di un anno solare;
- L_{NIGHT} è il livello continuo equivalente, a lungo termine, ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi notturni di un anno solare.

Per tener conto delle condizioni sociologiche, climatiche ed economiche presenti sul territorio nazionale, il periodo giorno-sera-notte (dalle 6.00 alle 6.00 del giorno successivo) viene a sua volta così suddiviso:

- 1) periodo diurno di 14 ore: dalle 06.00 alle 20.00;
- 2) periodo serale di 2 ore: dalle 20.00 alle 22.00;
- 3) periodo notturno di 8 ore: dalle 22.00 alle 06.00.

L'anno è quello di osservazione per l'emissione acustica ed un anno medio sotto il profilo meteorologico, dove si considera il suono incidente e si trasmette il suono riflesso dalla facciata dell'abitazione considerata.

La determinazione dei livelli di L_{DAY} , $L_{EVENING}$, L_{NIGHT} sull'insieme dei periodi diurni, serali e notturni potrà avvenire attraverso l'applicazione di tecniche previsionali e/o di campionamento statistico.

Per quanto riguarda le postazioni di misura si rimanda al Paragrafo 2.1.6.2.- *Limiti legati all'uso dei descrittori acustici*.

I requisiti minimi del Piano, contenuti nell'Allegato 5 del D. Lgs. n. 194 del 19/08/05 (secondo l'Art. 4, comma 5 del Decreto stesso), sono illustrati nel Paragrafo 2.3.7.1, - *Requisiti minimi del Piano*.

L'Allegato 5 accenna inoltre alle metodologie d'intervento che le Amministrazioni, nell'ambito delle proprie competenze, possono predisporre per ottenere gli scopi prefissati dal Decreto. Esse sono varie: dalla pianificazione del traffico a quella urbanistico-territoriale; dagli interventi sulle sorgenti di rumore, alla scelta di sorgenti più silenziose, alle riduzioni della trasmissione del rumore. Gli interventi possono essere diversi da zona a zona e devono essere modulati sulle specifiche esigenze proprie della zona ogni volta considerata.

2.1.2 Obiettivi principali

L'obiettivo principale di un Piano di Azione è quello specificato dalla Direttiva stessa, ovvero di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi dell'esposizione al rumore ambientale, compreso il fastidio.

In particolare, si dovrebbe cercare di:

- evitare di produrre nuovo rumore e abbattere quello esistente;
- migliorare la situazione dove il rumore per i residenti è considerato dagli stessi troppo elevato;
- proteggere le zone silenziose;
- assicurare l'informazione e la partecipazione del pubblico, in merito al rumore ambientale ed ai relativi effetti sulla salute.

In sintesi, un Piano di Azione deve:

- proteggere la salute dei cittadini e il benessere nelle loro abitazioni;
- migliorare la qualità della vita nelle città;
- creare delle zone tranquille, che possano essere attrattiva per residenti, lavoratori e turisti e possano essere considerate rifugi temporanei al rumore.

I Piani di Azione aiutano a dare vita alle misure di abbattimento del rumore attraverso un inventario di metodi risolutivi, partendo dalla valutazione della situazione acustica e dai conflitti esistenti, anche coinvolgendo le parti interessate e il pubblico.

Per ottimizzare le misure dell'abbattimento del rumore in un Piano di Azione, occorre coordinarlo con altri obiettivi, strumenti e strategie dello sviluppo urbano, come la pianificazione del territorio, la protezione della qualità dell'aria, le campagne di promozione di modelli di trasporto eco-compatibili, i programmi di rivalutazione del centro storico.

2.1.3 Obiettivi secondari

Un Piano di Azione efficace, inoltre, mira a:

- sottoporre i risultati della mappatura acustica ad una valutazione quantitativa e qualitativa, in funzione della ricerca e dello studio delle zone a rischio, assegnando loro le priorità d'intervento;
- coinvolgere tutti gli Enti pubblici che hanno competenze utili, nel processo di pianificazione, e tutti gli altri destinatari, nonché il pubblico stesso, nel processo di valutazione del Piano;
- collegare il processo di pianificazione degli interventi alle altre strategie locali e

- agli altri piani tematici d'intervento;
- sviluppare soluzioni per i problemi dovuti al rumore, in cooperazione con le Autorità locali, gli altri destinatari, e il pubblico;
 - implementare le misure scelte, col supporto, anche oneroso, di tutti gli attori interessati.

I Piani di Azione definiscono gli obiettivi di riduzione del rumore e descrivono le misure necessarie a ottenere tale riduzione, definiscono quali sono le priorità da affrontare e le strategie a breve, medio e lungo periodo.

Essi studiano il rapporto costi-benefici migliore e specificano quali siano i risultati ottenibili da ogni misura di intervento e quali le Autorità preposte all'applicazione delle specifiche misure e al loro controllo.

Esistono, fondamentalmente, due generiche tipologie di Piano di Azione:

- il piano strategico;
- il piano progettuale.

Il piano strategico individua prevalentemente le linee di indirizzo secondo cui deve essere attuato il risanamento acustico, definendo i criteri generali per la pianificazione e la progettazione degli interventi, le modalità di ricerca dei finanziamenti, i ruoli e le responsabilità dei differenti soggetti coinvolti.

Gli interventi pianificati, nell'ambito di un piano strategico, comprendono prevalentemente il dispiegamento di politiche e atti di pianificazione.

Esso non richiede un calendario temporale dettagliato degli abbattimenti sonori raggiunti, né una stima precisa dei costi necessari; tuttavia la natura dello strumento richiede che le azioni da programmare siano comunque descritte nella concretezza degli interventi previsti e sia data una stima, quanto più possibile quantitativa, degli effetti attesi, soprattutto in termini di riduzione dell'esposizione della popolazione al rumore.

Il piano progettuale contiene una caratterizzazione di maggior dettaglio degli interventi previsti, consentendo così di prevedere una stima accurata dei costi e dei benefici indotti. Un piano progettuale caratterizza le specifiche criticità presenti sul territorio e definisce le singole opere da realizzare, fornendo un piano con le precise scadenze temporali per la loro attuazione. La definizione degli interventi di mitigazione necessari può essere realizzata attraverso una progettazione preliminare, oppure, qualora ciò non sia possibile, attraverso il dimensionamento acustico delle opere, unito ad una valutazione di massima sui possibili vincoli tecnici e/o economici delle stesse.

I Piani di Azione includono mappe e descrizioni dettagliate delle problematiche legate al rumore. Il tutto deve essere di facile consultazione anche per un pubblico

di non esperti.

Le mappe, in particolare, devono essere essenzialmente di due tipi: una che mostri una visione d'insieme di tutte le criticità acustiche nel territorio (*hot spot*), e gli obiettivi per la riduzione del rumore nell'intera area o agglomerato, ed una mappa più dettagliata, con l'analisi delle misure di abbattimento in ogni singolo *hot spot* evidenziato.

Il processo di redazione del Piano può avvenire secondo diversi approcci, meglio se coesistenti:

- approccio partecipato, che presuppone il coinvolgimento del pubblico in tutto il processo;
- approccio cooperativo, che prevede il coinvolgimento di tutti i soggetti interessati nella creazione di soluzioni;
- approccio aperto, per collegare il piano d'abbattimento del rumore agli altri strumenti, quali quelli per il miglioramento della qualità dell'aria, per la pianificazione del territorio o per la mobilità;
- approccio misurabile, per quantificare, anche in diversi scaglioni, gli obiettivi di riduzione del rumore, sia in fase progettuale che di verifica e monitoraggio dei risultati ottenuti.

2.1.4 I soggetti coinvolti

I soggetti coinvolti, oltre al pubblico in senso lato, sono:

1. l'Autorità individuata dalla Regione o dalla Provincia Autonoma.
2. le Società e gli Enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture.

2.1.5 Le fasi del Piano

Nella redazione del Piano di Azione dovranno essere preliminarmente definiti:

- i successivi livelli di progettazione; con le scelte progettuali relative a ciascun livello;
- le modalità di revisione delle scelte progettuali già fatte;
- le competenze dei vari partecipanti alla redazione del Piano, sia a livello decisionale che consultivo;
- l'individuazione dei casi che possono trovare soluzioni di differente natura, ad esempio, con interventi di tipo urbanistico.

Per la sua corretta predisposizione, sono state individuate in sede UNI [Cfr. UNI/TR 11327 *Criteri per la predisposizione dei Piani di Azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico e relativi effetti*] sostanzialmente quattro macro fasi:

- La prima, *pianificazione strategica preliminare*, è l'attività di ricognizione che mira a definire gli ambiti di intervento e il quadro delle azioni strategiche risolutive su cui si baserà tutto lo sviluppo della pianificazione successiva.

Essenzialmente si sviluppa in quattro sotto fasi:

- ricognizione delle criticità;
- ricognizione degli indirizzi di pianificazione;
- definizione degli ambiti di intervento;
- ricognizione delle soluzioni praticabili.

Queste sotto fasi, in particolare le ultime due, si influenzano fra loro e si sviluppano in maniera ricorsiva col procedere dell'affinamento della progettazione e degli obiettivi da raggiungere.

- La seconda, *definizione generale del Piano*, identifica gli interventi in programma e assegna un elenco di priorità generale. Questa fase termina con l'adozione della proposta di Piano e l'avvio delle consultazioni. Nello specifico, comprende le soluzioni da adottare per ciascuna area critica, i programmi temporali, i soggetti coinvolti, le risorse economiche previste, ecc.

- La terza fase prende avvio con l'*approvazione del Piano*, eventualmente modificato a seguito della consultazione del pubblico e dei lavori delle autorità competenti, e prevede la progettazione esecutiva e la realizzazione degli interventi.

- La quarta fase consiste nel *monitoraggio del Piano*, specificatamente il suo stato di attuazione e l'efficacia delle azioni intraprese. È una fase dinamica, nel senso che il monitoraggio del Piano precedente influenza le scelte di quello successivo. Sostanzialmente verifica la realizzazione delle azioni programmate e il raggiungimento degli obiettivi attesi.

Come riferito, l'esito del processo di pianificazione deve definire una scala di priorità nella scelta delle aree critiche. Il Piano dovrà poi procedere in maniera iterativa, perché talune soluzioni progettuali, come per esempio il dimensionamento delle barriere anti-rumore, potranno essere compiutamente definite, solo dopo l'acquisizione di tutti i parametri necessari.

La definizione del Piano deve essere dinamica e continuamente assoggettata a verifiche: dovranno essere sempre riconfermate le scelte strategiche iniziali, così come

dovranno essere ri-verificate le soluzioni adottate al momento del loro inserimento all'interno di un'area critica, che potrebbero anche costringere alla revisione delle scelte operate nelle fasi precedenti di elaborazione.

2.1.6 I limiti del Piano

2.1.6.1 Limiti normativi

I Piani di Azione, così come sono stati definiti dal D. Lgs. n. 194 del 19/08/05, hanno in realtà dei grossi limiti, in primis referenziali.

Secondo il già citato comma 5, dell'Art. 4 del Decreto, *i Piani di Azione sono predisposti in conformità ai requisiti minimi stabiliti all'Allegato 5, nonché ai criteri stabiliti con Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, di concerto con i Ministeri della Salute e delle Infrastrutture e dei Trasporti, sentita la Conferenza unificata [...], tenuto conto anche della normativa tecnica di settore*, ma il decreto del Ministero dell'Ambiente che avrebbe dovuto stabilire tali criteri di conformità non è stato mai emanato (lo si attendeva entro il febbraio 2006). Ciò comporta la mancanza, al momento, di un requisito essenziale, relativo proprio ai criteri in base ai quali redigere i Piani di Azione.

Poiché l'obbligo nei confronti della Comunità Europea permane, l'assenza di tale decreto limita enormemente la possibilità di presentare Piani omogenei e paragonabili a livello nazionale.

2.1.6.2 Limiti legati all'uso dei descrittori acustici

Per realizzare il complesso compito assegnato dalla Direttiva 2002/49/CE agli Stati Membri, nel campo della politica comunitaria antirumore, è ovviamente necessaria una *acquaintance* tecnica unica che consenta, sia il dialogo fra tecnici, che la raccolta di dati comparabili su scala europea.

Uno dei parametri fondamentali dell'analisi del clima acustico e della verifica del rispetto dei limiti è il descrittore acustico impiegato, cioè, secondo la Direttiva, la quantità fisica che descrive il rumore ambientale, relazionabile con un effetto avverso sulla salute.

La Legge Quadro n. 447 del 26/10/95 e i successivi decreti attuativi adottavano l'utilizzo dei descrittori acustici L_{DAY} (Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, diurno) e L_{NIGHT} (Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, notturno). Anche i limiti con i quali confrontarli, ovviamente, venivano espressi in funzione di questi due descrittori.

La Direttiva Europea ed il conseguente Decreto italiano di recepimento introducono due nuovi descrittori acustici ai quali fare riferimento, L_{DEN} (Livello giorno-sera-

notte, definito nell'Allegato 1 della END, mediato sull'anno di osservazione e su quello medio dal punto di vista meteorologico) e L_{NIGHT} (Livello sonoro medio a lungo termine ponderato "A", definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi notturni di un anno) che dovrebbero sostituire i precedenti. Il condizionale in questo caso è d'obbligo, dato che la completa sostituzione dei descrittori, a tre anni di distanza dall'emanazione della Direttiva, non è ancora avvenuta. I nuovi descrittori sono usati rispettivamente per valutare il disturbo generalizzato, tecnicamente chiamato *annoyance* (traducibile grossolanamente con il termine generico fastidio) e il disturbo sul sonno indotti sulla popolazione.

Fondamentalmente i problemi legati all'utilizzo dei nuovi descrittori sono tre. Il primo è legato alla definizione del livello sonoro in base ai ricettori ad esso esposti: secondo il D.M.A 16/03/98, *Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico*, decreto attuativo della Legge Quadro, è misurato ad 1 m dalla facciata, con l'altezza del microfono scelta in accordo con la reale o ipotizzata posizione del ricettore, mentre per il D.Lgs. n. 194 del 19/08/05 la posizione di riferimento prescelta per la determinazione dei livelli L_{DEN} e L_{NIGHT} è situata all'altezza di 4 m dal suolo e sulla facciata più esposta all'immissione sonora della sorgente, escludendo il contributo delle riflessioni della facciata stessa. Quest'ultima procedura, basata su una posizione univoca del microfono, pur permettendo una maggiore omogeneizzazione e confrontabilità dei dati acustici, pecca nel tutelare tutti i diversi possibili ricettori, collocati spesso ad altezze dal suolo, anche sensibilmente differenti da quella di 4 m.

A queste problematiche, si aggiunge quella che può scaturire da una diversa suddivisione delle 24 ore giornaliere: dalla divisione della giornata, secondo la normativa italiana, nei soli periodi: diurno (06.00 - 22.00) e notturno (22.00 - 06.00) si deve passare alla nuova, di tre periodi: giorno (06.00 - 20.00), sera (20.00 - 22.00) e notte (22.00 - 06.00).

Ulteriori problemi legati all'incertezza del dato nascono dalla prescrizione, per i valori di L_{DEN} e L_{NIGHT} , di una rappresentatività dell'immissione sonora di tipo annuale, con riferimento all'anno meteorologico medio. Usare descrittori determinati su base annuale per sorgenti a funzionamento discontinuo, favorirebbe, nel processo di media, sorgenti ad emissione discontinua rispetto a quelle meno discontinue, tipicamente: le principali infrastrutture di trasporto e gli impianti a ciclo produttivo continuo.

È poi praticamente insostenibile, e spesso ingiustificato, eseguire un monitoraggio acustico in continuo per un anno intero, al fine di misurare direttamente i valori di L_{DEN} e L_{NIGHT} . Ne consegue che questi, di fatto, non saranno misurati direttamente, ma stimati mediante modelli numerici o interpolazioni di dati misurati su periodi molto più brevi, introducendo così un'ulteriore incertezza nel valore ottenuto, dipendente

da numerosi fattori e crescente con la variabilità nel tempo dell'immissione sonora e con la riduzione del tempo di misurazione.

Il terzo aspetto problematico legato all'uso dei nuovi descrittori acustici nasce dalla mancata conoscenza dei nuovi limiti ai quali riferire i descrittori stessi: risulta quindi tecnicamente difficile stabilire, con criteri oggettivi, il superamento dei limiti. La scadenza del 18/07/05 entro la quale doveva essere comunicata alla Commissione Europea una revisione dei valori limiti nazionali ed una loro conversione in L_{DEN} e L_{NIGHT} è slittata al 31/12/05, secondo quanto disposto dal D. Lgs. n. 194 del 19/08/05.

Entro tale data, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio avrebbe dovuto comunicare alla Commissione Europea le informazioni sui valori limite, espressi in L_{DEN} e L_{NIGHT} , in vigore per il rumore del traffico veicolare, ferroviario ed aereo in prossimità degli aeroporti, nonché i valori limite stabiliti per il rumore nei siti di attività industriali.

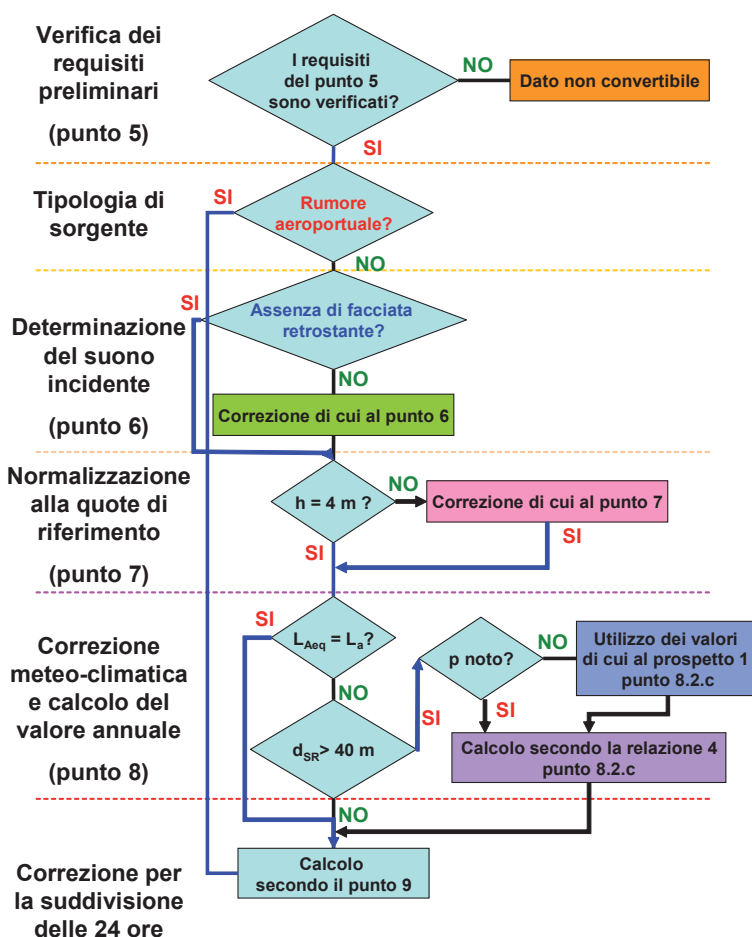
Il promesso adempimento non è stato a tutt'oggi ancora assolto, né è stato emanato il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri che avrebbe dovuto determinare i criteri e gli algoritmi per la conversione dei valori limite previsti. In assenza della prevista conversione dei descrittori acustici, sono ancora utilizzabili i descrittori italiani e i valori limite vigenti, ai sensi dell'art. 5 comma 4 del D. Lgs. n. 194 del 19/08/05.

Nel novembre 2007, è stata redatta la norma UNI 11252 *Procedure di conversione dei valori di $L_{A, EQ}$ diurno e notturno e di L_{VA} nei descrittori L_{DEN} e L_{NIGHT}* , che nella propria introduzione afferma: *l'impiego dei due (nuovi) descrittori e delle relative procedure metrologiche costituiscono una discontinuità rispetto alle vigenti tecniche di rilevamento, riducibile mediante procedure di armonizzazione, applicabili anche per recuperare il consistente patrimonio di dati di rumore ambientale finora acquisiti, rendendolo così compatibile con i nuovi descrittori.*

La procedura indicata dalla citata norma UNI si applica a dati ottenuti da rilievi sperimentali o da elaborazioni e modellazioni numeriche, riguardanti il rumore prodotto da:

- traffico stradale,
- traffico ferroviario,
- traffico aeroportuale,
- siti di attività industriale inclusi nell'Allegato 1 del D. Lgs. n. 372 del 04/08/99, in attuazione della Direttiva Europea 96/61/CE, relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento, procedendo secondo il seguente schema a blocchi di Figura 1.

Figura 1 - *Procedura di conversione dei descrittori acustici, adattata dalla Norma UNI 11252*



I riferimenti ai punti 5, 6, 7, 8.2.c e 9 nei riquadri alla norma stessa corrispondono alle seguenti procedure:

5 – correzione per la suddivisione delle 24 h, da eseguire in conformità al successivo punto 9, in funzione della tipologia di sorgente sonora e dei dati da convertire;

6 – correzione per il suono incidente;

7 – normalizzazione alla quota di riferimento di 4 m dal suolo;

8.2 c – valori cautelativi di p (frazione dell'anno solare, valore compreso fra 0 e 1, di condizioni favorevoli alla propagazione sonora), in assenza di opportuni dati statistici sull'occorrenza di condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione sonora nell'anno;

9 – metodi specifici di correzione della suddivisione delle 24 h per tipologia di sorgente.

2.1.6.3 Difficoltà gestionali del processo amministrativo

A parte i limiti economici, che in genere influenzano significativamente questo tipo di processo, anche il coordinamento di tutte le autorità competenti può mostrarsi come una grossa difficoltà. Spesso, infatti, interagiscono soggetti locali che hanno competenze limitate, con soggetti nazionali, come nel caso, ad esempio, di autostrade o ferrovie che passano vicino ai centri abitati. La loro difficile collaborazione può significare un ulteriore rallentamento a quello già causato dai tempi legati sia al disbrigo di tutte le pratiche burocratiche. L'individuazione delle competenze, non sempre è definita in maniera chiara e univoca dalle norme. Costituiscono poi un ulteriore limitazione al raggiungimento del compimento del processo i casi in cui sono contrapposti gli interessi dei diversi attori in gioco.

2.1.7 Normativa di riferimento per le infrastrutture di trasporto

Il Piano di Azione, che generalmente mira a impostare scelte strategiche per soluzioni di intervento in aree interessate dall'inquinamento acustico infrastrutturale, prende avvio dalla corretta individuazione delle aree in cui si evidenziano i superamenti dei limiti normativi.

A tale scopo, verranno successivamente passate in rassegna le norme specifiche riguardanti le infrastrutture di trasporto emanate in Italia a seguito della Legge Quadro n.447 del 26/10/95.

La L. 447 del 26/10/95, all'Art. 2 comma 5, afferma che i provvedimenti mirati alla limitazione delle emissioni sonore possano essere di natura amministrativa, tecnica, costruttiva e gestionale. Rientrano in tale ambito:

- a) gli interventi di riduzione del rumore, distinti in interventi attivi di riduzione delle emissioni sonore delle sorgenti e in interventi passivi, adottati sull'immissione ai ricettori o lungo la via di propagazione dalla sorgente al ricettore;
- b) i piani urbani del traffico, i piani dei trasporti urbano, provinciale o regionale, la pianificazione e gestione del traffico stradale, ferroviario, aeroportuale e marittimo.

All'Art. 3, si definiscono le competenze dello Stato: *l'adozione di piani pluriennali per il contenimento delle emissioni sonore prodotte per lo svolgimento di servizi pubblici essenziali, quali linee ferroviarie, metropolitane, autostrade e strade statali, entro i limiti stabiliti per ogni specifico sistema di trasporto, ferme restando le competenze delle Regioni, delle Province e dei Comuni.*

Seguono, negli articoli successivi Artt. 4, 5 e 6, la definizione delle competenze per Regioni, Province e Comuni.

L'Art. 7, introduce disposizioni relative ai Piani di Risanamento Acustico. Ovvero, si afferma che: *Nel caso di superamento dei valori di attenzione [...] i comuni provvedono all'adozione di piani di risanamento acustico, assicurando il coordinamento con il piano urbano del traffico di cui al decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285, e successive modificazioni, e con i piani previsti dalla vigente legislazione in materia ambientale. I piani di risanamento sono approvati dal consiglio comunale. I piani di risanamento acustico di cui al comma 1 devono contenere:*

- a) l'individuazione della tipologia ed entità dei rumori presenti, incluse le sorgenti mobili, nelle zone da risanare individuate ai sensi dell'articolo 6, comma 1, lettera a);*
- b) l'individuazione dei soggetti a cui compete l'intervento;*
- c) l'indicazione delle priorità, delle modalità e dei tempi per il risanamento;*
- d) la stima degli oneri finanziari e dei mezzi necessari;*
- e) le eventuali misure cautelari a carattere d'urgenza per la tutela dell'ambiente e della salute pubblica.*

All'Art. 8, *disposizioni in materia di impatto acustico*, si afferma che su richiesta dei Comuni, i soggetti titolari di progetti o opere, quali: aeroporti, aviosuperfici, strade e ferrovie predispongano una documentazione di impatto acustico relativa alla realizzazione, alla modifica o al potenziamento delle stesse.

La determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore è prevista dal D.P.C.M. del 14/11/97. All'Art.3, comma 2 si circoscrivono le aree in cui tali limiti vanno applicati. Viene in particolare affermato che: *per le infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime, aeroportuali e le altre sorgenti sonore di cui all'Art. 11, comma 1, Legge n.447 del 26/10/95, i limiti, di cui alla tabella C allegata al Decreto, non si applicano all'interno delle rispettive fasce di pertinenza, individuate dai relativi decreti attuativi [Cfr. Paragrafo 2.1.7.1 - Normativa relativa al traffico veicolare e paragrafo 2.1.7.2 - Normativa relativa al traffico ferroviario]. All'esterno di tali fasce, dette sorgenti concorrono al raggiungimento dei limiti assoluti di immissione.*

Il tema viene ripreso specificatamente all'Art. 5, *infrastrutture dei trasporti*, in cui si riprende il concetto di fasce di pertinenza: *i valori limite assoluti di immissione e di emissione relativi alle singole infrastrutture dei trasporti, all'interno delle rispettive fasce di pertinenza, nonché la relativa estensione, saranno fissati con i rispettivi decreti attuativi, sentita la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province Autonome.*

Tali Decreti, che affrontano nello specifico le singole tipologie di infrastrutture, vengono dagli autori descritti nei successivi paragrafi.

Le tecniche di misura sono definite nel D.M del 16/03/98 *Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico*. Esso stabilisce all'Allegato C, comma 1, la metodologia di misura del rumore ferroviario, e al comma 2 dello stesso allegato, la metodologia di misura del rumore stradale.

Con il D.M. del 29/11/2000 sono forniti i *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, ai sensi dell'Art. 10, comma 5, della L. n. 447 del 26/10/95*.

Il Decreto è stato successivamente rivisto dal Decreto 23/11/01, *Modifiche dell'Allegato 2 del Decreto Ministeriale del 29/11/00 - Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore*.

Ovviamente, anche il D. Lgs. n. 194 del 19/08/05, rappresenta una norma di riferimento per contrastare l'inquinamento acustico proveniente da infrastrutture di trasporto, essendo queste principalmente contemplate dalla Direttiva Europea.

All'Art. 2. vengono date, tra le altre, le definizioni di:

- a) agglomerato [Cfr. Paragrafo 2.1.1.2 - D. Lgs. n. 194 del 19/8/2005];
- b) aeroporto principale: un aeroporto civile o militare aperto al traffico civile in cui si svolgono più di 50.000 movimenti all'anno, intendendosi per movimento un'operazione di decollo o di atterraggio. Sono esclusi i movimenti a fini addestrativi su aeromobili definiti leggeri ai sensi della regolamentazione tecnica nazionale;
- c) asse ferroviario principale: una infrastruttura ferrovia, su cui transitano ogni anno più di 30.000 treni;
- d) asse stradale principale: un'infrastruttura stradale, su cui transitano ogni anno più di 3.000.000 di veicoli.

Successivamente, nell'Allegato 2, vengono proposti i metodi di calcolo utilizzabili, in attesa dell'emanazione degli specifici decreti:

- a) per il rumore dell'attività industriale: il metodo contenuto nella ISO 9613-2: "Acoustics - Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2; General method of calculation". Possono essere ottenuti dati di rumorosità idonei a questa metodologia, mediante una delle seguenti tecniche di rilevamento:
 - 1) ISO 8297: 1994 "Acoustics - Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment - Engineering method";

- 2) EN ISO 3744: 1995 “Acoustics - Determination of sound power levels of noise using sound pressure - Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane”;
- 3) EN ISO 3746: 1995 “Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using an enveloping measurement surface over a reflecting plane”.
- b) Per il rumore degli aeromobili: il metodo contenuto nel documento 29 ECAC-CEAC “Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports” del 1997. Tra i diversi approcci per la modellizzazione delle linee di volo, va usata la tecnica di segmentazione, di cui alla sezione 7.5 del documento 29 ECAC. CEAC.
- c) Per il rumore del traffico veicolare: il metodo di calcolo ufficiale francese NMPB-Routes-96 (SETRACETUR-LCPC-CSTB), citato nell’*Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières*, *Journal Officiel du 10 mai 1995*, *article 6* e nella norma francese XPS 31-133. Per i dati di ingresso concernenti l’emissione dei veicoli, questi documenti fanno capo al documento *Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores* (CETUR 1980);
- d) Per il rumore ferroviario: il metodo di calcolo ufficiale dei Paesi Bassi, pubblicato in *Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai* del 1996.

Tabella 3 - I modelli di calcolo suggeriti dalla Direttiva Europea per le diverse tipologie di rumore

	<p>Rumore Stradale</p> <p>Metodo francese NMPB-Routes-96</p>
	<p>Rumore Ferroviario</p> <p>Metodo olandese RMR</p>
	<p>Rumore Aeroportuale</p> <p>ECAC.CEAC.Doc.29</p>
	<p>Rumore Industriale</p> <p>ISO 9613-2 (+ ISO 8297:1994 + EN ISO 3744:1995 + EN ISO 3746:1995)</p>

Le norme UNI di riferimento sono:

- UNI 11022:2003 - Acustica - *Misurazione dell'efficacia acustica dei sistemi antirumore (insertion loss), per infrastrutture di trasporto, installati in ambiente esterno.*
- UNI 11160:2005 - *Linee guida per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo di sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto via terra.*
- UNI ISO 9613-1:2006- Acustica - *Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto - Parte 1: Calcolo dell'assorbimento atmosferico.*
- UNI ISO 9613-2:2006 - Acustica - *Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto - Parte 2: Metodo generale di calcolo.*

2.1.7.1 Normativa relativa al traffico veicolare

Per quanto riguarda la normativa comunitaria di riferimento, per le sorgenti di trasporto, sono state emanate: la Direttiva 97/24/CE *Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa a taluni elementi o caratteristiche dei veicoli a motore a due o tre ruote*, la Direttiva 92/97/CEE *Direttiva del Consiglio che modifica la Direttiva 70/157/CEE concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative al livello sonoro ammissibile e al dispositivo di scappamento dei veicoli a motore* e la successiva Direttiva 2007/34/CE della Commissione, *modifica, ai fini dell'adattamento al progresso tecnico, della direttiva 70/157/CEE del Consiglio relativa al livello sonoro ammissibile e al dispositivo di scappamento dei veicoli a motore.*

In Italia, il decreto attuativo della Legge Quadro n. 447 del 26/10/95 riguardante le infrastrutture stradali è il D.P.R. n. 142 del 30/03/04 *Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante da traffico veicolare, a norma dell'Art. 11 della L. n.447 del 26/10/95.*

All'Art.1, come di consueto, vengono date le definizioni necessarie al Decreto.

L'Art.2 si definisce il campo di applicazione, secondo le definizioni del D. Lgs n. 285 del 30/04/92, "Nuovo codice della strada", riferendosi alla seguente classificazione:

- autostrade;
- strade extraurbane principali;
- strade extraurbane secondarie;
- strade urbane di scorrimento;
- strade urbane di quartiere;
- strade locali urbane.

Le disposizioni del Decreto si applicano rispettivamente alle:

- a) infrastrutture esistenti;
- b) infrastrutture di nuova realizzazione.

Ad esempio, se l'intervento interessa un'infrastruttura già esistente, è necessario che la sua progettazione proceda prendendo in considerazione i seguenti aspetti:

- a) la classificazione dell'infrastruttura, in base a quanto stabilito dal Codice della Strada;
- b) la rilevazione dei flussi veicolari;
- c) la particolare emissione acustica dell'infrastruttura, nei periodi di riferimento diurno e notturno;
- d) l'acquisizione della planimetria e delle sezioni significative della zona interessata, avendo cura di indicare gli edifici che si devono proteggere;
- e) l'elaborazione della mappatura acustica della zona interessata, registrando, per gli edifici da proteggere, lo spettro medio del livello di rumore, in corrispondenza dell'edificio;
- f) l'esecuzione del calcolo dei massimi livelli di rumore immessi, da confrontarsi con i limiti stabiliti dalla zonizzazione del territorio, con particolare riferimento agli edifici da proteggere;
- g) valutazione dei superamenti e scelta dei possibili interventi, per riportare i livelli di rumore ai valori consentiti;
- h) valutazione della riduzione ottenibile con tali interventi;
- i) verifica in opera dell'efficacia raggiunta.

Nel caso in cui l'infrastruttura sia ancora da realizzare, la fase di progettazione si differenzia solamente per quanto riguarda la rilevazione dei flussi veicolari e degli spettri di emissione (fasi b) e c)). In questo caso, si deve procedere assumendo sia uno spettro tipico di emissione, da scegliere sulla base della classificazione dell'infrastruttura stabilita in a) e secondo quanto specificato nella normativa tecnica prEN 1793-3/97, sia una stima preventiva dei flussi veicolari.

All'Art. 4 viene dato un significato fisico alla fascia di pertinenza acustica, introdotta dal D.P.C.M. 14/11/97 [Cfr. Paragrafo 2.1.7 – Normativa di riferimento per le infrastrutture di trasporto], che può essere divisa in due parti: la più vicina all'infrastruttura è denominata fascia A, la più lontana fascia B. In queste strisce di terreno, valgono i limiti sonori definiti dalle tabelle dell'Allegato 1 del D.P.R n. 142, differenziati a seconda del tipo di ricettori, come specificato dagli Artt. 4 e 5 dello stesso, e, qui successivamente riportati nelle Tabelle 4 e 5.

Tabella 4 - *Fasce di pertinenza e limiti per le strade di nuova realizzazione* [tratto dal D.P.R. n.142 del 30/03/04]

Tipo di strada	Sottotipi a fini acustici	Ampiezza fascia di pertinenza (m)	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		Altri ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturno dB(A)	Diurno dB(A)	Notturno dB(A)
A - Autostrade		250	50	40	65	55
B - Extraurbane principali		250	50	40	65	55
C - Extraurbane secondarie	C ₁	250	50	40	65	55
	C ₂	150	50	40	65	55
D - Urbane di scorrimento		100	50	40	65	55
E - Urbane di quartiere		30	Definiti dai Comuni nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al DPCM 14/11/97 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane come previsto dall'Art.8 comma 1 della L.447/95			
F - Locale		30				

(* per le scuole vale solo il limite diurno)

Tabella 5 - *Fasce di pertinenza e limiti per le strade esistenti e assimilabili, ampliamenti in sede, affiancamenti, varianti* [tratto dal D.P.R. n.142 del 30/03/04]

Tipo di strada	Sottotipi a fini acustici	Ampiezza fascia di pertinenza (m)	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		Altri ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)	Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)
A - Autostrade		100 Fascia A	50	40	70	60
		150 Fascia B	50	40	65	55
B - Extraurbane principali		100 Fascia A	50	40	70	60
		150 Fascia B	50	40	65	55
C - Extraurbane secondarie	C _A	100 Fascia A	50	40	70	60
		150 Fascia B	50	40	65	55
	C _B	100 Fascia A	50	40	70	60
		50 Fascia B	50	40	65	55
D - Urbane di scorrimento	D _A	100	50	40	70	60
	D _B	100	50	40	65	55
E - Urbane di quartiere		30	Definiti dai Comuni nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al DPCM 14/11/97 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane come previsto dall'Art. 8 comma 1 della L.447/95			
F - Locale		30				

(* per le scuole vale solo il limite diurno)

Gli Artt. 6, 7 e 8 definiscono rispettivamente gli interventi volti al rispetto dei limiti, quelli diretti specificatamente sul ricettore e gli interventi di risanamento acustico a carico del titolare della concessione edilizia relativa o del permesso di costruire.

La verifica dei limiti di emissione degli autoveicoli è sancita dall'Art. 9, in accordo col "Nuovo Codice della Strada".

Le norme UNI di riferimento sono:

- UNI 9838:1991 - Acustica. Misura della rumorosità interna di veicoli stradali a motore.
- UNI ISO 7188:1991 - Acustica. Misura del rumore emesso dalle autovetture nelle condizioni rappresentative di traffico urbano.
- UNI EN 1793-1:1999 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico.
- UNI EN 1793-2:1999 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea.
- UNI CEN/TS 1793-4:2004 - 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.
- UNI EN 1794-1:2004 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Prestazioni non acustiche - Parte 1: Prestazioni meccaniche e requisiti di stabilità.
- UNI EN 1794-2:2004 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Prestazioni non acustiche - Parte 2: Requisiti generali di sicurezza e ambientali.
- UNI 11143-2:2005 - Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 2: Rumore stradale.
- UNI EN 14388:2005 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Specifiche.
- 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.
- UNI CEN/TS 1793-5:2006 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Parte 5: Caratteristiche intrinseche - Valori in situ della riflessione sonora e dell'isolamento acustico per via aerea.
- UNI ISO 362-1:2007 - Misurazione del rumore emesso dai veicoli stradali in

- accelerazione - Metodo tecnico progettuale - Parte 1: Categorie M e N.
- 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.

2.1.7.2 Normativa relativa al traffico ferroviario

Il primo decreto attuativo della Legge Quadro, riguardante interamente il rumore ferroviario è il D.P.R. n. 459 del 18/11/98, *Regolamento recante norme in esecuzione dell'Art. 11 della L. n. 447 del 26/10/1995 in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario*, ove sono stabilite le norme per la prevenzione ed il contenimento dell'inquinamento da rumore avente origine dall'esercizio delle infrastrutture delle ferrovie e delle linee metropolitane di superficie, con esclusione delle tramvie e delle funicolari.

Il D.P.R. n. 459 del 18/11/98 elenca le definizioni tecniche all'Art. 1, mentre all'Art.2 definisce il campo di applicazione, ovvero le infrastrutture ferroviarie esistenti e quelle di nuova realizzazione.

L'Art. 3, comma 1, individua le fasce territoriali di pertinenza [Cfr. Paragrafo 2.1.7 – Normativa di riferimento per le infrastrutture di trasporto] di larghezza pari a 250 metri per le infrastrutture esistenti, le loro varianti, per quelle di nuova realizzazione in affiancamento a quelle esistenti e, per le infrastrutture di nuova realizzazione, con velocità di progetto non superiore a 200 km/h. Analogamente a quanto detto nel decreto n. 142 sulle infrastrutture stradali, la fascia di pertinenza è suddivisa in due parti: la prima, denominata fascia A, è più vicina all'infrastruttura e larga 100 metri; la seconda, denominata fascia B, è più distante dall'infrastruttura ed è larga 150 metri.

È fatto salvo il rispetto della prima classe acustica, all'interno delle fasce, per ospedali, case di riposo, scuole, ecc.; trattandosi di ricettori in cui la quiete è un requisito essenziale per la loro fruizione; i limiti da prendersi a riferimento sono di 50 dB(A) nel periodo diurno e 40 dB(A) nel periodo notturno (per le scuole si considera il solo periodo diurno).

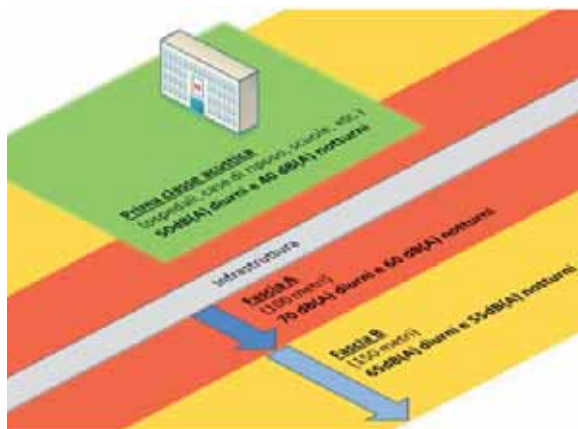


Figura 2 - *Fasce di pertinenza acustica delle infrastrutture ferroviarie e limiti di riferimento all'interno della fascia*

[da www.comune.bologna.it/ambiente/]

Gli Articoli 4 e 5 definiscono i limiti, rispettivamente, per le infrastrutture di nuova realizzazione con velocità di progetto superiore a 200 km/h e per le infrastrutture esistenti e di nuova realizzazione con velocità di progetto non superiore a 200 km/h. L'Art. 6 e gli Allegati A e B stabiliscono i limiti massimi di emissione per il materiale rotabile di nuova costruzione.

Il D.M. del 29/11/2000 stabilisce i *Criteri per la predisposizione dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture*. In tali piani, occorre specificare: i tempi per il raggiungimento del risanamento acustico delle infrastrutture e i soggetti a cui esso compete, prevedendo che sia l'ente gestore ad attuare la bonifica acustica.

Il Decreto su citato stabilisce inoltre che qualora i limiti fissati dal D.P.R. n. 459 del 18/11/98 non siano rispettati, l'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria provveda al risanamento acustico dell'infrastruttura entro quindici anni (a cui si aggiungono tre anni per la presentazione del piano di risanamento in questione).

L'Art. 5, al comma 3, stabilisce le priorità da seguire: gli interventi strutturali finalizzati all'attività di risanamento devono essere effettuati, secondo la seguente scala di priorità:

- a) direttamente sulla sorgente rumorosa;
- b) lungo la via di propagazione del rumore dalla sorgente al ricettore;
- c) direttamente sul ricettore.

Questo elenco di priorità è un concetto molto importante e ricorrerà altre volte nella normativa di settore.

Come previsto dal D.M. del 29/11/00, R.F.I. S.p.A., la società che si occupa della rete ferroviaria italiana, ha predisposto il Piano di Interventi di Contenimento ed Abbattimento del Rumore e lo ha presentato alle Regioni (enti competenti in merito all'approvazione) ed ai Comuni interessati.

Nel mese di luglio del 2004, la Presidenza del Consiglio dei Ministri ha approvato l'intesa sulla proposta di Piano predisposto da R.F.I. S.p.A., in sede di Conferenza unificata con le Regioni.

Con tale decisione, la Conferenza ha, di fatto, approvato gli interventi previsti dal Piano per il primo quadriennio, sottolineando la necessità che gli stessi vengano dimensionati, anche in funzione delle possibili riduzioni delle emissioni delle sorgenti (interventi sul binario e sul materiale rotabile).

Al termine del primo quadriennio, il Piano sarà dunque riesaminato sulla base degli interventi realizzati e delle esperienze maturate. Ad oggi, non sono stati ancora fissati dal Ministero dell'Ambiente i tempi previsti per la successiva riapprovazione del Piano.

Nel Piano presentato nel 2004, sono stati individuati sia i ricettori che devono essere acusticamente protetti, sia le opere di mitigazione che R.F.I. S.p.A. intende realizzare sulle proprie infrastrutture.

Il Piano comprende un documento di pianificazione degli interventi, in cui è riportata la loro lista di priorità a livello nazionale, nonché l'anno di avvio delle opere per ognuno di essi.

Gli indici di priorità hanno lo scopo di privilegiare quegli interventi che risanerebbero il numero maggiore di persone e che, a parità di costo, comporterebbero il maggiore beneficio in termini di riduzione della rumorosità.

Il controllo del rispetto dell'attuazione dei piani di risanamento è demandato al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. Le società e gli enti gestori coinvolti nei processi di risanamento delle proprie infrastrutture devono comunicare al Ministero, alle Regioni e ai Comuni interessati, con cadenza annuale, sia l'entità dei fondi accantonati annualmente per l'attuazione del Piano, sia lo stato di avanzamento dei singoli interventi.

2.1.7.3 Normativa relativa al traffico aereo

Le Direttive europee in materia di rumore aeroportuale sono tre: la Direttiva 92/14/CEE, *Direttiva del Consiglio sulla limitazione dell'utilizzazione degli aerei disciplinati dall'Allegato 16 della convenzione sull'aviazione civile internazionale*. La Direttiva 2002/30/CE, *Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio che istituisce norme e procedure per l'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti delle comunità*.

La Direttiva 2002/33/CE, *Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio che istituisce norme e procedure per l'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti della comunità*.

In Italia la *Metodologia di misura del rumore aeroportuale* è descritta nel D.M.A. del 31/10/97.

Con questo Decreto, la legislazione italiana ha introdotto nell'indice acustico di Valutazione Aeroportuale L_{VA} , il quantificatore del disturbo acustico aereo.

L'indice L_{VA} è un parametro acustico annuale utilizzato per la valutazione dei livelli d'immissione sonora associati alla movimentazione aerea e viene determinato secondo la metodologia indicata nell'Allegato A del Decreto 31/10/97.

La procedura per la determinazione dell'indice L_{VA} è la seguente:

1. L'energia sonora associata a ogni singolo evento aereo registrato, è convenzionalmente "condensata" in un secondo e ne costituisce il SEL (*single event level*); la somma dei SEL di ogni sorvolo aereo contribuisce alla costituzione dell'indice L_{VA} . Tutti gli eventi sonori misurati da un'opportuna centralina di monitoraggio e associati alle fasi di decollo/atterraggio degli aerei vengono mediati sull'intera durata del periodo di riferimento considerato (il periodo diurno che si estende dalle 06.00 del mattino alle 23.00 e quello notturno, complementare, dalle 23.00 alle 06.00).
2. La media logaritmica del valore dell'indicatore diurno e notturno (quest'ultimo incrementato del fattore peggiorativo di 10 dB(A)) è l'indice L_{VA} giornaliero. Mediando su tutti i giorni della settimana di monitoraggio, viene calcolato L_{VA} settimanale.
3. L'anno di riferimento viene suddiviso in tre periodi (1 ottobre - 31 gennaio,
4. 1 febbraio - 31 maggio, 1 giugno - 30 settembre); all'interno di ogni periodo, viene individuata la settimana caratterizzata dal più elevato numero di movimenti aerei e per essa si calcola il corrispondente livello L_{VA} settimanale.
5. L'indice L_{VA} annuo viene, infine, calcolato come media logaritmica dei tre livelli medi settimanali individuati.

Il Decreto inoltre suddivide l'intorno aeroportuale in cui sono registrati i valori di L_{VA} superiori a 60 dB(A) in tre zone territoriali, denominate A, B e C, come indicato in Tabella 6.

Tabella 6 - *Individuazione dell'intorno aeroportuale e delle relative attività consentite*
[tratto dal D.M. del 31/10/97]

Zona	Intorno aeroportuale	
	Clima acustico	Attività consentite
A	$60 \text{ dB(A)} < L_{VA} < 65 \text{ dB(A)}$	Nessuna limitazione
B	$65 \text{ dB(A)} < L_{VA} < 75 \text{ dB(A)}$	Attività agricole ed allevamento bestiame, attività industriali e assimilate, commerciali, attività di ufficio, terziario e assimilate, previa adozione di adeguate misure di isolamento acustico
C	$L_{VA} > 75 \text{ dB(A)}$	Esclusivamente attività connesse con l'uso e i servizi delle infrastrutture aeroportuali
Al di fuori delle zone A, B e C l'indice L_{VA} non può superare il valore di 60 dB(A).		

In base alle sopradette limitazioni, la popolazione residente nel territorio compreso in fascia A può essere esposta a livelli di rumore compresi tra 60 e 65 dB(A), mentre nelle zone B e C, i piani di sviluppo dell'aeroporto e gli strumenti urbanistici e di pianificazione territoriale dei comuni devono essere tra loro coordinati, ponendo delle limitazioni allo sviluppo edilizio residenziale.

Per limitare l'esposizione della popolazione, la società che gestisce l'aeroporto deve progettare un piano di contenimento del rumore prodotto e presentarlo al Comune interessato; il Comune deve adottare tale piano e integrarlo nel più vasto piano di risanamento comunale, in ottemperanza agli obblighi derivanti dall'Art. 7 della Legge Quadro n. 477 del 26/10/95.

Il regolamento recante le norme per la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto dagli aeromobili civili si trova nel D.P.R. n. 496 del 11/12/97, modificato dal D.P.R. n.476 del 9/11/99. Il D.P.R. n. 496 del 11/12/97 contiene, tra i suoi vari punti, il divieto di voli notturni.

I criteri per la progettazione dei sistemi di monitoraggio per il controllo dei livelli di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti, nonché i criteri per la classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico prodotto sono contenuti nel D.M.A. del 20/05/99.

È necessario, secondo tali decreti, che ogni aeroporto aperto al traffico civile si doti di un sistema di monitoraggio dei livelli sonori in continuo che possa consentire così

il rilevamento di eventuali superamenti dei limiti nell'intorno aeroportuale e che permetta l'associazione di tale informazioni, con i dati e la traiettoria del velivolo che ha generato il superamento stesso. In questo modo, è possibile monitorare il clima acustico nell'intorno aeroportuale, ma anche sanzionare i vettori specifici per il mancato rispetto dei limiti o delle procedure antirumore.

La classificazione dell'aeroporto deve avvenire, oltre che in relazione all'inquinamento acustico prodotto, sulla base di parametri quali: l'estensione dell'intorno aeroportuale, l'estensione delle tre fasce di pertinenza dell'aeroporto, l'estensione delle aree residenziali che ricadono in tali fasce, la densità abitativa in ciascuna fascia. Da questi parametri si ricavano gli indici che permettono di classificare l'infrastruttura.

Il D.M.A. del 03/12/99 descrive invece le procedure antirumore e le zone di rispetto negli aeroporti.

Occorre provvedere alla definizione delle procedure antirumore per ogni aeroporto, sulla base di criteri generali, definiti con il Decreto del Ministero dell'Ambiente, ed ottimizzare l'impronta di rumore al suolo dell'aereo, così da tutelare nella maniera migliore la popolazione esposta.

Le disposizioni del Decreto non si applicano alle emissioni acustiche dei voli di Stato e dei voli effettuati per fini di preminente interesse pubblico, di sicurezza nazionale, di emergenza, di soccorso, di protezione civile, di pubblica sicurezza e militari.

L'ultimo decreto emanato in Italia, sul rumore aeroportuale, è il D. Lgs. n. 13 del 17/1/2005, *Attuazione della Direttiva 2002/30/CE relativa all'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti comunitari*. Lo scopo è quello di individuare le misure più idonee ad ottenere il massimo beneficio ambientale al minor costo, salvaguardando le esigenze del mercato interno, e quello di prendere in considerazione eventuali incentivi di ordine economico.

Tale Decreto si applica agli aeroporti civili e militari, aperti al traffico civile (limitatamente al traffico di velivoli civili), nei quali è rilevato un superamento dei limiti acustici stabiliti dalle vigenti norme per le zone di rispetto. In tale decreto si definisce l'aeroporto come:

“superficie delimitata di terreno o di acqua, inclusa ogni costruzione, installazione ed impianto, usata in tutto o in parte per l'arrivo e la partenza di velivoli, avente un traffico superiore a 50.000 movimenti di velivoli subsonici civili a reazione per anno solare, riferito alla media nei tre anni solari precedenti”. L'elenco di detti aeroporti è pubblicato con cadenza annuale dall'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile, l'E. N.A.C., entro il primo semestre di ogni anno, tenuto conto dei dati disponibili al 31 dicembre dell'anno precedente.

Per movimento si intende il decollo o l'atterraggio dei veicoli subsonici civili a reazione.

Si definisce, invece, aeroporto metropolitano: un aeroporto situato nel centro di un grande agglomerato urbano, del quale nessuna pista ha lunghezza per il decollo superiore a 2.000 metri, che fornisce solo collegamenti da punto a punto tra gli Stati Europei, o all'interno del territorio italiano, e nei pressi del quale un numero elevato di persone soffre obiettivamente per il rumore provocato dai velivoli.

Il Decreto rinvia alle linee guida pubblicate dall'ICAO (ICAO 9289-AN/451, *Linee guida per l'abbattimento del rumore aeroportuale*), che descrivono la procedura, le tecniche di valutazione e i metodi analitici per valutare i costi e i benefici associati alle diverse misure disponibili e si applica nel caso in cui, nelle zone di rispetto, si registri il superamento dei livelli di rumore ammessi, secondo il concetto del *balanced approach* (approccio bilanciato).

Si tratta di un metodo che consente di identificare le misure più appropriate per affrontare il problema dell'inquinamento acustico di un aeroporto e per ottenere il massimo beneficio ambientale al minor costo, salvaguardando le esigenze del mercato interno. Esso aiuta a sviluppare soluzioni appropriate, consentendo un certo grado di flessibilità in funzione: delle caratteristiche proprie dell'aeroporto, delle peculiarità del territorio circostante e delle esigenze socio-economiche legate all'operatività dell'infrastruttura.

In sintesi, il metodo si sviluppa attraverso tre fasi:

- 1) identificazione della gravosità dell'inquinamento acustico esistente in un aeroporto;
- 2) analisi delle varie misure disponibili per riportare il rumore entro i limiti ammessi;
- 3) selezione delle misure più appropriate alla situazione contingente, identificando la combinazione delle misure di mitigazione del rumore che dia il massimo beneficio ambientale al minor costo.

Tabella 7 - *Aeroporti con un traffico superiore a 50.000 movimenti riferiti alla media dei tre anni precedenti (elenco aggiornato al 21 novembre 2008)*
[da www.enac-italia.it]

Aeroporti								
Roma Fiumicino	Milano Malpensa	Milano Linate	Venezia	Bologna	Roma Ciampino	Catania	Napoli	Bergamo

Tabella 8 - *Stato di attuazione della caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale*

Aeroporto	Istituzione della Commissione	Approvazione procedure antirumore	Caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale		Sistema di monitoraggio
			In valutazione	Approvata	
Alghero	SI	SI		SI	
Ancona	SI	SI		SI	
Bari	SI	SI	SI		SI
Bergamo	SI	SI	SI		SI
Bologna	SI	SI			SI
Bolzano					
Brescia	SI				SI
Brindisi	SI				SI
Cagliari	SI	SI	SI		SI
Catania	SI	SI		SI	SI
Cuneo					
Firenze	SI	SI		SI	SI
Foggia	SI				
Forlì	SI				
Genova	SI	SI	SI		
Grottaglie	SI				
Lamezia Terme	SI	SI		SI	
Lampedusa	SI				

segue...

...segue

Milano Linate	SI		SI		SI
Milano Malpensa	SI		SI		SI
Napoli	SI	SI		SI	SI
Olbia	SI	SI	SI		
Palermo	SI			SI	SI
Pantelleria	SI				
Parma					
Perugia					
Pescara	SI	SI			
Pisa	SI				SI
Reggio Calabria	SI			SI	
Rimini	SI				
Roma Ciampino	SI	SI	SI		SI
Roma Fiumicino	SI	SI		SI	SI
Siena					
Torino	SI		SI		SI
Trapani	SI				
Treviso	SI			SI	
Trieste	SI				
Venezia	SI		SI		
Verona	SI		SI		
Totale	34	15	11	10	17

La Legge n. 342 del 21/11/00, *Misure in materia fiscale*, affronta il rumore aeroportuale da un punto di vista più economico e meno tecnico, introducendo, a partire dal 2001, un'imposta regionale sulle emissioni sonore degli aeromobili (Artt. 90-95), determinata in base all'entità del peso degli stessi.

Il soggetto che deve osservare gli obblighi di dichiarazione e di versamento dell'imposta è individuato nell'esercente dell'aeromobile.

Le entrate, provenienti dall'esazione dell'imposta, vengono ripartite da ciascuna Regione e Provincia Autonoma tra i Comuni interessati dall'intorno aeroportuale, in base ai loro programmi di disinquinamento acustico, per finanziare il sistema di monitoraggio acustico e per indennizzare le popolazioni residenti nelle zone A e B, dell'intorno aeroportuale.

In accordo con le norme di certificazione acustica internazionale, l'imposta viene determinata in base alle classi di emissione sonora dei vari tipi di aereo civile, come da tabella seguente:

Tabella 9 - *Imposta in base alle classi dei velivoli* [tratto dalla L. n. 342 del 21/11/00]

Classe	Tipo di aereo	Euro / ton. (prime 25 ton. di peso dell'aeromobile al decollo)	Euro / ton. (successive 25 ton. di peso dell'aeromobile al decollo)
1	Velivoli subsonici a reazione e ad elica senza certificazione acustica	0,25	0,33
2	Velivoli subsonici a reazione (cap.2 All. VI Conv. Intern. Aviaz. Civile, Chicago 1944)	0,19	0,24
3	Velivoli subsonici a reazione (cap.3 All. VI Conv. Intern. Aviaz. Civile, Chicago 1944) e ad elica con certificazione acustica	0,06	0,08

Le modalità applicative dell'imposta sono stabilite, secondo il comma 2 dell'Art. 90 del Decreto citato, da successivi decreti ministeriali, di cui ancora oggi si denuncia l'assenza.

Infatti, il Ministero dell'Economia, cui il Consiglio di Stato con il suo Parere n. 4 del 13/01/03 ha demandato lo schema attuativo della già citata L. n. 342 del 21/11/00 che istituisce l'imposta regionale sulle emissioni sonore degli aeromobili, non ha ancora deliberato. I motivi di tale ritardo sono da ricercarsi nel fatto che lo schema di decreto, finora elaborato, prevede una revisione sostanziale di quanto disposto dalla L. n. 342 ed, in particolare, degli articoli relativi al presupposto dell'imposizione fiscale (Art. 1) e dell'identificazione dei soggetti passivi (Art. 2).

Il decreto attuativo dovrà dunque essere preceduto, probabilmente, da una revisione della citata Legge. Ne consegue che l'attuazione della Legge sia ancora ben lontana dal potersi realizzare.

2.2 Pianificazione dell'abbattimento del rumore

2.2.1 Pianificazione e amministrazione del territorio

La L. n. 447 del 25/10/95, all'Art.2 comma 5, afferma che tra i provvedimenti per la limitazione delle emissioni sonore rientrano quelli di carattere gestionale, tra cui:

[...]

e) la pianificazione urbanistica, gli interventi di delocalizzazione di attività rumorose o di ricettori particolarmente sensibili.

Ogni Amministrazione gestisce la propria zona d'influenza, mediante piani territoriali, alcuni dei quali possono essere usati nel processo di abbattimento del rumore, in particolare:

- indicando le zone silenziose che devono essere protette dal rumore;
- stabilendo le destinazioni d'uso del suolo e dei manufatti, in base a scelte che considerino le esistenti e le future sorgenti di rumore, garantendo quindi un buon margine di distanza tra sorgenti e ricettori sensibili;
- impedendo un incremento di traffico nelle zone sensibili.

Lo sviluppo di una città è legato indiscutibilmente a questi piani progettuali territoriali, che indirizzano le future scelte di espansione o la salvaguardia o la modifica dell'esistente.

La pianificazione territoriale ha, dunque, un ruolo chiave anche nella lotta al rumore, in particolare, stabilendo chiaramente quali siano le zone destinate a sviluppo industriale, alle aree artigianali o a zone commerciali, le aree di espansione residenziale o quelle dedite al verde pubblico e quali i parchi urbani. La pianificazione territoriale influenza anche la localizzazione ed espansione delle infrastrutture, la densità di popolazione in alcune porzioni del territorio, ecc.

In genere, comunque, essa prevede tempi lunghi, dovuti alla complessità di redazione dei piani e dei loro iter approvativi, e i suoi risultati non sono immediatamente riscontrabili. I benefici di una corretta pianificazione del territorio si vedono generalmente nel medio e lungo periodo.

Il principale strumento a disposizione delle Amministrazioni comunali è il Piano Regolatore Generale Comunale (P.R.G.C. o P.R.G.), che regola l'attività edificatoria e contiene indicazioni sul possibile utilizzo di particolari porzioni del territorio o sulla loro tutela.

Il piano non è direttamente attuativo, ma necessita di un ulteriore strumento che metta in pratica le indicazioni strategiche del piano: le norme di attuazione del P.R.G.

Come strumento di gestione dell'assetto del territorio, ha le seguenti caratteristiche:

- finalità: disegnare la crescita delle città, gestendo l'incremento urbano;
- limiti spaziali: il perimetro del territorio comunale;
- cogenza: obbligatorio;
- validità: tempo indeterminato;
- contenuti principali: rete principale delle infrastrutture, zonizzazione del territorio comunale, indicazione degli spazi e dei fabbricati destinati a uso pubblico.

Il P.R.G. opera secondo il processo di zonizzazione, che consiste nel suddividere il territorio in zone omogenee secondo determinati criteri di classificazione e determina per ciascuna zona specifici vincoli da osservare.

Secondo il Decreto Interministeriale n. 1444 del 02/04/68 e le sue successive modificazioni ed integrazioni le zone territoriali omogenee della pianificazione urbanistica sono:

- Zona A: (centro storico), parti del territorio comunale interessate da edifici e tessuto edilizio di interesse storico, architettonico o monumentale.
- Zona B: (di completamento), parti del territorio comunale interessate dalla presenza, totale o parziale, di edificazione, in cui la superficie coperta dagli edifici esistenti non sia inferiore al 12,5% (un ottavo) della superficie fondiaria della zona, e, nelle quali la densità territoriale sia superiore ad 1,5 mc/mq.
- Zona C: (di espansione), parti del territorio comunale, parzialmente edificate, dove non è verificata almeno una delle due condizioni tipiche della zona B; zone interessate da previsioni di espansione dell'aggregato urbano.
- Zona D: (insediamenti produttivi), parti del territorio comunale destinate all'insediamento di attività produttive.
- Zona E: (uso del soprasuolo per fini agricoli), parti del territorio comunale destinate all'attività agricola.
- Zona F: (infrastrutture ed impianti di interesse pubblico), parti del territorio comunale destinate ad impianti ed attrezzature di interesse generale.
- Zona G: (fasce cosiddette di "rispetto"), fasce del territorio dove vige il vincolo di inedificabilità.
- Zona H: aree di salvaguardia ambientale, paesaggistica, paesistica e naturalistica.

Il P.R.G. è, dunque, uno strumento decisamente statico: sono possibili variazioni significative solo a fronte di variazioni, altrettanto significative, nella destinazione d'uso del territorio e pertanto eseguibili unicamente mediante l'adozione di varianti.

Dal punto di vista acustico, uno strumento del tutto analogo al P.R.G. è il Piano

Comunale di Classificazione Acustica (P.C.C.A.) o, impropriamente detto, zonizzazione acustica. Anch'esso è uno strumento urbanistico di pianificazione. Il P.C.C.A. suddivide il territorio in zone omogenee, dal punto di vista del livello sonoro massimo a cui un ricettore può essere esposto, considerando il contributo totale e contemporaneo di tutte le sorgenti. Come il P.R.G., anche la zonizzazione acustica è uno strumento decisamente statico.

La zonizzazione acustica è stata introdotta dalla Legge Quadro n. 447 del 26/10/95 e le sue caratteristiche sono state meglio specificate dal successivo decreto attuativo, il D.P.C.M. del 14/11/97, Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore, il quale, nella tabella A, identifica le seguenti classi acustiche:

- CLASSE I, aree particolarmente protette: 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 ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.
- CLASSE II, aree destinate ad uso prevalentemente residenziale: rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali e artigianali.
- CLASSE III, aree di tipo misto: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.
- CLASSE IV, aree di intensa attività umana: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali, le aree con limitata presenza di piccole industrie.
- CLASSE V, aree prevalentemente industriali: rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.
- CLASSE VI, aree esclusivamente industriali: rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

Altro strumento a disposizione nel processo di pianificazione territoriale e di studio dell'abbattimento del rumore è la Mappatura Acustica, introdotta, come si è detto, dalla Direttiva 2002/49/CE.

La Mappatura Acustica, al contrario della zonizzazione acustica, è uno strumento

estremamente dinamico: indica, infatti, una situazione di fatto della rumorosità presente in un certo periodo, in un certo territorio.

Mentre la classificazione acustica fissa dei limiti e dei vincoli sul territorio, costanti nel tempo, la mappatura esplora il territorio per determinare la reale esposizione della popolazione. Essa è fondamentalmente uno strumento di conoscenza dello stato delle cose e ne segue l'evolversi prevedendo, infatti, revisioni ed aggiornamenti ogni cinque anni.

È proprio grazie ai dati forniti dalle mappature acustiche che si sviluppano i Piani di Azione, per la riduzione del rumore, anch'essi da rivedere ogni 5 anni o, ogniqualvolta, si verifichino importanti mutamenti dell'assetto urbanistico e infrastrutturale.

Occorre, dunque, che gli strumenti di pianificazione urbanistica siano legati alla classificazione acustica del territorio comunale, ovvero al P.C.C.A., che deve essere redatto non solo in base alle preesistenti destinazioni d'uso del territorio, ma anche in base agli sviluppi previsti dagli strumenti urbanistici stessi.

Per quanto riguarda la Regione Toscana, sia la L. R. n. 89 del 01/12/98 che la D.C.R. n. 77 del 22/02/00, contengono dei riferimenti alla sinergia che ci dovrebbe essere tra tutti gli strumenti urbanistici, senza tuttavia entrare nel dettaglio di tale coordinamento. Nella Deliberazione n. 77 si afferma infatti: *questa particolare zonizzazione, costituita dalla classificazione acustica del territorio, distinta da quella del P.R.G., si sovrappone a quest'ultimo ed obbliga al suo adeguamento qualora la classificazione acustica, eseguita tenendo conto delle preesistenti destinazioni d'uso del territorio, ma nel rispetto dei principi generali di tutela della salute pubblica e dell'ambiente, cui la Legge Regionale si ispira, risulti in contrasto con esso* (parte 2 della D.C.R. n. 77 del 22/02/00), ed ancora nella L. R. n. 89 del 01/12/98 si afferma che: *Il P.C.C.A. suddivide il territorio comunale in zone acusticamente omogenee tenendo conto delle preesistenti destinazioni d'uso, così come individuate dagli strumenti urbanistici in vigore* (Art. 4, comma 1, della L. R. n. 89 del 01/12/98), e che *i Comuni sono tenuti ad adeguare i propri strumenti urbanistici con il P.C.C.A., entro 12 mesi dall'avviso dell'avvenuta approvazione del P.C.C.A. sul BURT* (Art.7, comma 1, della L. R. n. 89 del 01/12/98).

Attualmente, si presenta però un diffuso problema gestionale, che consiste nel fatto che a volte l'intervento di risanamento viene effettuato "a cose fatte", ovvero richiedendo la valutazione di impatto acustico per certe attività rumorose e l'eventuale bonifica e salvaguardia per i ricettori sensibili colpiti dal rumore, senza però aver indagato, a priori, se quella fosse effettivamente stata la giusta collocazione, sia delle attività rumorose che dei ricettori sensibili, compatibile con il contesto urbano.

Diviene allora fondamentale un'analisi pregressa di sostanziale verifica dell'impatto acustico e del clima acustico di alcune zone del territorio, che miri ad integrare la zonizzazione acustica, con altri strumenti urbanistici, istituendo una stretta sinergia tra di essi.

Il punto di partenza dovrebbe essere l'accettazione del fatto che i P.R.G., in quanto espressione della volontà del Comune circa il modello di città che si vuole ottenere, dovrebbero essere il più possibile indipendenti dalla situazione in essere, e volti invece a costruire una città futura ideale, che si proponga d'essere di maggiore tutela della salute pubblica e dell'ambiente.

Il clima acustico, ad esempio, andrebbe studiato proprio nelle fasi propedeutiche alla stesura del P.R.G., quindi a livello strategico, e, non in una fase già avanzata del procedimento.

Di fondamentale importanza è anche l'interazione con il Piano Urbano del Traffico Veicolare, strumento che, essendo in grado di ridisegnare il sistema della mobilità, per il soddisfacimento sia della domanda di spostamento sia della miglior fluidità dei percorsi, può mirare anche al conseguimento degli obiettivi di decremento della rumorosità, senza la necessità di opere materiali di bonifica di situazioni di eccessiva esposizione al rumore.

La L. n. 447 del 26/10/95 istituisce uno strumento denominato Piano Comunale di Risanamento Acustico, obbligatorio qualora si verifichi il contatto tra aree appartenenti a due classi acustiche che hanno una differenza di limiti superiore a 5 dB di L_{EQ} o, qualora si verifichi il superamento dei valori di attenzione di cui all'Art.2 della Legge stessa.

La L. R. n. 89 del 01/12/98 della Regione Toscana, all'Art. 2 comma 2, recepisce tali piani e li definisce come *un insieme di provvedimenti che siano in grado di conseguire gli obiettivi di una progressiva riduzione dei livelli di rumore sul territorio, al fine del raggiungimento dei valori di attenzione e successivamente di qualità, delle varie classi della zonizzazione acustica comunale*. Secondo l'Art. 9 della stessa Legge, i Comuni possono predisporre piani di risanamento, chiamati in tal caso "di miglioramento", al fine del raggiungimento dei valori di qualità, anche nelle situazioni di non superamento dei valori di attenzione.

Tali piani andrebbero coordinati con i Piani di Azione voluti dalla END, ma non sono ancora state emanate norme su questo argomento.

Dal punto di vista normativo, però, ai numerosi riferimenti di coordinamento tra i vari strumenti di tipo procedurale, non seguono indicazioni di tipo tecnico-metodologico.

Anche la Legge Regionale della Regione Toscana n. 1 del 03/01/05 *Norme per il governo del territorio promuovendo, nell'ambito della Regione, lo sviluppo sostenibile delle attività pubbliche e private che incidano sul territorio medesimo* sostiene che i Comuni, le Province e la Regione, debbano perseguire la qualità insediativa ed edilizia sostenibili e garantire la salvaguardia dell'ambiente naturale, la sanità ed il benessere dei fruitori, ovviamente sottintendendo un'azione integrata anche per l'abbattimento dell'inquinamento acustico.

La L. R. n. 1 del 03/01/05 ha inoltre scomposto il P.R.G. in due diversi strumenti: il Piano Strutturale Comunale (P.S.), che definisce le linee strategiche per il governo e la pianificazione del territorio, e il Regolamento Urbanistico (R.U.), che disciplina la gestione degli insediamenti esistenti, nonché le trasformazioni che si intendono attivare nell'arco di un quinquennio.

In generale, dunque, in Italia come in Europa, una corretta pianificazione urbanistica permette di ridurre in modo consistente la propagazione del rumore aereo all'interno delle aree edificate, funzionando non solo da strumento di prevenzione, ma anche di risanamento acustico senza interventi diretto, in quanto consente di eliminare alcune situazioni conflittuali, attraverso la delocalizzazione di determinate funzioni.

Alcuni criteri basilari per una corretta pianificazione acustica possono essere così riassunti:

- coordinamento del P.C.C.A. con il P.R.G.;
- coordinamento del P.C.C.A. con i Piani Urbani del Traffico e della Mobilità;
- coordinamento del P.C.C.A. con i piani attuativi del P.R.G., in particolare con i Piani Particolareggiati (P.P.), i Piani per gli Insediamenti Produttivi (P.I.P.), i Piani di Recupero (P.R.);
- allontanamento delle vie di traffico dalle zone prettamente residenziali;
- revisione della gerarchia delle strade;
- creazione di strade di penetrazione nei quartieri, con tracciati e caratteristiche tali, da imporre una bassa velocità dei veicoli;
- creazione di zone di parcheggio protette da alberi, siepi e altri ostacoli;
- revisione degli itinerari del trasporto pubblico;
- inserimento di edifici di protezione (es. negozi, uffici, garage, ecc.) fra le sorgenti di rumore e le aree residenziali. (Tale accorgimento permette la protezione dal rumore delle aree residenziali a scapito di quelle commerciali, in cui la quiete non costituisce generalmente un obiettivo primario);
- modifica dell'orografia del territorio in modo tale che le aree da proteggere risultino ribassate rispetto alle sorgenti di rumore, o creazione di terrapieni con funzione di barriera;
- suddivisione del territorio in aree, secondo la loro effettiva fruizione (*zoning*);

- progettazioni degli edifici, specie quelli residenziali, secondo le migliori tecniche di isolamento dal rumore;
- collocazione delle aree destinate a spettacolo a carattere temporaneo in zone già caratterizzate da un'elevata rumorosità, (esclusione delle stesse dalle classi acustiche 1 e 2 del territorio comunale);
- imposizione di vincoli di inedificabilità di nuovi insediamenti abitativi, in zone altamente rumorose, e ubicazione dei ricettori sensibili al di fuori di tali zone.

La corretta pianificazione della rete stradale, ad esempio, contribuisce non poco all'abbattimento dei rumori da traffico: occorre canalizzare il traffico in una rete di strade principali, sulle quali si affacciano edifici commerciali e uffici. Le aree all'interno di queste maglie principali si dovrebbero raggiungere attraverso maglie secondarie con pochi e controllati ingressi, attraverso strade locali, ad uso esclusivo dei residenti e non interessate dal traffico di attraversamento.

Sarebbe bene anche introdurre una serie di servizi municipali o nazionali, come:

- il controllo delle emissioni dei veicoli, l'erogazione di un'indennità per un'eccessiva esposizione al rumore, l'applicazione di sanzioni per le attività rumorose, ecc.;
- l'uso di veicoli e di macchinari pubblici a basse emissioni sonore, la promozione di comportamenti esemplari, la definizione di regolamenti per organizzare al meglio le manifestazioni all'aperto;
- l'ispezione del parco macchine e moto, secondo quel che prevedono le norme vigenti;
- il rinnovo della flotta motociclistica della città (prevedendo sgravi fiscali per passare a mezzi meno rumorosi);
- la promozione di campagne d'informazione per la prevenzione del rumore, rivolte in particolare ai giovani.

2.2.2 I Piani di Risanamento Acustico previsti dalla L. n. 447/95

2.2.2.1 I Piani Comunali di Risanamento Acustico

La Legge Quadro n. 447 del 26/10/95 affida un ruolo centrale, nel processo di gestione e contenimento del rumore ambientale, ai Comuni, cui spetta il compito eventuale di predisporre un Piano Comunale di Risanamento Acustico (P.C.R.A.). Come già riferito, l'Art. 7 della citata Legge prevede che venga predisposto un P.C.R.A., nel caso in cui si verifichi almeno una delle seguenti condizioni:

- il superamento dei valori di attenzione di zona previsti dal Piano di Classificazione Acustica del territorio;

– il contatto di aree con valori di limite di zona che differiscono più di 5 dB.

Secondo l'Art. 7, comma 2, della L. n. 447 del 26/10/95, il Piano di Risanamento Acustico deve contenere:

- l'individuazione della tipologia ed entità dei rumori presenti, incluse le sorgenti mobili;
- l'individuazione dei soggetti a cui compete l'intervento;
- l'indicazione delle priorità, delle modalità e dei tempi per il risanamento;
- la stima degli oneri finanziari e dei mezzi necessari;
- le eventuali misure cautelari, a carattere d'urgenza, per la tutela dell'ambiente e della salute pubblica.

Inoltre, il comma 5 del medesimo articolo prevede che, nei Comuni con popolazione superiore a 50.000 abitanti, la Giunta Comunale presenti al Consiglio Comunale una relazione biennale sullo stato acustico del Comune.

La Legge n. 447 del 26/10/95, dunque, prevede, a grandi linee, i contenuti dei P.C.R.A., ma non definisce le modalità e i criteri per la loro predisposizione, demandando tale compito alle leggi regionali di recepimento.

Un P.C.R.A. rappresenta un progetto di pianificazione complesso, che è contraddistinto da numerosi provvedimenti, di cui i veri e propri interventi tecnici per il controllo del rumore (impiego di asfalti a bassa rumorosità, interventi di tipo passivo sugli edifici, progettazione di arredi urbani con funzione di schermi acustici) ne costituiscono solo una parte. Un P.C.R.A., come già riferito, dovrà interagire e coordinarsi con gli strumenti di gestione e pianificazione territoriale. Esso deve rappresentare uno strumento flessibile e dinamico, periodicamente soggetto a revisioni e verifiche, in cui si pianificano interventi di natura tecnica, nel rispetto della normativa. Se ne viene fatto buon uso, esso può divenire, grazie al processo di aggiornamento, lo strumento cardine su cui basare la conoscenza delle trasformazioni acustiche del territorio.

Al contrario del P.C.C.A., l'adozione del Piano Comunale di Risanamento Acustico non risulta molto diffusa e le amministrazioni locali spesso non ricorrono a questo strumento.

Secondo i dati aggiornati al mese di dicembre 2006, risulta che i Comuni che hanno approvato il Piano di Risanamento sono 54, appartenenti a sette regioni (Valle d'Aosta, Trentino Alto Adige, Veneto, Liguria, Emilia Romagna, Toscana, Marche), con la maggiore concentrazione in due Regioni: la Toscana, con 32 Comuni e la Liguria, con 13, come indicato in Tabella 10.

Tabella 10 - *Numero dei Comuni, suddivisi per regione, che hanno approvato i Piani di Risanamento Acustico, aggiornato al 31/12/2006 (“a”: aggiornamento dati al 31/12/2003; “b”: Aggiornamento dati al 31/12/2005 [da Annuario dei dati ambientali, APAT, 2007. Database degli Indicatori ambientali]*

Regione / Provincia autonoma	N. Comuni con Piano di Classificazione Acustica approvata	N. Comuni con Piano di Risanamento approvato
Piemonte	777	0
Valle d'Aosta	2	1
Lombardia	382	0
Trentino Alto Adige	81 (a)	1 (a)
Bolzano	1	0
Trento	80	1
Veneto	400	2 (a)
Friuli Venezia Giulia	5	0
Liguria	181	13
Emilia Romagna	134	4
Toscana	241	32
Umbria	1	0
Marche	73	1
Lazio	41 (a)	0 (a)
Abruzzo	4	0
Molise	0 (b)	0 (b)
Campania	173 (a)	-
Puglia	10 (a)	0a
Basilicata	0	0
Calabria	2	-
Sicilia	5 (a)	0
Sardegna	7	0
Italia	2.205	54

Le *Linee guida per l'elaborazione di piani comunali di risanamento acustico* dell'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (A.N.P.A.), del febbraio 1998, indicano in che modo elaborare i piani, ponendo l'attenzione sul coordinamento degli ambiti di varia natura: di tipo amministrativo (proposte ed indirizzi in sede di attività pianificatoria) di tipo normativo e regolamentare (piani e regolamenti comunali), e di tipo operativo, ai fini dell'abbattimento sonoro.

Attualmente però non risultano condivise ed attuate metodiche e procedure omogenee:

alcune Amministrazioni Comunali hanno preso iniziative singole riguardo la stesura del piano di risanamento.

La redazione dei piani presenta tuttavia caratteristiche comuni, che riguardano le modalità relative all'individuazione delle aree critiche. Esse sono determinate generalmente attraverso i seguenti processi: l'analisi della classificazione acustica, l'individuazione degli contatti fra classi acustiche non contigue, la progettazione di un sistema di monitoraggio, la stesura della mappatura acustica, secondo le nuove disposizioni della Direttiva, il suo confronto con il piano di zonizzazione, l'evidenziazione di situazioni di superamento dei limiti acustici permanenti.

Allo stesso modo, risultano consolidate le tipologie di interventi di risanamento. Esse riguardano, in particolare, gli interventi rivolti alla mitigazione del rumore proveniente dalle principali sorgenti di rumore (traffico stradale, ferroviario, aereo, insediamenti industriali) e alla tutela dei ricettori sensibili. Il maggior numero di interventi, rivolti alla mitigazione del traffico stradale, sono di natura regolamentare (introduzione di zone a velocità ridotta, dissuasori di velocità) o attuati sulla sorgente (riduzione dell'emissione dei veicoli per trasporto pubblico, la ripavimentazione di strade tramite asfalti fonoassorbenti).

Gli interventi relativi alla tutela dei ricettori sensibili, quali scuole e ospedali, riguardano l'inserimento di barriere all'esterno, la sostituzione degli infissi e la correzione acustica degli ambienti interni mediante materiale fonoassorbente.

Nelle varie esperienze analizzate, a livello nazionale, si notano metodologie simili, sia nella fase di preparazione al piano che nella fase conclusiva, mentre non è presente una metodologia unica e condivisa riguardante l'assegnazione dei criteri di priorità, dei tempi di risanamento, ma soprattutto manca una lettura unitaria dell'utilità e dell'uso del Piano di Risanamento Acustico come strumento urbanistico di programmazione e di gestione.

È necessaria la consapevolezza che il risanamento acustico non viene conseguito solo attraverso la redazione di un progetto, che rappresenta il concreto punto di partenza, bensì attraverso l'avvio di un processo di dialogo che coinvolge l'Amministrazione comunale e i molteplici soggetti che operano, vivono o fruiscono del territorio.

Nel Piano dovrebbero inoltre essere sottolineati i seguenti aspetti:

- l'importanza della prevenzione, al fine di evitare l'insorgenza di nuove criticità acustiche, intendendo con ciò che l'azione di governo del territorio debba avere fra i suoi obiettivi primari la tutela del clima acustico degli insediamenti;
- la necessità della massima integrazione del P.C.R.A. nei momenti di revisione degli Strumenti Urbanistici e dei Piani Urbani del Traffico;
- la sensibilizzare la popolazione al problema rumore e, contestualmente,

l'accrescimento della sua consapevolezza delle ingenti risorse necessarie per il conseguimento di significativi risultati di abbattimento sonoro.

2.2.2.2 I Piani di Risanamento Acustico Aziendali

La necessità di predisposizione di un Piano di Risanamento Acustico Aziendale da parte delle imprese è stabilita dall'Art. 15 della L. n. 447 del 26/10/95. In tale Articolo, viene previsto che *ai fini del graduale raggiungimento degli obiettivi fissati dalla presente legge, le imprese interessate devono presentare il Piano di Risanamento Acustico, di cui all'Art. 3 del citato D.P.C.M. 01/3/91, entro il termine di sei mesi dalla classificazione del territorio comunale, secondo i criteri di cui all'Art. 4, comma 1, lettere a), della presente Legge.*

Nel piano di risanamento dovrà essere indicato, con adeguata relazione tecnica, il termine entro il quale le imprese prevedono di adeguarsi ai limiti previsti dalle norme di cui alla presente Legge.

Le imprese che non presentano il Piano di Risanamento devono adeguarsi ai limiti fissati dalla suddivisione in classi del territorio comunale previsto per la presentazione del piano stesso.

Le modalità e i criteri per la predisposizione ed attuazione dei P.R.A. delle imprese sono stabiliti dalle differenti norme regionali previste in attuazione alla Legge n. 447 del 26/10/95.

In generale, i titolari di imprese produttive responsabili di emissioni rumorose devono provvedere alla verifica delle compatibilità delle proprie emissioni sonore, in relazione ai valori limite stabiliti dal P.C.C.A. e, nel caso di non conformità, adeguarsi ad essi, attraverso la predisposizione di un P.R.A.

2.2.2.3 I Piani di Risanamento Acustico delle infrastrutture e dei trasporti

La Legge Quadro n. 447 del 26/10/95 all'Art. 10, comma 5, prevede che, nel caso di superamento dei valori di immissione e di emissione, le società e gli enti gestori delle infrastrutture e dei trasporti abbiano l'obbligo di predisporre e presentare al Comune piani di contenimento ed abbattimento del rumore.

Questi piani devono essere organizzati in un P.R.A. secondo le direttive emanate dal D.M. del 29/11/00 (*Criteri per la predisposizione dei piani degli interventi di contenimento ed abbattimento del rumore*) e da una serie di decreti specifici per ciascuna delle infrastrutture di trasporto.

Le società e gli enti gestori, sempre secondo la Legge Quadro n. 447 del 26/10/95, devono indicare *i tempi di adeguamento, le modalità, i costi, e sono obbligati ad impegnare, in via ordinaria, una quota fissa non inferiore al cinque per cento dei fondi previsti per le attività di manutenzione e di potenziamento delle infrastrutture stesse e per l'adozione di interventi di contenimento e abbattimento del rumore.*

L'ordine di priorità degli interventi di risanamento delle infrastrutture è stabilito mediante la valutazione dell'indice di priorità P, la cui procedura di calcolo è indicata nell'Allegato 1 del D.M del 29/11/00. In ogni caso, le Regioni, o le Autorità da esse indicate, possono stabilire, d'intesa con i Comuni interessati, un ordine di priorità degli interventi di risanamento che prescindano dall'indice di priorità P [Cfr. Paragrafo 2.3.3.5 - Individuazione delle aree critiche].

Secondo il D.M. del 29/11/2000 i P.R.A. predisposti dagli enti gestori delle infrastrutture di trasporto devono contenere:

- l'individuazione degli interventi e le relative modalità di realizzazione;
- le eventuali altre infrastrutture di trasporto concorrenti all'immissione, nelle aree in cui si abbia un superamento dei limiti;
- l'indicazione dei tempi di esecuzione e dei costi previsti per ciascun intervento;
- il grado di priorità di esecuzione di ciascun intervento;
- le motivazioni per eventuali interventi sui ricettori.

I tempi previsti per la predisposizione e l'attuazione dei P.R.A. delle infrastrutture di trasporto sono indicati in Tabella 11.

Tabella 11 - Tempi fissati dal D.M. 29/11/00 per la predisposizione e l'attuazione dei P.R.A. delle infrastrutture di trasporto

Tipologia infrastruttura	Tempi per la predisposizione del P.R.A.	Tempi per l'attuazione del P.R.A.
Lineari nazionali, regionali o locali	Febbraio 2004	Entro 15 anni
Aeroporti	Febbraio 2004	Entro 15 anni
Altre	Febbraio 2004	Entro 15 anni

2.2.2.3.1 Risanamento Acustico delle infrastrutture di trasporto veicolare

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha il compito di gestire l'informazione in campo ambientale ed è organo di supporto al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (M.A.T.T.M.), fra le varie informazioni raccolte, vi sono quelle relative allo stato di attuazione della normativa e alle attività istruttorie per i Piani di Risanamento Acustico, relative alle infrastrutture di trasporto lineari di interesse nazionale o di più Regioni, ai sensi del D.M. del 29/11/00.

Il Ministero ha richiesto ad ISPRA un contributo di tipo tecnico riguardante l'analisi della documentazione, presentata da parte delle società e degli Enti gestori di infrastrutture di trasporto veicolare di interesse nazionale o di più regioni, relativa ai Piani degli interventi di contenimento ed abbattimento del rumore.

Attualmente sono stati trasmessi al Ministero, per l'avvio dell'iter approvativo, 16 Piani di risanamento su 25 attesi, che interessano circa il 65 % dell'estensione della rete autostradale nazionale, relativamente alle società ed agli enti gestori (Tabella 12). L'istruttoria tecnica è stata già completata per 9 di essi ed è in corso per altri 4, mentre è temporaneamente sospesa, in attesa di integrazioni documentali, per altri 3 Piani.

Tabella 12 - *Situazione dei Piani di Risanamento relativa alle infrastrutture lineari*
[da Sacchetti F., Curcuruto S., Attori D., Betti R., Marsico G., Selvaggio R., Stortini M., *L'esperienza di APAT nell'analisi dei Piani di Risanamento delle Infrastrutture stradali*, 2008]

Società Concessionaria	Piano Trasmesso	Istruttoria Completata	Istruttoria in corso
Anas	Si		
Autostrade per l'italia (15 piani)	Si		Si
SAM – Autostrade Meridionali	No		
Autostrada Milano Serravalle – Milano Tangenziali (6 piani)	Si	Si	
Autostrada Torino – Savona	No		
ATIVA – Autostrada Torino – Ivrea – Valle d'Aosta	Si		Si

segue...

... segue

Sias – Società Autocamionale della Cisa	Sì	Sì	
Autovie Venete	Sì	Sì	
Autostrada Brescia – Verona – Vicenza – Padova	No		
Autostrada del Brennero	Sì	Sì	
SATAP – Autostrada Torino - Alessandria - Piacenza	Sì	Sì	
SATAP – Autostrada Torino – Milano	Sì	Sì	
Autostrade Centro Padane	Sì	Sì	
SAV – Società Autostrade Valdostane	No		
SALT – Società Autostrada Ligure Toscana	Sì		Sì
AdF – Autostrada dei Fiori	Sì		Sì
SAT – Società Autostrada Tirrenica	Sì	Sì	
Tangenziale di Napoli	No		
Società Italiana per il traforo del Monte Bianco	Sì		
Sara – ANAS – Strada dei Parchi	Sì	Sì	
SISTRAB - Società Italiana Traforo Gran San Bernardo	Sì		
RAV – Raccordo Autostradale Valle d'Aosta	No		
SITAF – Società Italiana Traforo Autostradale del Frejus	No		
Autostrade di Venezia e Padova	No		
CAS - Consorzio Autostrade Siciliane	No		

I Piani generalmente prevedono:

- una Fase I, relativa all'individuazione delle Aree Critiche (aree a cavallo dell'infrastruttura in cui si stimano superamenti dei limiti indicati dalla normativa);
- una Fase II, riguardante l'individuazione degli interventi di risanamento e del relativo grado di priorità.

Dall'analisi della documentazione presentata dai gestori si evidenziano criteri generali comuni, ma anche approcci diversi nel metodo utilizzato dai vari gestori al fine di individuare le aree critiche e la definizione delle priorità di risanamento.

Durante la diagnosi acustica delle aree critiche, per caratterizzare il clima acustico e la sensibilità dell'area interessata all'infrastruttura, è utile inquadrare l'area di studio su cartografia, eseguire un censimento dei ricettori sensibili (scuole, case di cura e ospedali) e campagne di monitoraggio fonometrico finalizzate, oltre che a caratterizzare il livello sonoro dei luoghi, anche alla calibrazione dei modelli di simulazione, spesso utilizzati dai gestori delle infrastrutture nel processo di mappatura.

Mediante l'utilizzo di sistemi GIS, è possibile studiare le numerose aree interessate integrando le informazioni territoriali (destinazione d'uso, densità abitativa, altezza degli edifici, ecc.) con le informazioni acustiche, permettendo l'inserimento ambientale dell'intervento di mitigazione, in modo da facilitare i successivi approfondimenti dello scenario, gli aggiornamenti e le verifiche di campo.

Durante la fase di diagnosi acustica del territorio, vengono dunque effettuate misure fonometriche, sia come campagne di monitoraggio di durata settimanale che come misure spot, cioè puntuali, e nella maggior parte dei casi, le misure vengono integrate con l'analisi modellistica del carico acustico prodotto dall'infrastruttura in esame.

Secondo il D.M. del 29/11/00, i modelli di calcolo devono consentire la descrizione dell'ambiente di propagazione, tenendo conto delle riflessioni, delle diffrazioni, dell'attenuazione per divergenza geometrica e per assorbimento del suolo e dell'atmosfera. Poiché tutti i software di simulazione attualmente in commercio sono in grado di poter soddisfare alle richieste del citato D.M., e, poichè dall'esame dei Piani risultano diversi gli algoritmi di calcolo sviluppati per la progettazione acustica, la caratterizzazione specifica del modello di simulazione utilizzato non sempre risulta essere dettagliata.

L'istruttoria tecnica, effettuata su una prima parte dei Piani già trasmessi al M.A.T.T.M., ha evidenziato che alcuni gestori hanno seguito procedure non del tutto conformi alle indicazioni fornite dal D.M. del 29/11/00 e ai relativi Allegati.

A tale proposito, si riporta una sintesi delle principali problematiche riscontrate:

- 1) problematiche legate alla procedura seguita per la determinazione dei valori del livello di soglia in presenza di sorgenti concorsuali, nel caso in cui il ricettore sia contenuto nelle fasce di pertinenza delle stesse, aventi le sorgenti i medesimi limiti, e nel caso in cui il ricettore sia contenuto comunque in una fascia di pertinenza, ma aventi le sorgenti limiti differenti;
- 2) problematiche legate alla procedura relativa all'individuazione delle aree critiche;

3) problematiche legate alla procedura per la determinazione dell'indice di priorità.

Le procedure adottate, essendo diverse da quelle indicate dall'Allegato 4 del D.M. del 29/11/00, vanno ad incidere anche sulla valutazione delle attività di risanamento relative a più sorgenti sonore.

In alcuni dei Piani esaminati, non sono state riportate sufficienti informazioni sulle misure fonometriche utilizzate per la caratterizzazione acustica delle aree interessate e per la calibrazione del modello di simulazione. Spesso, nella documentazione presentata, non compaiono informazioni riguardanti la taratura della strumentazione utilizzata per i rilievi acustici, nonché informazioni sui certificati di taratura previsti invece dal D.M. 16/03/98, *Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico*.

Relativamente agli interventi diretti sui ricettori, alcuni Gestori non hanno fornito alcuna indicazione, né sui costi né sui tempi di esecuzione, mentre altri, avendo rimandato gli stessi a successive verifiche strumentali, allo stato attuale hanno contabilizzato gli importi previsti solo esclusivamente per gli interventi diretti sulla sorgente, comprendendo erroneamente in essi anche i costi delle verifiche da effettuarsi in campo.

Nei Piani di Risanamento, tra una variegata tipologia di interventi utilizzati per ridurre i livelli di immissione, la scelta della modalità di bonifica è ricaduta quasi esclusivamente sull'installazione di barriere antirumore, mentre per la riduzione delle emissioni alla sorgente è stato principalmente previsto l'impiego di asfalti antirumore.

Come del resto prescrive la normativa, nei casi di mancato rispetto dei limiti, anche a seguito di bonifica acustica rivolta alla sorgente o al cammino di propagazione tra sorgente e ricettore, si sceglie, per ultimo, di intervenire direttamente sul ricettore stesso, facendo ricorso esclusivamente all'installazione di finestre antirumore.

2.2.2.3.2 I Piani di Risanamento Acustico di R.F.I.

La Rete Ferroviaria Italiana (R.F.I.) ha pianificato 8.842 interventi di risanamento acustico sulle proprie infrastrutture, distribuiti in 20 regioni, da realizzarsi nell'arco di 15 anni, a partire dal 2004, anno in cui è stato presentato il Piano. La distribuzione degli interventi relativa alle varie regioni viene riportata nella Tabella 13.

Tabella 13 - Numero di interventi, suddivisi per Regione, previsti in 15 anni da R.F.I.

Regione	N. interventi
Piemonte	829
Valle d'Aosta	7
Lombardia	964
Trentino Alto Adige	181
Veneto	912
Friuli Venezia Giulia	290
Liguria	357
Emilia Romagna	984
Toscana	797
Umbria	250
Marche	266
Lazio	706
Abruzzo	185
Molise	28
Campania	549
Puglia	357
Basilicata	48
Calabria	655
Sicilia	444
Sardegna	33
Italia	8.842

Secondo i dati resi disponibili dall'Annuario APAT (attualmente ISPRA), è stato riscontrato un superamento dei limiti in fascia A sul 47% della rete ferroviaria (8.151 km, su 17.163 km di estensione totale); di essi, 2.874 km (circa il 17%) presentano ricettori abitativi, di questi, in 86 km si riscontra la presenza di ricettori sensibili.

R.F.I. ha ritenuto di includere, nella stesura del Piano, solo saltuariamente interventi diretti sulla sorgente, privilegiando quelli lungo il percorso di propagazione, ricorrendo spesso all'uso di barriere antirumore. Il posizionamento delle barriere rispetto al binario e la scelta dei materiali delle stesse, sono stati eseguiti in modo da ottimizzare l'efficacia acustica e la curabilità delle opere effettuate.

Il D.M. del 29/11/2000 raccomanda l'adozione di interventi diretti sui ricettori, solo nei casi in cui *non sia tecnicamente possibile garantire il rispetto dei limiti, anche a seguito di interventi di differente natura, oppure qualora lo impongano valutazioni tecniche, economiche o di carattere ambientale*. Per questo motivo, R.F.I. ha disposto l'utilizzo di tale tipologia d'intervento, solo nei casi di ricettori isolati, distanti più di 200 metri da ogni altro ricettore, e per i ricettori sensibili localizzati all'interno di un'area critica da risanare con molti ricettori, al fine di non eccedere nel dimensionamento delle barriere.

2.2.3 I Piani di Azione in Italia

La Direttiva 2002/49/CE prevede che gli Stati Membri predispongano i cosiddetti Piani di Azione destinati a gestire problemi di rumore e i relativi effetti.

L'Art. 8 della Direttiva stabilisce che i Piani di Azione debbano essere previsti per gli agglomerati urbani e per le infrastrutture di trasporto, in due fasi temporali successive, a seconda della dimensione dell'agglomerato e dal numero di transiti previsti sull'infrastruttura, secondo lo schema riportato in Tabella 1 del Paragrafo 2.1.1.2.

Gli interventi pianificati, da inserire nei Piani di Azione dalle autorità, possono comprendere, ad esempio:

- una pianificazione dello sviluppo territoriale e del traffico antirumore;
- accorgimenti tecnici e tecnologici di abbattimento delle emissioni delle sorgenti;
- la scelta di sorgenti più silenziose;
- la riduzione della trasmissione del suono;
- misure di regolamentazione del funzionamento delle sorgenti,
- incentivi all'utilizzo di sorgenti antirumore.

Inoltre, i Piani di Azione devono comprendere stime, in termini di riduzione, non solo dei livelli sonori nell'ambiente, ma anche del numero di persone ad essi esposte (fastidio, disturbi del sonno o altro).

Gli agglomerati urbani italiani che hanno presentato i Piani di Azione sono Genova, Torino e Firenze.

Si riportano a seguire, solo a titolo di esempio, le sintesi di alcuni Piani di Azione di Comuni e Infrastrutture.

2.2.3.1 Piano di Azione del Comune di Firenze

Il Piano d'Azione Strategico di Firenze ha avuto come input, per quanto riguarda l'impostazione metodologica, il documento prodotto da ARPA Toscana "Bozza di capitolato per la definizione di un Piano d'azione relativo al risanamento acustico del rumore prodotto dalla viabilità comunale del Comune di Firenze", e per quanto riguarda la base tecnica dei dati, la mappatura strategica prodotta da ARPA Toscana, e ha in sé incluso le seguenti attività:

1. un'analisi della situazione esistente dal punto di vista del profilo acustico della città, con l'individuazione delle aree critiche attribuite alla viabilità comunale e alle aree critiche definite tali perché la silenziosità ne è da tutelare;
2. una rassegna critica dei provvedimenti di mitigazione di valenza generale (applicabili a tutte le strade e a tutte le aree critiche in linea di principio);
3. una rassegna critica dei provvedimenti di mitigazione acustica di valenza locale;
4. il coordinamento con i contenuti del Piano di Risanamento, ai sensi della Legge Quadro n. 447 del 26/10/95.

La base di dati su cui è stato costruito il Piano di Azione, è estremamente ampia e contiene informazioni, sia acustiche che non acustiche, costituite sostanzialmente dai risultati degli studi e delle ricerche condotti da ARPAT, sia propedeuticamente alla redazione della mappatura acustica strategica del Comune di Firenze, sia finalizzati all'analisi dei flussi di traffico ed alla caratterizzazione dei livelli di emissione del traffico stradale nel Comune di Firenze da diversi anni a questa parte.

L'ottica del lavoro è stata quella di non disperdere le informazioni elaborate nel tempo, bensì di raccoglierle ai fini di una costruzione di una base dati integrata.

Il Piano d'Azione è stato redatto attraverso l'unione di diversi processi.

Il primo di questi ha avuto come obiettivo quello di determinare i livelli di pressione sonora in facciata agli edifici, tali da poter essere confrontati con i limiti attualmente vigenti nel territorio comunale, così da determinare i conflitti presenti all'interno del comune di Firenze e di procedere con la definizione di "aree critiche" e "sorgenti critiche".

Per l'assegnazione dei livelli in facciata si è fatto uso di un apposito modello di simulazione acustica commerciale in grado di accogliere i tematismi predisposti dal database iniziale e, attraverso una procedura standardizzata, configurare in pochi passaggi il modello acustico per l'effettuazione delle simulazioni. Il risultato del calcolo è stato esportato in ambiente GIS per le successive fasi di analisi e definizione delle criticità.

La fase successiva è stata quella perimetrazione delle aree critiche partendo da livelli e limiti in corrispondenza dei ricettori, insieme al tratto di sorgente responsabile degli eventuali superamenti.

Per quanto riguarda le sorgenti inserite nel modello, recependo le indicazioni di

ARPAT, si è deciso di sovrapporre alle sorgenti stradali, già individuate, anche il grafo dei transiti di ATAF (Azienda Municipale del Traffico Fiorentino), in modo da poter determinare il contributo acustico complessivo e individuare le singole responsabilità.

Le aree critiche, inizialmente di piccole estensioni, sono state successivamente accorpate quando possibile e sono stati calcolati i rispettivi indici di criticità. I risultati sono presentati in tabelle contenenti gli indici di criticità calcolati rispettivamente, con riferimento ai ricettori interessati nell'area (esclusi quelli sensibili), per i soli ricettori sensibili, ed, infine, come descrittori di una criticità globale dell'area.

Oltre all'individuazione delle aree critiche, scopo dell'attività è stato anche quello di definire una procedura per l'individuazione delle aree quiete, secondo la definizione che di esse dà la Direttiva Europea e, con particolare riferimento alle indicazioni dell'Amministrazione Comunale di Firenze e all'esperienza di altri agglomerati. È stata infine eseguita un'analisi qualitativa dei paesaggi sonori delle aree individuate come quiete, suddividendole per tipologia ed applicando una predefinita procedura di *testing* su alcuni scenari campione, che permettesse una classificazione indicativa della loro preziosità sonora.

Il Piano d'Azione di Firenze contiene, infine, un utile manuale delle soluzioni di risanamento acusticamente conformi, con una rassegna critica dei provvedimenti di mitigazione di valenza generale. In esso, si presenta la procedura adottata per la definizione degli ambiti di intervento ritenuti strategici dall'Amministrazione comunale e per l'analisi delle soluzioni possibili per le aree da risanare.

2.2.3.2 Piano di Azione A.N.A.S.

L'Azienda Nazionale Autonoma delle Strade (A.N.A.S.) ha presentato i Piani di Azione, per le proprie infrastrutture su cui viaggiano più di 6 milioni di veicoli all'anno, sia per i tronchi stradali rientranti all'interno degli agglomerati con più di 250.000 abitanti, sia per quelli fuori degli agglomerati.

Le procedure seguite nell'ambito della definizione dei Piani di Azione possono essere schematizzate in cinque fasi.

1. individuazione delle aree critiche non ancora oggetto di risanamento;
2. stima della popolazione esposta;
3. definizione di opere di intervento antirumore su tali aree;
4. individuazione delle aree critiche residue; in questa fase vengono prese in considerazione anche quelle aree che sono state oggetto di interventi di contenimento del rumore già messi in opera;
5. stima della popolazione esposta nelle aree critiche residue;
6. definizione degli interventi antirumore da adottare nelle aree critiche residue. La tipologia di intervento scelta, tiene presente la già citata scala di priorità definita

dal D.M. del 29/11/2000 e riguarda, rispettivamente, gli interventi eseguiti direttamente sulla sorgente sonora, gli interventi lungo le vie di propagazione del rumore dalla sorgente al ricettore e gli interventi eseguiti direttamente sul ricettore. Il criterio di intervento adottato viene inoltre stabilito in base all'entità del superamento massimo del limite previsto dalla normativa in corrispondenza dell'area critica stessa ed è riportato in Tabella 14:

Tabella 14 - *Tipologia di interventi antirumore adottati in relazione all'entità del superamento massimo del limite imposto dalla normativa nazionale*

Entità del superamento dei limiti di legge (ΔL_{eq})	Tipologia di intervento antirumore
0-3	Asfalto fonoassorbente
3-9	Barriere antirumore
>9	Asfalto fonoassorbente + Barriere antirumore

Qualora i limiti vigenti non risultino conseguibili nonostante le diverse opere di mitigazione relative alla sorgente e al percorso di propagazione, si ricorre ad interventi sui ricettori (infissi antirumore).

In ogni caso, l'individuazione delle priorità di intervento e lo sviluppo operativo delle azioni di risanamento acustico vengono rimandati alle linee guida relative alla stesura dei Piani di Contenimento e Abbattimento del Rumore, secondo il D.M. del 29/11/00.

Riportiamo, come esempio, uno stralcio del Piano di Azione presentato da A.N.A.S. S.p.A, relativo agli assi stradali su cui transitano più di 6 milioni di veicoli/anno (Tabella 15) nel territorio della Regione Toscana. In Toscana, non sono presenti assi stradali di competenza A.N.A.S. che ricadano negli agglomerati con popolazione superiore ai 250.000 abitanti.

Tabella 15 - *Assi stradali di competenza A.N.A.S. su cui transitano più di 6.000.000 di veicoli all'anno in Toscana. Tutti gli assi risultano al di fuori degli agglomerati oggetto del Piano di Azione*

Strada	Codice Strada ID	Comuni interessati	Tratta compresa tra le progressive		Lunghezza (km)	Traffico medio annuo (veicoli/anno)
			Da prog (km)	A prog (km)		
RA03	IT_A_RD0001097	Impruneta, San Casciano in Val di Pesa, Tavarnelle in Val di Pesa, Barberino Val d'Elsa, Poggibonsi	24	56	31	8.399.383
SS1	IT_A_RD0001113_2	Viareggio, Vecchiano, San Giuliano Terme Pisa, Collesalveti, Livorno	319	358	36	7.178.919
SS1	IT_A_RD0001113_1	Cecina, Bibbona, Castagneto Carducci, San Vincenzo, Campiglia Marittima	242	278	36	7.790.982
SS12	IT_A_RD0001135	Pisa, San Giuliano Terme	0	7	7	6.675.286
SS67	IT_A_RD0001390	Lastra a Signa, Scandicci	70	75	4	6.710.144

Nell'ambito della predisposizione delle mappature acustiche di A.N.A.S. sono stati ricavati i dati relativi alla popolazione esposta, ripartita in intervalli spazati di 5 dB(A) dei descrittori L_{DEN} e L_{NIGHT} , come richiesto dall'Allegato 6 del D. Lgs. n. 194 del 19/08/05.

Di seguito vengono riportate le tabelle di sintesi contenenti i risultati delle mappature acustiche, relative a ciascun segmento stradale analizzato nel territorio della Regione Toscana. Le analisi sono state effettuate ignorando le eventuali mitigazioni acustiche già in essere; le cifre indicate in tabella sono arrotondate al centinaio.

Nelle Tabelle 16 e 17, viene riportato il numero di abitanti esposti, a diversi valori di L_{DEN} ed L_{NIGHT} , dovuti al traffico nei tratti di infrastruttura di competenza A.N.A.S.

Tabella 16 - *Livelli di L_{DEN} a cui è sottoposta la popolazione, nei tratti di strade con traffico superiore ai 6 milioni di veicoli l'anno, di competenza A.N.A.S. nella Regione Toscana*

Strada	Codice Strada ID	Popolazione esposta (L_{DEN})				
		55-59	60-64	65-69	70-74	>75
RA03	IT_A_RD0001097	2400	2400	900	400	300
SS1	IT_A_RD0001113_1	4500	2300	500	100	100
SS1	IT_A_RD0001113_2	8000	4000	1500	700	400
SS12	IT_A_RD0001135	10440	5300	1800	700	400
SS67	IT_A_RD0001390	3600	3700	2600	1300	900

Tabella 17 - *Livelli di L_{NIGHT} a cui è sottoposta la popolazione nei tratti di strade con traffico superiore ai 6 milioni di veicoli l'anno, di competenza A.N.A.S. nella Regione Toscana*

Strada	Codice Strada ID	Popolazione esposta (L_{NIGHT})				
		55-59	60-64	65-69	70-74	>75
RA03	IT_A_RD0001097	2900	1500	600	300	100
SS1	IT_A_RD0001113_1	3600	1500	200	100	0
SS1	IT_A_RD0001113_2	6500	2400	900	600	0
SS12	IT_A_RD0001135	8400	3000	1000	500	100
SS67	IT_A_RD0001390	3800	3400	1800	1100	200

La valutazione del numero di persone esposte al rumore, o comunque del numero di abitazioni, tengono invece conto delle eventuali mitigazioni in essere.

In Tabella 18, viene riportato il numero di abitanti e di abitazioni soggetti a diverse classi di superamento del limite normativo $L_{A,eq}$ notturno.

Tabella 18 - Numero di abitanti e di abitazioni esposti a diverse classi di $L_{A,eq}$ notturno, generato dal traffico nelle strade di competenza A.N.A.S di Tabella 17

Strada	Codice Strada ID	Tratta (km)	Entità superamento limite normativo notturno dB(A)	Numero abitanti	Numero abitazioni
RA03	IT_A_RD0001097	24-56	0-3	400	200
			3-6	100	100
			6-9	100	100
			9-12	100	100
			>12	0	0
SS1	IT_A_RD0001113_2	242-278	0-3	600	300
SS1	IT_A_RD0001113_1	319-358	0-3	800	300
			3-6	200	100
			6-9	300	100
SS12	IT_A_RD0001135	0-7	0-3	2500	1400
			3-6	400	400
			6-9	300	200
			9-12	100	100
			>12	0	0
SS67	IT_A_RD0001390	70-75	0-3	2100	900
			3-6	600	200
			6-9	600	200
			9-12	200	100
			>12	100	0

La redazione delle mappature acustiche strategiche delle infrastrutture è stata effettuata mediante l'utilizzo dei descrittori acustici L_{DEN} e L_{NIGHT} come vuole la Direttiva Europea 2002/49/CE. I descrittori L_{DEN} e L_{NIGHT} si differenziano da quelli impiegati dalla legislazione italiana principalmente per gli aspetti già citati nel Paragrafo 2.1.6.2 - Limiti legati all'uso dei descrittori acustici ed in particolare:

- la determinazione dei livelli L_{DEN} e L_{NIGHT} sulla facciata si limita al suono incidente su di essa, escludendo le riflessioni prodotte dalla stessa;
- i livelli di L_{DEN} e L_{NIGHT} si riferiscono alla quota fissa di 4 m (più o meno 0.2 m) sul livello del suolo e non alla reale posizione del ricettore;
- i valori dei due nuovi descrittori vanno mediati sull'anno solare (affinché vengano inclusi gli effetti meteorologici);
- rispetto ai precedenti descrittori acustici nazionali, vi è una diversa suddivisione delle 24 ore giornaliere, mediante l'introduzione del periodo serale e l'applicazione di penalizzazioni sui livelli $L_{A,eq}$ dei due periodi più critici: quello serale (+5 dB) e quello notturno (+10 dB).

2.2.3.3 Piano di Azione di Autostrade per l'Italia

Il riferimento principale per la stesura del Piano di Azione da parte di Autostrade per l'Italia è ovviamente il D.Lgs. n. 194 del 19/08/05. Secondo l'Art. 4 del suddetto decreto *I Piani di Azione previsti ai commi 1 e 3 recepiscono e aggiornano i piani di contenimento e di abbattimento del rumore prodotto per lo svolgimento dei servizi pubblici di trasporto, i piani comunali di risanamento acustico ed i piani regionali triennali di intervento per la bonifica dall'inquinamento acustico, adottati ai sensi degli Artt: 3, comma 1, lettera i), 10, comma 5, 7, e 4, comma 2, della Legge Quadro n. 447 del 26/10/95.*

Fino all'emanazione dei decreti relativi alla conversione dei descrittori acustici nei nuovi descrittori europei, vengono utilizzati i descrittori acustici ed i relativi valori limite determinati ai densi dell'articolo 3 della L. n. 447 del 26/10/1995. Quindi, nonostante i Piani di Azione di Autostrade per l'Italia adottino i modelli di calcolo (NMPB Routes 96 – XPS 31-133) ed i descrittori acustici previsti dal D.Lgs. n.194 del 19/08/05, essi sono elaborati adottando come limiti massimi ammissibili i valori riportati nel D.P.R. n.142 del 30/03/04, ovvero dalla normativa nazionale.

I P.R.A. di Autostrade per l'Italia, del luglio 2007, sono in attesa di approvazione, così come l'ordine di priorità degli interventi di mitigazione acustica, calcolati secondo i presupposti del D.M. del 29/11/2000. Tutte le tratte autostradali gestite da Autostrade per l'Italia costituiscono assi stradali su cui transitano più di 6.000.000 veicoli all'anno. La rete autostradale interessa 14 regioni, 54 province, e 700 comuni per una lunghezza totale di oltre 2.850 km. Il territorio circostante la rete è caratterizzato da contesti naturali, morfologici ed antropici, variegati, e ciò rende impossibile una

descrizione generale dei vari scenari acustici presenti.

Si riportano nelle Tabelle 19 e 20 il numero di persone esposte a diversi livelli di L_{DEN} e di L_{NIGHT} nelle regioni italiane e nei pressi delle infrastrutture di competenza di Autostrade per l'Italia.

Tabella 19 - *Numero di persone esposte ai diversi livelli di L_{DEN} generati dalle infrastrutture di Autostrade per l'Italia*

Regione	Numero persone esposte L_{DEN} in dB(A)				
	55-59	60-64	65-69	70-74	>75
Friuli Venezia Giulia	4843	13333	4442	1100	28
Liguria	98537	156106	88721	35041	10777
Piemonte	9099	16399	9534	3131	673
Veneto	10394	26195	16760	5538	808
Abruzzo	6069	23367	16717	3590	351
Campania	51324	112034	76479	25674	2539
Molise	2669	10484	5182	530	9
Emilia Romagna	12151	37266	60401	25906	5091
Lombardia	16773	49354	1106449	63026	14533
Toscana	4692	42557	69009	23724	5214
Umbria	1335	3182	4157	1484	147
Lazio	10978	32486	41285	15965	2792
Marche	4782	43104	35649	9122	1262
Puglia	5481	6626	2250	376	25
<i>Totale</i>	239127	572493	541235	214207	44249

Tabella 20 - *Numero di persone esposte ai Livelli di L_{NIGHT} in dB(A) generati dalle infrastrutture di Autostrade per l'Italia*

Regione	Numero persone esposte L_{NIGHT} in dB(A)				
	50-54	55-59	60-64	65-69	>70
Friuli Venezia Giulia	8669	11093	2803	217	0
Liguria	137410	137053	61346	15625	4187
Piemonte	13451	14444	5643	1271	145
Veneto	21193	21780	9229	1990	172
Abruzzo	14733	24121	7934	941	26
Campania	91541	102852	47180	7468	572
Molise	5222	9506	3680	292	0
Emilia Romagna	21953	52846	49509	11051	1854
Lombardia	25032	76319	104947	35694	6802
Toscana	15024	72337	44355	10826	1405
Umbria	1575	4542	3061	617	43
Lazio	20691	37678	33556	7794	891
Marche	17480	52253	19856	3194	405
Puglia	6847	3345	918	95	0
<i>Totale</i>	400821	620169	394017	97075	16502

Le misure antirumore realizzate da Autostrade per l'Italia S.p.A, dal 2002 al 2007, riguardano:

- gli interventi relativi agli ampliamenti delle terze corsie, definiti mediante le procedure di Valutazione Impatto Ambientale;
- gli interventi che rientrano nell'ambito del Piano di Azione di Genova, uno dei primi a essere presentato, dato che l'autostrada passa per la città;
- gli interventi concordati successivamente a convenzioni con gli enti locali, per il risanamento di situazioni particolarmente critiche e realizzati in anticipo rispetto ai P.C.R.A.

Fra le diverse tipologie di intervento, Autostrade per l'Italia S.p.A adotterà degli accorgimenti tecnici a livello delle sorgenti e sui cammini di propagazione.

In dettaglio, verranno adottati accorgimenti relativi: alla pavimentazione antirumore, alla regolamentazione del traffico (impiego del sistema TUTOR per il controllo della velocità di transito), alla riduzione della trasmissione del suono mediante l'adozione di nuovi dispositivi. Tra essi, si elencano: barriere o pannelli acustici con duplice funzione, tra cui le barriere integrate sicurezza-antirumore, i pannelli acustici/fotovoltaici ed i sistemi integrati per il contenimento dell'inquinamento acustico ed atmosferico, ottenuti mediante rivestimenti fotocatalitici di pannelli in calcestruzzo o dell'interno di gallerie. Le barriere a cielo aperto possono essere dotate di difrattori laterali e di sommità che ne aumentano l'efficacia di abbattimento di qualche dB.

Attualmente non è possibile illustrare i Piani di Azione riferiti al quinquennio 2008-2013, in quanto non ancora approvati in modo ufficiale dalla Conferenza Unificata Stato-Regioni.

2.2.3.4 Piani di Azione R.F.I.

Il Piano di Azione di R.F.I. S.p.A, svolto seguendo i criteri indicati nel D. Lgs. n. 194 del 19/08/05, si articola in due fasi, la prima, conclusasi nel giugno 2007, riguardava la mappatura acustica degli assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno e la seconda, tuttora in essere, ha come obiettivo la definizione delle vere e proprie azioni di abbattimento, ovvero degli interventi di mitigazione acustica e dei relativi indici di priorità. Il Piano di Azione R.F.I. recepisce e aggiorna il Piano degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore previsto dal D.M.A del 29/11/00.

I risultati del lavoro svolto da R.F.I S.p.A permettono di ricavare i seguenti dati:

- la mappatura da eseguirsi è relativa ad otto agglomerati in Italia con più di 250.000 abitanti e circa 120 comuni minori;
- le tratte ferroviarie, con traffico maggiore di 60.000 convogli all'anno, per un totale di circa 810 km di infrastruttura, ammontano a 153;
- il numero stimato di persone che vivono in abitazioni interessate da livelli di L_{DEN} (relativi al solo traffico veicolare), suddivisi per intervalli di 5 dB, da 55 a 75, a 4 metri di altezza sulla facciata più esposta, (di cui al punto 1.5 dell'allegato 6 del D. Lgs. n. 194 del 19/08/05), è pari a 480.000 in totale;
- il numero stimato di persone che vivono in abitazioni interessate da livelli di L_{NIGHT} (relativi al solo traffico veicolare), suddivisi per intervalli di 5 dB, da 50 a 70, a 4 metri di altezza sulla facciata più esposta, (di cui al punto 1.6 dell'allegato 6 del D. Lgs. 194 del 19/08/05), è pari a 640.000 in totale.

Il Piano di contenimento e abbattimento del rumore prodotto dal gestore dell'infrastruttura ferroviaria si propone di attuare gli interventi di mitigazione necessari per il rispetto dei limiti d'immissione fissati nel D.P.R. 459/98 per l'intera

rete ferroviaria italiana. L'oggetto dell'intervento sono, spesso, i ricettori sensibili (scuole, ospedali, case di cura e di riposo), presenti in entrambe le fasce 'A' e 'B' di pertinenza ferroviaria, e, in fase successiva, gli altri ricettori localizzati nella sola fascia 'A'.

La tipologia degli interventi da attuare riguarda la costruzione di barriere antirumore e gli interventi passivi sui ricettori, tra i quali la messa in opera di finestre fonoisolanti, o, se necessario, finestre di tipo autoventilante che assicurano anche da chiuse il passaggio dell'aria per differenza di pressione tra ambiente esterno ed ambiente interno. Questi interventi diretti sui ricettori sono considerati da R.F.I, almeno al momento, solo come una soluzione estrema, a cui ricorrere solo in casi particolari, ovvero quando:

- i ricettori sono isolati e distanti più di 200 metri da ogni altro ricettore;
- i ricettori sono particolarmente sensibili (scuole, ospedali, case di cura e di riposo) e sono situati all'interno di un'area da risanare che include anche altri ricettori. In questo caso, tale provvedimento viene adottato per non gravare eccessivamente sul dimensionamento delle barriere antirumore.

Tabella 21 - Interventi predisposti dal piano di risanamento acustico, associati ai soli assi ferroviari con più di 60.000 convogli all'anno, recepiti senza modifiche dal Piano di Azione di R.F.I.

Barriere antirumore	Interventi diretti su ricettori isolati	Luogo interventi
184	57	All'interno degli agglomerati con più di 250.000 abitanti
480	218	Fuori dagli agglomerati con più di 250.000 abitanti

Gli interventi relativi agli assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno, recepiti senza alcuna modifica dal Piano di Azione, sono in totale 939 (241 inclusi negli agglomerati con più di 250.000 abitanti e 698 al di fuori di essi) di cui: 664 barriere antirumore e 275 interventi passivi su ricettori isolati, come indicato in Tabella 22.

Di essi, la Conferenza Unificata Stato-Regioni ne ha approvati 97, ovvero 96 barriere antirumore e 1 intervento diretto su ricettore. Dei 97 interventi

- 36 sono in fase di progettazione;
- 28 sono già progettati e sono in fase di approvazione dagli Enti locali;

- 4 sono in fase di realizzazione;
- 7 interventi sono stati approvati e sono in corso le attività di realizzazione;
- 3 hanno ottenuto un parere negativo da parte degli Enti interessati;
- 13 interventi sono stati approvati dagli Enti locali e sono da avviare;
- 6 sono stati sospesi o ne è stata rinviata l'esecuzione da parte dell'Amministrazione Regionale.

Il Piano di Azione degli assi ferroviari con più di 60.000 convogli all'anno ha recepito gli interventi previsti dal Piano di risanamento ai sensi del D.M. 29/11/00, non apportando modifiche sui dati dimensionali, gli indici di priorità ed i costi.

Per integrare e aggiornare il P.R.A., redatto ai sensi del D.M. 29/11/00, prendendo in considerazione i risultati della mappatura acustica, si è proceduto nel seguente modo:

1. sono stati individuati i ricettori particolarmente sensibili nelle fasce 'A' e 'B' di pertinenza ferroviaria e i rimanenti ricettori in fascia 'A', con livelli sonori che, successivamente all'aggiornamento dei dati di traffico, effettuato per la mappatura acustica ai sensi del D. Lgs. 194 del 19/08/05, superavano i limiti previsti dal D.P.R. n. 459 del 18/11/98;
2. tra questi sono stati considerati solo i ricettori che risultavano prospicienti a tratti di infrastruttura, non ancora interessati da interventi previsti dal piano di risanamento ai sensi del D.M. 29/11/00;
3. per questi ricettori è stato previsto una nuova opera di mitigazione con interventi diretti sui ricettori o barriere antirumore, in base dalle seguenti prerogative:
 - per i ricettori a distanza reciproca inferiore a 200 m è stata prevista una barriera che gli schermasse tutti;
 - per i ricettori a distanza inferiore a 200 m da un ricettore su cui era stato già pianificato un intervento diretto, si è provveduto a sostituire l'intervento diretto con una nuova barriera che schermasse anche gli altri ricettori.

Al termine di questa fase, gli interventi di risanamento acustico per gli assi ferroviari principali, con più di 60.000 convogli all'anno, sono risultati in totale 1.107 (303 inclusi negli agglomerati con più di 250.000 abitanti e 804 al di fuori di essi), di cui 774 barriere antirumore (229 all'interno degli agglomerati con più di 250.000 abitanti e 545 al di fuori di essi) e 333 interventi diretti ai ricettori (74 facenti parte degli agglomerati con più di 250.000 abitanti e 259 al di fuori di essi), come riportato in Tabella 22.

Tabella 22 - *Interventi di risanamento acustico per gli assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno, stimati da R.F.I. S.p.A. comprensivi di quelli già indicati in Tabella 21*

Barriere antirumore	Interventi diretti su ricettori isolati	Luogo interventi
229	74	All'interno degli agglomerati con più di 250.000 abitanti
545	259	Fuori dagli agglomerati con più di 250.000 abitanti

Gli interventi riportati in Tabella 22 possono essere suddivisi in 3 categorie:

1. gli interventi previsti dal Piano di contenimento e abbattimento del rumore ai sensi del D.M. 29/11/00, trasmesso agli enti competenti nel dicembre 2003, che non presentano modifiche (I Categoria);
2. gli interventi che riguardano, invece, una revisione del Piano di contenimento e abbattimento del rumore, ai sensi del D.M. 29/11/00, in seguito a segnalazioni da parte degli enti locali di nuovi recettori o cambiamenti dello scenario acustico, successivamente alla presentazione del piano nel dicembre 2003 (II Categoria);
3. i nuovi interventi, relativi all'aggiornamento del Piano di contenimento e abbattimento del rumore, dovuti al recepimento delle nuove prescrizioni del D. Lgs. n.194 del 19/08/05 (III Categoria).

Nella tabella seguente sono riportati gli interventi relativi alle tre categorie elencate precedentemente.

Tabella 23 - *Categorie degli interventi del Piano di Azione di R.F.I S.p.A.*

	Barriere antirumore	Interventi diretti sui ricettori
Categoria I	664	275
Categoria II	35	9
Categoria III	75	49

L'attuazione degli interventi previsti dal Piano di Azione provoca una riduzione percentuale del numero di persone esposte a livelli di L_{DEN} superiori a 55 dB(A) e a livelli di L_{NIGHT} superiori a 45 dB(A) stimabile, rispettivamente, nel 77% e nel 66%.

Il Piano di Azione di R.F.I. è stato reso disponibile per la consultazione del pubblico sul sito internet, all'indirizzo <http://www.rfi.it/pianodazione.htm>. In questo modo, il pubblico ha potuto individuare gli eventuali interventi di mitigazione acustica di proprio interesse, in termini di localizzazione sul territorio, di loro programmazione temporale e di caratteristiche tecniche.

Le osservazioni pervenute dai cittadini a seguito della pubblicazione del Piano di Azione sono state catalogate seguendo lo schema in Tabella 24:

Tabella 24 - *Esempio di schema di catalogazione delle osservazioni al Piano di Azione di R.F.I. S.p.A*

N° prog. Oss.	Regione	Comune	Soggetto proponente	Data Osservazione	Oggetto della osservazione	Sintesi della osservazione
---------------	---------	--------	---------------------	-------------------	----------------------------	----------------------------

2.2.4 Integrazione tra Piani Comunali di Risanamento Acustico e Piani di Azione

A distanza di quasi quattro anni dall'uscita del Decreto italiano di recepimento della Direttiva 2002/49/CE, l'integrazione tra la Direttiva Europea 2002/49/CE e la Legge Quadro n. 447 del 26/10/95 risulta ancora particolarmente difficoltosa, in quanto si tratta di due sistemi legislativi che, pur avendo finalità simili, si differenziano dal punto di vista dei soggetti interessati, dell'oggetto trattato, dei parametri utilizzati.

La Legge Quadro n. 447 del 26/10/95 ed il D. Lgs. n. 194 del 19/08/05 presentano, infatti, la finalità comune di prevenire e ridurre l'inquinamento acustico, ma si prefiggono obiettivi differenti.

La Legge italiana definisce i limiti da rispettare, le azioni di vigilanza da compiere e gli interventi di risanamento da intraprendere, solo in caso di superamento dei limiti fissati da un apposito decreto attuativo (D.P.C.M. 14/11/97).

La Direttiva Europea 2002/49/CE mira, invece, a definire un approccio comune volto ad evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi dell'esposizione al rumore ambientale, qualsiasi esso sia, senza un chiaro riferimento al superamento dei limiti. La Direttiva ha, dunque, come obiettivo il contenimento dell'esposizione al rumore della popolazione, indipendentemente dal rispetto dei limiti che gli Stati Membri stabiliscono.

L'approccio della Direttiva si presenta, quindi, come sottolineato da A. Callegari e M. Poli in *Il recepimento italiano della Direttiva 2002/49/CE*, totalmente diverso da quello del controllato-controllatore tipico della Legge Quadro e, in più, aggiunge un processo ritenuto molto importante, quello dell'informazione della popolazione, sia

sui livelli di esposizione che sugli effetti nocivi del rumore a tali livelli e quello della diretta partecipazione del pubblico ai processi di stesura della mappatura acustica e dei Piani d'Azione.

E' già stato osservato che, per quanto riguarda i piani di intervento da adottare, la normativa italiana parla di Piani di Risanamento, mentre la normativa europea di Piani di Azione. Un Piano di Risanamento Acustico è un piano che ha lo scopo di stabilire le modalità ed i metodi con cui i soggetti "produttori" di rumore lo riconducono entro i limiti ammessi dal Piano Comunale di Classificazione Acustica.

Il Piano di Risanamento Acustico, previsto dalla Legge Quadro, prevede che i Comuni e le aziende di trasporto individuino le criticità acustiche e stabiliscano gli interventi per eliminarle, i tempi ed i modi di attuazione e la necessaria copertura finanziaria, una volta valutata l'entità del superamento dei limiti ed il beneficio connesso al risanamento acustico.

I Piani di Azione introdotti dalla Direttiva introducono l'obbligo per gli Stati Membri di avviare un processo di gestione, miglioramento e di contenimento dell'inquinamento acustico.

Nasce a questo punto, ai fini dell'implementazione della Direttiva nell'ambito della legislazione italiana, l'esigenza di specificare in modo dettagliato quale sia il ruolo dei Piani di Risanamento, voluti dal D.M. 29/11/00, e dei Piani di Azione, per capire come essi si integrano tra loro e se i Piani di Risanamento possano essere totalmente sostituiti dai neoprodotti Piani di Azione.

L'abrogazione dei disposti normativi, attualmente previsti dalla L. n. 447 del 26/10/95, per sostituirli con quanto fissato dalla Direttiva Europea, comporterebbe una serie di problematiche.

Secondo la normativa italiana, i Comuni hanno l'obbligo di predisporre ed attuare un Piano di Risanamento. a seguito della Classificazione Acustica del territorio, qualora sia verificato il superamento dei valori di attenzione e/o sia verificato il contatto di aree, con valori limite che differiscono più di 5 dB(A).

Secondo la Direttiva, invece, i Piani d'Azione verrebbero limitati unicamente ai principali agglomerati urbani, caratterizzati da una popolazione superiore alle 100.000 unità. Quindi le ricadute della nuova normativa europea, sul contenimento del rumore nei centri abitati sarebbero assai limitate, in quanto alcune prime elaborazioni rivelano che gran parte della popolazione italiana potrebbe non essere interessata dalla Direttiva, in considerazione della struttura urbanistica nazionale, caratterizzata dalla diffusa presenza di piccoli nuclei abitati lungo le strade extraurbane e da un elevato numero di persone residenti in città che, comunque, mantengono media o piccola dimensione.

Altro aspetto da evidenziare è che i termini temporali, attualmente previsti dalla L. n. 447 del 26/10/95 per la predisposizione dei Piani di Risanamento, verrebbero rimandati, in funzione delle successive scadenze fissate dalla Direttiva.

Tabella 25 - *Soggetti e tempi per la predisposizione dei P.R.A. (L. n. 447 del 26/10/95) e dei P.d.A (Direttiva Europea 2002/49/CE)*

Soggetto		Predisposizione del Piano di Risanamento Acustico (L.447/95)	Predisposizione del Piano d'Azione (Direttiva EU 2002/49/CE)
Centri abitati	Comuni con popolazione superiore ai 100.000 ab.	Obbligatorio per tutti. Entro 12 - 30 mesi dall'adozione del Piano di Classificazione Acustica	Solo se in un agglomerato urbano principale (con popolazione superiore ai 100.000 ab.)
	Comuni con popolazione compresa tra 100.000 e 250.000 ab.		Obbligatorio per tutti. Entro il 18 luglio 2013
	Comuni con popolazione superiore ai 250.000 ab.		Obbligatorio per tutti. Entro il 18 luglio 2008
Infrastrutture stradali	N. veicoli/anno inferiore ai 3 milioni	Obbligatorio per tutte. Entro giugno 2007	Nessuna
	3 < N. veicoli/anno < 6 (milioni)		Obbligatorio per tutte. Entro il 18 luglio 2013
	N. veicoli/anno superiore ai 6 milioni		Obbligatorio per tutte. Entro il 18 luglio 2008
Infrastrutture ferroviarie	N. convogli/anno superiore ai 30.000	Obbligatorio per tutte. Entro febbraio 2004	Nessuna
	30 < N. convogli/anno < 60 (migliaia)		Obbligatorio per tutte. Entro il 18 luglio 2013
	N. convogli/anno superiore ai 60.000		Obbligatorio per tutte. Entro il 18 luglio 2008
Aeroporti	N. movimenti/anno Superiore ai 50.000	Obbligatorio per tutti. Entro 36 mesi dall'individuazione delle fasce di rispetto	Obbligatorio per tutti. Entro 18 luglio 2008

Il Piano di Azione previsto dalle norme europee è piuttosto uno strumento di livello superiore, che punta ad una riduzione dell'inquinamento acustico generalizzata.

In esso, non sono indicati solo i dettagli tecnici per affrontare il problema, ma anche le strategie complessive e le politiche di riduzione del rumore: è essenzialmente un piano di indirizzo che soddisfa i requisiti di *reporting* richiesti dalla Comunità Europea.

Il Piano Comunale di Risanamento Acustico è invece un piano urbanistico attuativo, che assunti gli indirizzi generali espressi in sede europea, entra nel dettaglio tecnico-pratico, per descrivere le azioni di bonifica acustica.

Molti dei requisiti dei Piani di Azione costituiscono anche i requisiti dei Piani di Risanamento, ma ad un diverso livello di dettaglio.

Come accennato precedentemente: nel Piano di Azione non sono richiesti i dettagli tecnici (ad esempio, il dimensionamento e la tipologia delle barriere acustiche o altro), ma risulta fondamentale riportare le politiche e le strategie con cui si vuole intervenire per la riduzione dell'inquinamento acustico nella zona ed una sintesi degli elementi tecnici che esplichino la scelta delle strategie adottate. In generale, gli interventi proposti dovranno essere fondati su appropriati studi antecedenti, che mostrino i benefici che potrebbero derivare dalla loro adozione.

Per gli agglomerati e le infrastrutture principali (soggetti al D. Lgs. n. 194 del 26/10/05), una soluzione per coordinare e armonizzare le due tipologie di piano, può essere quella di considerare il Piano di Azione ed il Piano di Risanamento come due livelli diversi di approfondimento di una stessa procedura, come suggerito da Callegari A. e Poli M. in *Il recepimento italiano della Direttiva 2002/49/CE*.

In quest'ottica, le due normative possono apparire dunque più complementari che antitetiche.

2.3 I Piani di Azione passo per passo

Segue ora una traccia, suddivisa in vari passi, per individuare i principali stadi da affrontare nella definizione di un Piano di Azione, facendo riferimento principalmente alla norma UNI/TR 11327 (*Criteri per la predisposizione dei piani di azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico e i relativi effetti*) e al progetto SILENCE - *Local noise action plans*, di cui si possono trovare tutte le informazioni al sito www.silence-ip.org.

2.3.1 Passo 1: responsabilità e competenze

Scopo: definire un gruppo leader, con opportune capacità e competenze, che

rappresenti tutti gli attori del Piano e i suoi destinatari e si confronti con tutte le istituzioni interessate.

Un'ottima soluzione è quella di creare una struttura permanente dedicata al problema del inquinamento acustico (ad es. un osservatorio mirato esclusivamente alle problematiche che riguardano l'inquinamento acustico), che aiuti i vari possibili destinatari, dando le informazioni necessarie, fornendo assistenza tecnica e compiendo addirittura misurazioni; una struttura, dunque, che coordini tutte le parti in causa e che segua l'intero processo di redazione del Piano.

È necessario disporre agli inizi della redazione del Piano di uno schema dei lavori che contenga:

- i passi principali del processo di redazione;
- quali sono i partners da coinvolgere e in quale fase del processo;
- la struttura organizzativa dettagliata (quali i gruppi di lavoro sui diversi argomenti, quali i diversi comitati ecc);
- i calendari per la pubblica consultazione;
- il programma logico-temporale per la definizione del Piano.

Un modo per risparmiare risorse economiche è lavorare in sinergia per scopi analoghi; ad esempio, assumendo determinati provvedimenti, potrebbe essere possibile combattere il rumore e, contemporaneamente, migliorare la qualità dell'aria in un centro urbano.

Occorre, inoltre, valutare l'effetto del mancato risanamento protratto nel tempo, cioè i costi generati dal rumore non mitigato: sintomatologie croniche, cure mediche, deprezzamento degli immobili ecc.

Per questo argomento si veda il Paragrafo 2.3.6.2 - Costi e il Paragrafo 2.3.6.3. - Benefici.

2.3.2 Passo 2: descrizione e controllo della situazione esistente

Scopo: approfondire, nel contesto attuale, le problematiche legate al rumore come base conoscitiva per le future pianificazioni.

È la fase di acquisizione dati, in cui si confronta la situazione acustica esistente con le leggi e le norme vigenti in tale contesto.

Occorre dunque reperire le informazioni relative a:

1. i limiti vigenti;
2. le misurazioni del rumore, in aggiunta ai risultati delle mappe acustiche;
3. i conflitti emersi dall'analisi delle mappature;

4. i progetti già in atto per ridurre il rumore, in modo da creare una sinergia tra i diversi interventi previsti.

È bene avere una buona conoscenza di base delle norme che regolano le emissioni sonore in una determinata zona, a partire dal recepimento di quelle europee, fino alle nazionali e regionali.

Bisognerebbe inoltre raccogliere tutte le informazioni rilevanti sul tema, a partire da uno studio dell'esposizione al rumore dei cittadini e della percezione cittadini che essi ne traggono, ad uno studio approfondito delle caratteristiche di emissività delle sorgenti, riferendosi ai nuovi descrittori acustici europei stabiliti introdotti dalla END.

2.3.3 - Passo 3: individuazione e analisi delle criticità

Scopo: definire una criticità acustica, localizzarla e ipotizzare la potenziale riduzione del rumore o i conflitti futuri che potrebbero verificarsi.

La fase di ricognizione delle criticità acustiche è finalizzata ad evidenziare quali sono:

- i luoghi che richiedono un intervento di diminuzione dei livelli di inquinamento acustico, ovvero le aree critiche;
- le aree di quiete dove il clima acustico è tuttora buono e pertanto da difendere. [Cfr. Capitolo 6 - Le aree quiete].

La ricognizione delle criticità è effettuata a partire dai dati e dai risultati ottenuti nel processo di mappatura acustica del territorio comunale, in relazione agli specifici ricettori e sorgenti, stabilendo opportune soglie d'intervento e criteri di priorità.

Attualmente le indicazioni, reperite nella normativa, che definiscono le criticità (*hot spots*) sono abbastanza blande: “aree in cui vengono superati i valori limite”, “aree ad alta densità di popolazione con rumore elevato”: entrano dunque in gioco gli alti livelli di esposizione al rumore, combinati con la forte densità di popolazione o con la specifica tipologia della zona (zona attraversata da particolari infrastrutture).

Una possibile soluzione nell'identificazione degli *hot spot* può venire dalla sovrapposizione della mappa dei livelli sonori esistenti (calcolati o misurati) con quella dei limiti. In caso di superamento, si segnala una zona di conflitto.

Tali zone di superamento vengono riportate nella *conflict map* (mappa dei conflitti), la quale però non dà alcuna indicazione sulla entità di popolazione coinvolta in tali scenari.

Per stabilire un ordine di priorità di intervento, occorre quantificare il numero di persone esposte ad eccessivo rumore ambientale nelle diverse zone di conflitto.

Nella redazione di un Piano di Azione è molto importante, secondo quella che è la linea d'indirizzo della Direttiva 2002/49/CE, quantificare il numero di persone esposte prima degli interventi previsti e stimare quante ancora lo saranno dopo aver intrapreso le misure di mitigazione idonee.

Occorrerebbe contemplare, inoltre, più ampiamente, oltre che il solo superamento dei limiti, anche la risposta specifica data al rumore dalla popolazione che vive nella zona in considerazione e le indicazioni da essa fornite.

Infatti, più che l'entità dei livelli sonori, contano i diversi spettri del rumore, risulta dunque utile avvalersi dei risultati della psico-acustica, una scienza sperimentale che cerca di approfondire la conoscenza dei fenomeni sonori, in relazione al soggetto che li percepisce. I suoni infatti, oltre ad essere studiati da un punto di vista fisico, quindi oggettivo, in base alla frequenza, alla lunghezza d'onda e all'intensità, possono essere interpretati anche da un punto di vista soggettivo: quando un suono giunge all'orecchio umano, in genere il cervello umano lo interpreta, come sensazione, che può essere più o meno gradevole e per tanto influire sullo stato d'animo del ricevitore.

Per raggiungere questo tipo di conoscenza della risposta soggettiva dell'esposto, è possibile fare delle interviste o dei sondaggi di popolazione, magari facendo uso dei cosiddetti *sound-walkers*, operatori dotati di microfoni binaurali che registrano in stereo, per ricostruire il *soundscape*, il “paesaggio sonoro”, ovvero l'insieme di elementi acustici che contraddistinguono i luoghi naturali ed urbani e che ne compongono l'esclusiva colonna sonora, così come “sentita” dall'orecchio umano.

2.3.3.1 Caratterizzazione degli insediamenti abitativi

La caratterizzazione della situazione acustica degli insediamenti abitativi si può dedurre attraverso le mappe acustiche infrastrutturali introdotte dal D. Lgs. 194 del 19/08/05 e dalla Direttiva 2002/49/CE.

Esse, definite come rappresentazioni di dati, relativi ad una situazione di rumore esistente o prevista, permettono anche di evidenziare il superamento di pertinenti valori limite vigenti, il numero di persone, o il numero di abitazioni, esposte a determinati livelli sonori per singola sorgente.

La mappa acustica strategica viene, invece, predisposta ai fini della determinazione globale dell'esposizione al rumore in una certa zona, a causa del concorso di varie sorgenti, ovvero alla definizione di previsioni generali e generalizzate dell'inquinamento acustico.

Tabella 26 - *Fasce di rumore e conseguente risposta della popolazione*

L_{DEN}	L_{NIGHT}	Descrizione
50-54 dB	40-44 dB	Rumore generalmente considerato non fastidioso in area urbana.
55-59 dB	45-49 dB	Rumore generalmente fastidioso in area urbana.
60-64 dB	50-54 dB	Rumore generalmente considerato fastidioso, ma tipicamente non in area urbana.
65-69 dB	55-59 dB	Rumore generalmente considerato molto fastidioso anche in area urbana.
70-74 dB	60-64 dB	Rumore considerato indesiderabile.
≥ 75 dB	≥ 65 dB	Al crescere del rumore oltre queste soglie, gli effetti diventano molto significativi, anche in termini di patologie sul lungo termine.

2.3.3.2 Individuazione dei ricettori sensibili

La Direttiva Europea riguarda *il rumore ambientale a cui è esposto l'essere umano, in particolare nelle zone edificate, nei parchi pubblici o in altre zone silenziose degli agglomerati, nelle zone silenziose in aperta campagna, nei pressi delle scuole, degli ospedali e di altri edifici e zone particolarmente sensibili al rumore*, questi ultimi luoghi sono ovviamente ritenuti di maggior sensibilità acustica e per tanto più vulnerabili.

D'altronde già la Legge Quadro n. 447 del 26/10/95 obbligava a produrre una *valutazione previsionale di clima acustico* per una serie di ricettori sensibili, quali scuole e asili nido, ospedali, case di cura e riposo, parchi pubblici urbani ed extraurbani, nuovi insediamenti residenziali vicini alle infrastrutture.

Sul territorio italiano zonizzato, sono, comunque, i limiti vigenti della classe acustica di appartenenza che assegnano implicitamente una sorta di particolare "sensibilità" ad ogni classe, dalle aree più protette a quelle più rumorose di carattere industriale.

2.3.3.3 Determinazione dei livelli di rumore ai ricettori

Per quanto riguarda la determinazione dei livelli sonori ai ricettori si consiglia di seguire la procedura proposta dal documento *Indicazioni operative per la costruzione dell'indicatore "Popolazione esposta al rumore"*, in riferimento alla *Direttiva Europea 2002/49/CE*, di G. Brambilla, A. Poggi e G. Licitra, 2005.

Tale indicatore viene dapprima popolato suddividendo i contributi all'esposizione per singole tipologie di sorgente: strade, ferrovie, aeroporti, insediamenti industriali.

All'interno di queste grandi categorie, si suddividono i contributi dati dai differenti gestori o responsabili delle infrastrutture (ad es. per le strade: autostrade, strade statali, provinciali, comunali ecc.).

Successivamente, viene determinato il livello sonoro prodotto dall'insieme delle sorgenti di specifica gestione, trascurando quelle che, nell'elaborazione precedente si sono valutate come ininfluenti, ovvero tali da produrre un livello sonoro inferiore di 10 dB(A) o più, di quello generato dalle altre.

In seguito, si assegna agli edifici esposti il livello sonoro massimo relativo al rumore complessivo e alla facciata più esposta.

1) Le infrastrutture stradali

I modelli di simulazione, comunemente utilizzati per modellizzare il rumore generato dalle infrastrutture stradali, prevedono che sia data una classificazione delle infrastrutture stesse, funzionale al processo di simulazione del rumore nella zona in cui esse insistono.

Nel caso delle infrastrutture veicolari, il processo di classificazione in base alle diverse variabili che caratterizzano le pavimentazioni stradali è molto complesso. Spesso si è costretti a giungere ad un giusto compromesso tra una classificazione fine, con molte variabili, e la possibilità di operare in tempi ragionevoli.

In ogni caso, ogni modello prevede un processo di validazione, con una verifica a campione, che permetta di ottimizzare la scelta delle categorie.

In genere le variabili usate nella modellazione delle strade sono:

- la tipologia del traffico della strada, che non coincide meramente col numero di auto normalmente presenti, ma tiene conto anche della congestione del traffico;
- la geometria della strada, con sezione a U, ad L, o aperta;
- il tipo di pavimentazione;
- la pendenza della strada;
- il numero di corsie;
- la presenza di semafori;
- la presenza del passaggio di linee di trasporto pubblico;
- la tipologia delle aree che essa delimita (centro storico, zone a traffico limitato);
- la tendenza dei flussi di traffico, in particolari giorni, stagioni o comunque sul lungo termine.

Facendo uso di un metodo statistico, si possono seguire le seguenti fasi, per l'attribuzione di un livello sonoro di emissione a tronchi di strada in centro urbano:

- 1) selezionare l'area alla quale applicare il metodo, ovvero individuare le aree escluse dall'applicazione, perché considerate extraurbane;
- 2) individuare un insieme di variabili, che siano facilmente definibili a priori e che risultino correlate ai livelli di rumorosità presenti nelle strade dell'area in esame;
- 3) selezionare un campione di strade, opportunamente giustificato, nel quale eseguire misure di livello sonoro a bordo strada. Sulla base di esse, sarà stimato il contributo attribuito a di ciascuna variabile;
- 4) verificare tramite test di significatività le variabili di stima ritenute significative;
- 5) attribuire a tutte le strade un opportuno livello sonoro a bordo strada, sulla base dei valori assunti dalle variabili di stima significative, assegnate a priori a ciascuna di esse.

Sempre secondo il documento appena citato, per tenere conto della variabilità dei livelli sonori presenti sulla facciata dei diversi appartamenti, aventi il numero civico nella stessa strada, è necessario considerare i seguenti fattori:

- la vicinanza dell'edificio ad un'altra strada, diversa da quella del numero civico, avente livello sonoro più elevato;
- l'ubicazione dell'appartamento ad un piano elevato;
- la presenza di una distanza considerevole tra l'edificio e il bordo strada;
- la collocazione dell'appartamento in posizione schermata da altri edifici rispetto alla strada.

Per ciascuno di questi fattori è stimabile un preciso effetto sul livello sonoro sulla facciata più esposta, a partire dal livello presente sulla porzione di infrastruttura alla quale si riferisce il numero civico.

Tabella 27 - Alcune delle possibili correzioni ai livelli sonori a bordo strada per valutare l'esposizione del recettore in differenti collocazioni (da Brambilla G., Poggi A., Licitra G., *Indicazioni operative per la costruzione dell'indicatore "Popolazione esposta al rumore"* in riferimento alla Direttiva Europea 2002/49/CE, 2005)

Caratteristica dell'appartamento	Correzione del livello a bordo strada in dB(A)
Appartamento ad un piano alto (superiore al secondo)	- 3,5
Edificio distante dal bordo strada (valore compreso tra una e due volte la larghezza della strada)	- 3
Edificio molto distante dal bordo strada (più di due volte la larghezza della strada)	- 7
Edificio schermato rispetto alla strada	- 10
Edificio di strada locale esposto al rumore di una strada vicina interquartiere	+ 9 (giorno) + 10,5 (notte)
Edificio di strada locale esposto al rumore di una strada vicina principale	+ 10,6 (giorno) + 12,1 (notte)

2) Le infrastrutture ferroviarie

Anche le infrastrutture ferroviarie rappresentano una sorgente di rumore lineare. In questo caso, però, la situazione si presenta più semplice, dato che l'emissività può essere assunta costante, anche per tratti molto lunghi, (al contrario delle strade, dove la variabilità delle emissioni è altissima, a seguito di un'estrema variabilità delle situazioni contingenti).

Le variabili principali da analizzare per la modellazione della sorgente sono:

- le tipologie dei treni;
- la velocità di percorrenza;
- le caratteristiche dell'armamento.

Procedendo tramite misurazioni dirette, è facile isolare la sorgente ferroviaria dalle altre sorgenti presenti nella zona, grazie al particolare spettro di rumore che caratterizza il passaggio di un convoglio. Per la misurazione del rumore ferroviario si fa riferimento all'apposito allegato C del D.M. 16/3/98.

Dai risultati, della mappatura acustica strategica del rumore ferroviario emerge che, generalmente, le aree dove il livello di rumore diurno supera i 55 dB(A) e quello notturno i 45 dB(A), siano superiori all'ampiezza delle fasce di pertinenza acustica ferroviaria (250 m a partire dalla mezzera dei binari esterni, per ciascun lato della linea ferroviaria, secondo l'Art.3 comma 1 del D.P.R. n.459 del 18/11/98), e coprano distanze all'interno delle quali non è facile conseguire una stima modellistica dei livelli sonori con sufficiente accuratezza.

2.3.3.4 Individuazione della popolazione esposta al rumore

Secondo i suggerimenti del documento *Indicazioni operative per la costruzione dell'indicatore "Popolazione esposta al rumore"*, in riferimento alla *Direttiva Europea 2002/49/CE*, la stima della popolazione esposta a rumore può avvenire attraverso diverse metodologie.

1) Popolazione esposta al rumore provocato dalle infrastrutture stradali

Vengono suggeriti tre metodi (indicati a seguire con A, B e C), che si basano tutti sul presupposto fondamentale che sia disponibile una cartografia digitale aggiornata.

A) Si sovrappone la planimetria delle sezioni censuarie (preferibilmente dell'ultimo censimento ISTAT) con le curve di isolivello sonoro.

La popolazione esposta a livelli superiori a una certa soglia prefissata si può ottenere da:

- dalla popolazione residente inclusa nelle sezioni censuarie la cui superficie ricada interamente nelle fasce di superamento della soglia (è il caso della sezione A in Figura 3);
- dalla percentuale della popolazione residente nelle sezioni censuarie, la cui superficie ricada parzialmente nelle fasce di superamento della soglia, proporzionale alla frazione di superficie della sezione, intercettata dalla fascia di superamento (caso delle sezioni censuarie B e C in Figura 3).

Figura 3 - Esempio della procedura semplificata per la stima della popolazione esposta al superamento di predefiniti livelli sonori (da Brambilla G., Poggi A., Licitra G., *Indicazioni operative per la costruzione dell'indicatore "Popolazione esposta al rumore" in riferimento alla Direttiva Europea 2002/49/CE*)



L'assunto per l'applicazione di questa procedura semplificata è che l'ambito territoriale all'interno delle curve di isolivello sia edificato in modo uniforme. Questa procedura, dunque, diventa poco attendibile dove, ad esempio, vi sia un corridoio non edificato intorno all'infrastruttura stradale, dato che la distribuzione della popolazione non risulta omogenea. Al contrario, si può verificare anche il caso opposto, dove si evidenziano strade particolarmente "attrattive" e quindi caratterizzate da un edificato più denso della media.

B) È un affinamento del primo metodo: consiste, come primo passo, nell'individuazione degli edifici a uso residenziale sulla Carta Tecnica Regionale 1:10.000; vengono poi sommate le aree degli edifici residenziali per ciascuna sezione di censimento e calcolata la densità abitativa per ogni sezione, solo in base all'edilizia residenziale. Selezionando poi gli edifici in cui si ha superamento, si moltiplica la densità abitativa ottenuta per la superficie di sezione intercettata, stimando così il numero di persone esposte in ogni edificio. Per affinare il metodo è possibile, tenendo conto dell'altezza degli edifici, calcolare la densità di popolazione volumetrica, anziché areale.

C) Questo metodo considera gli edifici più vicini all'infrastruttura come schermi acustici per quelli circostanti. Questo succede, in particolare, quando si hanno facciate continue lungo le infrastrutture. Si considerano dunque soltanto gli edifici ricadenti

nella fascia di superamento che risultano non protetti dagli altri edifici. Questo metodo, al contrario dei precedenti, comporta anche un intervento manuale, nella scelta degli edifici ‘giusti’. Talvolta questo ultimo metodo indicato può comportare una sottostima della popolazione esposta per zone non densamente abitate, mentre si rivela assai più attendibile, rispetto ai precedenti, in caso di edificato denso.

In genere, si preferisce usare il secondo metodo fra quelli illustrati, tenendo conto della densità volumetrica, riferita all'altezza in gronda dell'edificio.

Tale metodo, è comunque raffinabile mediante l'impiego di una carta dei numeri civici, da associare a ciascun edificio, risalire risalendo quindi al numero dei residenti reali, attraverso i dati dell'anagrafe comunale. Un ulteriore passo di affinamento consiste nel differenziare i livelli sonori a seconda dei piani dell'edificio, tenendo conto che in quelli destinati ad uffici non ci sono esposti nel periodo notturno.

Sulla base dei dati dell'anagrafe comunale, è dunque possibile stabilire quali siano i residenti per singolo edificio (numero civico) o addirittura per unità immobiliare. Incrociando questi dati con le banche dati sulle tassazioni comunali (ICI, tassa sui rifiuti urbani, ecc) è possibile avere una stima ancora più precisa della popolazione esposta al rumore.

Si ricorda che, per la normativa europea, il dato sulla popolazione esposta è indipendente dalla presenza di facciate silenziose o dalla disposizione dei vani all'interno delle unità abitative: la END richiede che la stima della popolazione esposta debba limitarsi alla facciata più esposta dell'edificio, alla specifica sorgente sonora d'interesse. Essendo assegnata l'intera popolazione dell'edificio alla facciata più esposta, la Direttiva sovrastima notevolmente la situazione reale di esposizione.

Occorrerebbe, pertanto, ricorrere ad una modellazione più realistica, procedendo al calcolo del livello sonoro per una serie di ricettori dislocati lungo le diverse facciate dell'edificio, ad esempio equidistanti di 10 m o almeno collocando sempre un ricettore tra due spigoli. La popolazione, in questo modo, risulta leggermente sottostimata, nei casi di edifici molto alti o molto lunghi, ma la differenza dal valore vero è minore che nel caso della rilevante sovrastima ottenibile col metodo suggerito dalla Direttiva, che risulta, di certo, più cautelativo.

2) Popolazione esposta al rumore provocato dalle infrastrutture ferroviarie

Il procedimento è analogo a quello delle infrastrutture stradali, tenendo conto, però, che, in area urbana, spesso è presente una fascia di rispetto priva di costruzioni tra l'infrastruttura ferroviaria e gli edifici prospicienti.

2.3.3.5 Individuazione delle aree critiche

L'analisi del clima acustico di una zona deve considerare tutte le sorgenti ivi presenti). Se i livelli sonori delle sorgenti sono calcolati mediante diversi modelli, occorre integrarli, formando così una mappa acustica che fornisca la situazione complessiva.

Secondo la norma UNI/TR 11327 *Criteri per la predisposizione dei Piani di Azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico ed i relativi effetti* i ricettori da indagare possono essere costituiti da:

- edifici abitativi;
- edifici sensibili (scuole, ospedali, case di cura o riposo ecc.);
- luoghi ed edifici per attività ricreative, culturali e religiose;
- aree protette;
- parchi pubblici.

I ricettori che superano i valori limite sono considerati aree critiche, cioè parti di territorio bonificabili con futuri interventi di risanamento.

Le sorgenti che determinano il superamento di un valore limite, presso uno o più ricettori, vengono definite sorgenti critiche. Queste ultime rappresentano porzioni di infrastrutture (o di aree produttive) per le quali è necessario predisporre un intervento di risanamento.

Aree e sorgenti critiche sono in relazione tra di loro, non sempre biunivoca. Ad una sorgente critica possono essere correlate una o più aree critiche; ad un'area critica possono essere correlate una o più sorgenti critiche.

Le criticità delle infrastrutture di trasporto (strade, ferrovie, aeroporti ...) vengono trattate in modo diverso a seconda che entrino negli agglomerati urbani o siano invece in territorio extraurbano, sia nella fase di individuazione, che in quella di risanamento acustico.

Per l'individuazione delle aree di superamento dei limiti è propedeutico il calcolo dei livelli di soglia (LS) dovuti alla concorsualità di più sorgenti di traffico inserito nell'Allegato 4 del D.M. del 29/11/00. LS è definito dalla seguente relazione:

$$LS = L_{ZONA} - 10 \log_{10} N$$

dove N rappresenta il numero di sorgenti interessate dal risanamento.

Generalmente, la determinazione di LS viene eseguita secondo l'Allegato 4, nei casi in cui il ricettore sia contenuto in fasce di pertinenza aventi gli stessi limiti, mentre nei casi in cui il ricettore sia contenuto in fasce di pertinenza con limiti differenti, (L1, L2), viene utilizzata una procedura che dà luogo ad una riduzione del livello sonoro d'emissione relativo alle singole sorgenti (ΔL_{eq}), ottenuta in modo da soddisfare la

seguente equazione:

$$10 \log_{10} [10^{(L_{i1}-\Delta L_{eq})/10} + 10^{(L_{i2}-\Delta L_{eq})/10}] \leq \max (L1, L2)$$

L'esempio vale per due sorgenti diverse, aventi diversi valori limite; L_{i1} e L_{i2} rappresentano i livelli sonori emessi dalle due diverse sorgenti che hanno limiti di immissione L1 e L2.

L'Allegato 1 del D.M. del 29/11/00 stabilisce che le aree critiche A_i siano aree rappresentative di un insieme di edifici contigui, caratterizzati da livelli sonori che superano i limiti di zona o di fascia, con una variabilità del livello sonoro, sulla facciata più esposta, compresa entro 3 dB(A).

Lo stesso Allegato definisce il grado di priorità degli interventi P con la relazione:

$$P = \sum R_i (L_i - L_i^*)$$

dove R_i rappresenta il numero di ricettori coinvolti dal risanamento, L_i il livello sonoro effettivamente registrato e L_i^* il limite pertinente.

La determinazione di P risente della procedura di valutazione della concorsualità delle sorgenti, quindi della determinazione del livello di soglia L_s (ovvero L_i^*); mentre la determinazione del grado di priorità globale, riferito alle aree critiche A_i , risente del criterio di aggregazione applicato per la perimetrazione delle aree stesse.

Queste procedure vanno ad incidere sulla valutazione delle attività di risanamento da ascrivere a più sorgenti sonore singolarmente secondo il citato decreto D.M. 29/11/00, (P_j):

$$P_j = \frac{10^{(\delta L_j/10)}}{\sum_i^N 10^{(\delta L_j/10)}} * 100$$

dove i δL_j sono i decrementi totali di livello sonoro provocati dall'intervento.

2.3.3.6 Studio delle infrastrutture di trasporto principali

La ricognizione delle criticità acustiche, lungo un'infrastruttura di trasporto principale, si svolge attraverso le seguenti fasi:

1) Determinazione dei livelli di immissione ai ricettori nell'area oggetto di studio.
I livelli di immissione ai ricettori, secondo la citata UNI/TR 11327 ("Criteri per la

predisposizione dei piani di azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico e i relativi effetti”), sono valutati nei punti di maggiore criticità, in corrispondenza delle facciate più esposte degli edifici, utilizzando gli indicatori L_{DEN} ed L_{NIGHT} . I livelli sono calcolati in corrispondenza dei diversi piani dell’edificio (compresa la quota di riferimento a 4 m), o almeno al piano più esposto. All’intero edificio viene assegnato, dunque, il massimo livello riscontrato sulla facciata più esposta.

Nelle aree non edificate, i livelli sonori vengono riferiti ad un’altezza di 1,5 m rispetto al terreno.

2) Individuazione dei conflitti esistenti (superamento dei limiti di immissione vigenti). Occorre confrontare i valori di L_{DEN} ed L_{NIGHT} assegnati agli edifici con i limiti di rumore stabiliti dalla legislazione vigente. Il superamento dei limiti individua un conflitto. Si assegna a ogni edificio, o area non edificata, il maggiore tra i valori di conflitto individuati (diurno o notturno). I dati vengono riportati nelle *conflicts map*.

3) Individuazione e caratterizzazione delle criticità. Nel caso di infrastruttura lineare (strade e ferrovie), una sorgente critica (porzione di infrastruttura che causa il superamento dei limiti nei confronti dei ricettori circostanti) generalmente ha le seguenti caratteristiche:

- emissione acustica costante o quasi costante (variazioni inferiori a 3 dB);
- assenza di importanti discontinuità (intersezioni con altre infrastrutture principali, ad esempio);
- uniformità nei possibili interventi di risanamento (sulla sorgente, sul percorso di propagazione sorgente-ricettore, sul ricettore).

Nel caso di un’infrastruttura aeroportuale, le sorgenti critiche si possono schematizzare con le varie fasi legate all’attività aeroportuale, ad esempio, le fasi di atterraggio e decollo degli aeromobili, le prove motori, la fase di rullaggio, ecc.

L’insieme dei ricettori interessati dall’impatto acustico di una specifica sorgente critica determina un’area critica. Ciascuna area critica può essere caratterizzata attraverso una serie di dati e informazioni, secondo lo schema esemplificato in Tabella 28. Tali dati possono essere contenuti in forma di database relativi a specifiche coperture vettoriali in ambiente G.I.S.

Tabella 28 - *Categorie di informazioni per la caratterizzazione delle aree critiche*
[adattata dalla norma UNI/TR 11327 *Criteri per la predisposizione dei piani di azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico e i relativi effetti*]

Tipologia Informazioni	Contenuti
Descrizione dell'area	Codice identificativo, localizzazione, destinazione d'uso prevalente.
Descrizione della sorgente	Identificazione della sorgente che determina la criticità (ad es. nome e codice dell'infrastruttura), classificazione, ampiezza delle eventuali fasce di rispetto.
Descrizione emissione sorgenti	Livello sonoro alla distanza di riferimento o potenza sonora (per unità di lunghezza per le sorgenti lineari).
Descrizione ricettori	<ul style="list-style-type: none"> - numero di edifici abitativi e popolazione residente, - numero di edifici scolastici e numero alunni, - numero di edifici per servizi sanitari e numero di posti letto, - numero di luoghi ed edifici per attività ricreative, religiose o culturali - estensione di aree protette e parchi pubblici.
Livelli sonori	L_{DEN} ed L_{NIGHT} stimati ai ricettori espressi come: valori massimi per ricettori più esposti, valori medi su tutti i ricettori.
Esposizione della popolazione	<ul style="list-style-type: none"> - numero di persone esposte a L_{DEN} superiori ai limiti, - numero di persone esposte a L_{NIGHT} superiori ai limiti
Criticità e/o priorità	Valori assunti degli indicatori di criticità e valori degli indici di priorità.
Azioni di risanamento attuate	Descrizione degli interventi antirumore già realizzati.
Azioni di risanamento previste	Interventi in programma nell'area, interventi specifici per l'abbattimento del rumore o derivanti da altre azioni di pianificazione, gestione e governo del territorio.

2.3.3.7 Studio degli agglomerati urbani

Analogamente allo studio delle infrastrutture di trasporto principali, la ricognizione delle criticità in un agglomerato urbano può essere sintetizzata dal seguente schema procedurale:

1. determinazione dei livelli di rumore ai ricettori, nell'area oggetto di studio;
2. individuazione dei conflitti esistenti (superamento dei limiti);
3. individuazione e caratterizzazione delle criticità.

1. La determinazione dei livelli di rumore ai ricettori viene effettuata inizialmente in maniera indipendente per le singole tipologie di sorgenti (strade, ferrovie, aeroporti, insediamenti industriali). Nel caso di infrastrutture della medesima tipologia, si caratterizzano i livelli sonori separatamente, in base alle rispettive competenze dei differenti gestori delle infrastrutture (ad esempio: per le autostrade, ognuna con il suo ente responsabile, per le strade statali, le strade provinciali, le strade comunali ecc.)

Successivamente, si determina il livello sonoro globale prodotto dall'insieme delle sorgenti.

La norma UNI citata indica che è possibile trascurare gli effetti delle sorgenti sonore il cui livello è inferiore di almeno 10 dB(A) rispetto alle altre sorgenti concorrenti. Agli edifici, anche in questo caso, si assegna il livello massimo del rumore complessivo, sulla facciata più esposta.

2. L'individuazione dei conflitti esistenti avviene, analogamente a quanto sopra, dapprima individuando i conflitti esistenti, in modo separato, per le singole tipologie di sorgenti (strade, ferrovie, aeroporti, insediamenti industriali), successivamente considerando la totalità dei loro contributi, riportando i risultati sulla conflicts map. Nel caso che un edificio sia soggetto all'impatto di due sorgenti, gli si assegna il limite più elevato, tra quelli relativi alle sorgenti in questione.

3. Analogamente, la ricognizione delle criticità viene effettuata dapprima separatamente per i vari tipi di infrastrutture, e poi complessivamente.

2.3.3.8 Impatto acustico dei siti di attività industriali

In questo caso, le sorgenti critiche sono costituite da uno o più insediamenti produttivi, dislocati nella medesima area industriale. Tali insediamenti determinano il superamento dei valori limite presso i ricettori circostanti. L'insieme dei ricettori caratterizzati dall'impatto acustico di una sorgente critica costituisce un'area critica. Lo schema di analisi proposto sempre ricalca i contenuti della Tabella 28.

2.3.3.9 Insieme delle sorgenti: la mappatura acustica strategica

La mappatura acustica strategica prende avvio dalla ricognizione delle criticità causate dall'insieme delle sorgenti; poiché spesso sui ricettori possono insistere più sorgenti, si parla, in questo caso, di aree a criticità multipla.

Si è in presenza di un'area a criticità multipla nel caso si verifichino contemporaneamente le seguenti condizioni:

- sovrapposizione di aree critiche, determinate da due o più sorgenti differenti (medesima tipologia di infrastruttura, ma con differenti gestori, oppure tipologia di infrastruttura differente);
- presenza di ricettori caratterizzati dalla sovrapposizione dell'immissione acustica di due o più sorgenti e con superamento dei valori limite.

Per la caratterizzazione delle aree a criticità multipla può essere utile seguire lo schema proposto in Tabella 29.

Tabella 29 - *Parametri e informazioni per la caratterizzazione delle aree a criticità multipla* [adattata dalla norma UNI/TR 11327 *Criteri per la predisposizione dei piani di azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico e i relativi effetti*]

Tipologia parametri e informazioni	Contenuti
Descrizione dell'area	Codice identificativo, localizzazione, destinazione d'uso prevalente.
Descrizione dell'area di criticità concorsuale	Identificazione delle aree critiche concorsuali che determinano la criticità multipla
Descrizione delle sorgenti	Identificazione delle sorgenti che determinano la criticità (ad es.: nome e codice dell'infrastruttura)
Descrizione emissione sorgenti	Livello sonoro alla distanza di riferimento o potenza sonora (per unità di lunghezza nelle sorgenti lineari)
Descrizione ricettori a criticità multipla	<ul style="list-style-type: none">- numero di edifici, di abitazioni e popolazione residente,- numero di edifici scolastici e numero d'alunni,- numero di edifici per servizi sanitari e numero di posti letto,- numero di luoghi per attività culturali, ricreative o di culto

segue...

...segue

Livelli sonori in corrispondenza dei ricettori a criticità multipla	Per ogni sorgente concorsuale, e, complessivamente a livello globale, i valori di L_{DEN} ed L_{NIGHT} ai ricettori vengono espressi come: <ul style="list-style-type: none"> - valori massimi sui ricettori più esposti - valori medi su tutti i ricettori
Esposizione della popolazione nei ricettori a criticità multipla	Per ogni sorgente concorsuale e complessivamente viene valutato: <ul style="list-style-type: none"> - il numero di persone esposte a L_{DEN} superiori ai limiti, - il numero di persone esposte a L_{NIGHT} superiori ai limiti
Criticità e priorità	Valori assunti degli indicatori di criticità e valori degli indici di priorità.
Azioni di risanamento attuale	Descrizione degli interventi antirumore già realizzati.
Azioni di risanamento previste	Interventi in programma nell'area, interventi specifici per l'abbattimento del rumore o derivanti da altre azioni di pianificazione, gestione e governo del territorio.

2.3.3.10 Analisi delle criticità

Le criticità possono essere analizzate con il seguente schema:

- 1) Individuazione degli *hot spot*.
- 2) Studio dei rumori che, in genere, risultano qualitativamente più fastidiosi:
 - per il traffico stradale, generalmente: il rumore pneumatico-asfalto, quello del motore, di sirene e clacson;
 - per il traffico ferroviario: il rumore generato dai convogli in curva e nelle stazioni, il rumore di frenata;
 - rumori di vicinato: il rumore generato nei bar e nei ristoranti all'aperto, dalla gente che s'intrattiene fuori dai locali, da locali e appartamenti con musica elevata, da condizionatori, da cantieri, ecc. (questa categoria di rumori, tuttavia, non rientra nelle tipologie di rumori studiati e combattuti da un Piano di Azione).
- 3) Analisi dei fattori che interessano la generazione del rumore: numero di veicoli, velocità di marcia, presenza di mezzi pesanti, superfici stradali, tipologia del traffico, ecc.

- 4) Analisi dei fattori che interessano il percorso di propagazione del rumore: strutture architettoniche (conformazione degli edifici), arredo urbano, spazi verdi, barriere naturali, schermature del rumore, ecc.
- 5) Individuazione dei momenti della giornata in cui si ha più rumore: occorre relazionare il rumore ai vari momenti critici della giornata (ad esempio, l'orario di uscita dalle scuole o dal lavoro ed il conseguente traffico delle ore di punta, ecc.).
- 6) Analisi dei ricettori. Ricognizione delle tipologie di fruizione del territorio, del numero di persone esposte ai vari livelli, dei gruppi più vulnerabili.

Nel caso frequente della redazione di un Piano che non possa risolvere tutti i problemi, si pongono sostanzialmente due scelte:

- 1) lasciare aree critiche, o porzione di esse, irrisolte per futuri interventi attivi;
- 2) procedere risanando i ricettori con gli interventi passivi.

In una prospettiva più ampia è possibile ulteriormente distinguere quali, tra i problemi irrisolti, sono solo rinviati ad una soluzione successiva e quali, invece, non hanno al momento alcuna soluzione.

La selezione dei metodi influenza il costo degli interventi e quindi, a budget fissato, il numero delle aree che si riesce a trattare. In questa logica, è anche possibile che dopo una prima analisi si decida di escludere, eventualmente in maniera temporanea, alcune soluzioni efficaci ma molto onerose, per ottenere, in cambio, una più diffusa riduzione dell'inquinamento acustico con le risorse immediatamente disponibili.

La selezione delle aree su cui intervenire può essere fatta per esclusione, dopo aver ordinato gli ambiti per gravità, limitando l'intervento al budget disponibile; oppure a priori, sia fissando soglie di gravità, al di sotto delle quali non si deve prevedere un intervento (ad esempio, scegliendo le soglie di rilevanza sanitaria, quali il livello di 65 dB(A) di giorno o di 55 dB(A) di notte), sia applicando strategie di lungo periodo: ad esempio, si può decidere di escludere interventi in ambiti particolari, per i quali sia prevista una radicale variazione dello scenario acustico nel breve o medio termine, come conseguenza di varianti già previste a livello urbanistico.

In questa fase può essere conveniente raggruppare aree critiche diverse in ambiti di intervento (A.I.). Gli A.I. rappresentano le porzioni di territorio in cui vengono ipotizzate le differenti possibili soluzioni di intervento.

Per ogni area critica, viene quantificato il grado di criticità, o gravità, attraverso gli stessi criteri utilizzati nella fase di ricognizione delle criticità, ed ogni ambito di intervento assume un indice di criticità pari a quello complessivo di tutte le aree critiche in esso comprese.

Tabella 30 - *Pianificazione strategica preliminare per ambiti – esempio*

Ambito di intervento	Indice di criticità	Aree critiche coinvolte	Sorgenti critiche coinvolte	Indicazioni strategiche
1	30	A1, A5, A10	S2, S4	Variante di S2 già progettata
2	25	A6	S1	Deviazione del traffico pesante su ferrovia con l'apertura di un interporto
3	22	A7, A8	S3	Riduzione dei limiti di velocità

Tabella 31 - *Criteri di selezione delle aree critiche su cui intervenire.* [da UNI/TR 11327 *Criteri per la predisposizione dei piani di azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico e i relativi effetti*, 2009]

Gravità	Privilegiano l'effettuazione degli interventi nelle aree dove gli effetti dell'inquinamento acustico sono più gravi
Urgenza	Privilegiano l'effettuazione degli interventi nelle aree dove sia necessario intervenire al più presto possibile o prima di una data stabilita. Vanno considerati tra i criteri di urgenza solo i fattori che non dipendono dai livelli sonori presenti nell'area. A titolo d'esempio, rientrano in questa categoria la disponibilità di finanziamenti ad hoc, per interventi in alcune aree, l'esistenza di vincoli che non consentono la realizzazione delle opere o l'apertura dei relativi cantieri dopo una certa data, la necessità che le opere in certe aree siano concluse in tempi rapidi per consentire la realizzazione di altri interventi ecc.
Efficienza	Privilegiano l'effettuazione degli interventi dove, a parità di risorse impiegate, si ottengono i risanamenti più risolutivi e/o estesi.
Efficacia	Escludono dagli interventi quelle aree dove le soluzioni ipotizzate producano risultati molto parziali.
Opportunità	Tengono conto, in maniera generalmente qualitativa, di considerazioni che rendono fortemente indesiderata la realizzazione di un determinato intervento o che ne suggeriscono la collocazione in una determinata finestra temporale.

La Regione Toscana ha individuato la necessità di attribuire un punteggio che esprime la priorità temporale di intervento a ciascuna area critica, sulla base di una metodologia definita all'interno della D.C.R n. 77 del 22/02/00, in particolare relativa ai Piani Comunali di Risanamento Acustico.

Per quanto riguarda il grado di priorità degli interventi di risanamento all'interno di un'area interessata da un'infrastruttura stradale, si fa riferimento alla già ampiamente citata norma nazionale, il D.M. del 29/11/2000.

2.3.3.11 Ricognizione delle soluzioni praticabili e selezione degli interventi

Dopo l'individuazione delle aree critiche, l'elaborazione del Piano richiede di preparare un prospetto delle possibili soluzioni per ciascuna tipologia di area.

Una distinzione utile, ai fini di questa ricognizione, è quella tra azioni "dirette" e "indirette".

- 1) Le azioni dirette sono gli interventi di contenimento della produzione e della propagazione delle onde sonore. Sono interventi tecnici di contenuto pratico: rappresentano spesso l'ossatura di un piano progettuale.
- 2) Le azioni indirette sono invece quelle che agendo sui determinanti dell'inquinamento e sui fattori di pressione incidono anche su sorgenti e ricettori. L'intervento indiretto non ottiene di per sé la riduzione dell'esposizione, ma promuove azioni di altri soggetti che, se realizzate opportunamente, producono anche l'effetto antirumore atteso.

L'asfalto fonoassorbente, ad esempio, è un'azione diretta, mentre il potenziamento del trasporto pubblico può essere un intervento indiretto di riduzione della rumorosità da traffico veicolare, se ottiene un trasferimento degli spostamenti dal mezzo privato a quello pubblico (nell'ipotesi, da verificare, che a parità di movimenti il trasporto pubblico sia meno rumoroso di quello privato). Negli interventi indiretti, spesso, si tratta di combinare diverse azioni consistenti nell'attuazione di politiche finalizzate a modificare situazioni, fatti o comportamenti generali di molti individui o soggetti economici. Per loro natura, gli interventi indiretti sono caratterizzati, in genere, da una minore predicibilità ed immediatezza degli effetti (in quanto scontano la variabilità dei comportamenti dei soggetti mediatori dell'azione), ma non necessariamente da minore efficacia. Per le loro caratteristiche sono i contenuti tipici un piano strategico.

Tenendo conto anche delle soluzioni di tipo strategico, valutate a partire dai piani e programmi di gestione del territorio già adottati, si perviene ad uno schema del tipo che segue:

Tabella 32 - Schema riepilogativo delle soluzioni praticabili - esempio

Ambiti di intervento	Possibili soluzioni dirette		Possibili soluzioni strategiche	
1	SD 1,1	Asfalto silente	SS 1	Rinnovo dei mezzi pubblici
	SD 1,2	Riduzione limite velocità	SS 2	Realizzazione della 2° linea della metropolitana
			SS3	Incentivi verso il trasporto pubblico
2	SD 2,1	Barriere acustiche	SS 1	Rinnovo dei mezzi pubblici
	SD 2,2	Interventi sui ricettori		

Lo schema dovrebbe essere accompagnato da una descrizione sintetica delle soluzioni previste.

Il passo successivo, per procedere all'organizzazione pratica della misura di risanamento è quello di individuare, per ogni area/sorgente critica, una tipologia di intervento ritenuta preferibile (eventualmente composta da un sistema organico di diverse soluzioni praticabili).

Tabella 33 - Criteri per la selezione degli interventi da attuare fra quelli praticabili in un'area critica [da Brambilla G., Poggi A., Licitra G., *Indicazioni operative per la costruzione dell'indicatore "Popolazione esposta al rumore"*, in riferimento alla Direttiva Europea 2002/49/CE, 2005]

Efficienza	Privilegiare gli interventi dove, a parità di risorse impiegate, si ottengono i risanamenti più risolutivi e/o estesi
Efficacia	Privilegiare gli interventi che raggiungono il maggior livello di protezione dal rumore
Urgenza	Privilegiare gli interventi che possono essere realizzati in tempi brevi. Rientrano in questa categoria, ad esempio, le valutazioni sul fatto che certe categorie d'intervento richiedono tempi lunghi, rispetto agli obiettivi del piano. La disponibilità di finanziamenti ad hoc per alcuni interventi, la necessità di realizzare alcuni interventi in maniera concomitante con i cantieri di opere già prossime alla realizzazione, può dare ad alcuni interventi un particolare carattere d'urgenza.

segue...

...segue

Opportunità	Tengono conto, in maniera generalmente qualitativa, di considerazioni che rendono fortemente indesiderata la realizzazione di un determinato intervento o che ne suggeriscono la collocazione in una determinata finestra temporale. Rientrano tra questi: i criteri di valutazione dell'impatto paesaggistico, i criteri ecologici, i criteri relativi alla qualità della vita in genere, i criteri che valutano la sicurezza dell'infrastruttura, le strategie di lungo periodo sulla scelta delle soluzioni
Durata	Tengono conto della durata nel tempo dell'efficacia acustica dell'intervento
Tempi di realizzazione	Le diverse soluzioni si caratterizzano per i tempi di realizzazione assai diversi tra loro (comprensivi anche dell'iter per conseguire le necessarie autorizzazioni). Spesso soluzioni di grande efficacia hanno tempi di realizzazione troppo lunghi.
Potestà del proponente il piano	Alcune tipologie di intervento possono essere adottate solo da soggetti diversi da quelli titolari del piano: ad esempio, la limitazione all'immissione nel mercato dei veicoli, sulla base del loro livello di emissioni sonore, può essere adottata solo a livello comunitario (Unione Europea), pertanto, tale tipo di provvedimento non può entrare a far parte del Piano di Azione di un soggetto che non ha questa potestà giuridica.

2.3.4 Passo 4: coinvolgimento delle parti interessate

Scopo: coinvolgere tutti gli interessati alla creazione del Piano d'Azione, per renderli consapevoli e motivati rispetto alle problematiche da affrontare.

I possibili attori del Piano vengono classificati secondo il proprio campo di interesse e le proprie mansioni, le fasi di intervento e le risorse impiegate, nonché gli ambiti geografici di intervento.

È opportuno e necessario anche coinvolgere il pubblico (un comitato o dei rappresentanti naturali o legali) nel processo di pianificazione.

In genere le figure pubbliche coinvolte, spaziano su più livelli, da quello statale a quello comunale, in particolare nel settore ambientale e dei trasporti.

Come già ripetuto, è bene trovare le giuste sinergie e studiare più problematiche insieme per ottimizzare le risorse impiegate nei diversi settori.

2.3.5 Passo 5: coinvolgimento della popolazione

Scopo: consultare la popolazione perché dia giudizio sulla sua percezione del rumore e venga informata affinché prenda consapevolezza del problema, in modo da ridurre i comportamenti rumorosi, anche involontari, e affinché il suo parere possa perfezionare gli interventi di risanamento.

2.3.5.1 Informazione dei cittadini

L'informazione dei cittadini sullo stato acustico dei luoghi in cui vivono, è uno strumento per fornire loro una certa corresponsabilità ed un'attenzione politico-amministrativa sulle scelte di comportamento quotidiano che, incidendo sul clima acustico, possono modificare, nel lungo periodo, significativamente la qualità dell'ambiente di vita.

La Direttiva 2002/49/CE, come già accennato nei capitoli precedenti, considera l'informazione dei cittadini sui rischi dovuti al rumore, e la loro partecipazione, uno strumento necessario per il suo abbattimento. In particolare, afferma che “per disporre della più ampia diffusione dell'informazione destinata al pubblico occorrerebbe selezionare i canali di informazione più adatti” e che “risulta necessario raccogliere i dati e consolidarli in pertinenti relazioni a livello comunitario, come base della futura politica comunitaria e di una maggiore informazione del pubblico”. Inoltre, nell'Art. 9 comma 1, si dice “gli Stati Membri provvedono affinché le mappe acustiche strategiche da essi elaborate, e se del caso adottate, e i Piani di Azione da essi messi a punto, siano resi disponibili e divulgati al pubblico, ai sensi della normativa comunitaria pertinente”. In particolare, la Direttiva 2003/4/CE del Consiglio, che abroga la precedente Direttiva 90/313/CEE, concernente la libertà di accesso all'informazione in materia di ambiente, ed in particolare i suoi allegati IV e V, specifica che ciò sia fatto anche mediante le nuove tecnologie d'informazione disponibili. Lo stesso articolo, al comma 2, afferma che le informazioni debbano essere “chiare, comprensibili e accessibili, dotate di un sommario con i principali punti trattati; inoltre occorre fornire una sintesi delle informazioni stesse, contenente i punti più importanti”.

L'informazione del pubblico ha un ruolo centrale nella democrazia europea, soprattutto in quanto l'informazione in senso lato implica necessariamente la partecipazione, aspetto che troppo spesso nel sistema politico italiano, di fatto, non viene considerato o applicato. Non si tratta di una partecipazione virtuale, in quanto mediata dagli strumenti dell'informazione di massa, o unidirezionale, nel senso che il cittadino risulta il destinatario della informazione mediata dalle istituzioni del potere, ma di

una serie precisa di momenti e modi di effettivo intervento del cittadino europeo nella durante la definizione delle scelte politiche, in tema di inquinamento da rumore. Tale ruolo è ulteriormente sottolineato e rafforzato dalla citata Direttiva 2003/4/CE sull'informazione ambientale, che permette il ricorso contro gli atti contrari o le omissioni dello Stato Membro in materia.

Gli Artt. 2 e 3 della Direttiva 2003/4/CE intendono come pubblico l'insieme di persone fisiche o giuridiche, composto da comuni cittadini, da residenti, da lavoratori e da rappresentanti di tutte le associazioni interessate. Per pubblico si intende la società civile, in senso lato, come la camera di commercio, i gruppi locali dei trasporti, i gruppi ambientali, le associazioni di cittadini, di commercianti ecc. e ad un secondo livello, i residenti, i comitati di quartiere, i commercianti della zona, i rappresentanti di scuole e ospedali locali, ecc.

Il pubblico deve essere costituito anche da persone non addette ai lavori, in modo da garantire anche un approccio non solo strettamente tecnico, ma di facile comprensione per tutti.

Occorre inserire la consultazione del pubblico come parte integrante del processo e creare, dunque, una campagna di informazione che contenga le seguenti misure:

- far crescere nei cittadini la consapevolezza del problema rumore;
- informare i politici locali, affinché mettano in agenda incontri per discutere sulle problematiche dovute al rumore;
- fornire dati qualitativi/quantitativi sulla percezione e sul fastidio da rumore, per integrare e correggere le mappature sul rumore;
- coinvolgere la società civile durante tutto il processo di risanamento;
- informare la popolazione delle zone più inquinate dal rumore e convogliare tutti i punti di vista degli interessati verso proposte di soluzioni comuni.

Il messaggio informativo, per risultare efficace, deve garantire che l'informazione resa al pubblico:

- sia chiara, comprensibile e accessibile;
- riguardi le criticità salienti delle mappature, in particolare, mettendo in luce gli aspetti di maggior interesse, per i diversi destinatari;
- preveda una suddivisione per competenze e aree territoriali (Comune, Provincia, Regione);
- includa diversi livelli di approfondimento, anche in relazione ai vari destinatari dell'informazione; in particolare, è consigliabile, ove opportuno, effettuare una sintesi degli elaborati prodotti;
- riporti la fonte da cui provengono i dati e la data a cui essi si riferiscono;
- sia validata e riporti i riferimenti del soggetto giuridico che ha operato la

- validazione;
- sia diffusa in maniera coerente, anche in relazione ai diversi gradi approfondimento;
 - preveda procedure di valutazione da parte del pubblico, che consentano, quindi, di monitorare l'effettivo accesso all'informazione da parte dei soggetti interessati;
 - sia fornita gratuitamente, a meno dell'eventuale costo di produzione del supporto;
 - sia resa disponibile in modo tempestivo, per consentire la diffusione dei risultati in occasione delle scadenze previste dal D.Lgs. n. 194 del 19/08/05;
 - assicurino l'aggiornamento periodico (es. annuale), sulle azioni o revisioni in corso, e vengano pianificati momenti d'incontro informativo una tantum su specifici argomenti.

Il D.Lgs. n. 194 del 19/08/05 all'Art. 8, comma 2, stabilisce che "i soggetti ... che hanno l'obbligo di elaborare i Piani di Azione comunicano, mediante avviso pubblico, le modalità con le quali il pubblico può consultare gli stessi Piani. Entro quarantacinque giorni dalla predetta comunicazione chiunque può presentare osservazioni, pareri e memorie in forma scritta, dei quali i soggetti proponenti i Piani tengono conto ai fini della elaborazione dei Piani stessi"; mentre al comma 3 afferma che "i soggetti individuati allo stesso comma 2 disciplinano ulteriori modalità di partecipazione del pubblico alla elaborazione dei Piani di Azione".

Si ritiene che i più importanti strumenti d'informazione e di partecipazione, sia di tipo tradizionale che elettronico, oltre alla pubblica affissione, siano:

- mass media (telegiornali e trasmissioni a livello nazionale e locale, giornali nazionali e locali);
- sondaggi;
- siti internet della Pubblica Amministrazione, delle Agenzie Ambientali (ARPA, ISPRA), dei soggetti responsabili dei Piani, 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;
- campagne di informazione, dibattiti e incontri pubblici di presentazione;
- consegna di supporti di informazione e di divulgazione a scuole, università, biblioteche, associazioni ecc.

Il tempo lasciato alla partecipazione deve essere adeguato; la pubblicizzazione e la conoscibilità del progetto (ad esempio: luogo di deposito del materiale cartaceo facilmente accessibile; orario disponibile della giornata per la sua reperibilità; possibilità concreta di ottenere rapidamente le copie necessarie; loro inserimento su

di un sito Internet, possibilità di download ecc.) devono essere adeguati.

L'efficacia della partecipazione del pubblico può poi essere verificata in due modi: attraverso le decisioni pubbliche assunte dalle autorità, che dovrebbero recepire le manifestazioni di parere avute dai cittadini o dalle loro associazioni; e, inoltre, attraverso l'inserimento nel Piano di Azione dei risultati delle consultazioni pubbliche.

Nel caso della Regione Toscana, ad esempio, sul sito della Regione possiamo leggere che il comma 5 dell'Art. 7 della L.R. n.1 del 03/01/2005 annovera, infatti, i cittadini, singoli o associati, tra i soggetti istituzionali competenti alla creazione delle scelte territoriali, in coerenza con le nozioni di "cittadinanza attiva" e di "partecipazione politica", contemplate nello Statuto della Regione Toscana. Per questo è stata istituita la figura di un garante della comunicazione che assicura che l'informazione al pubblico, in ogni fase di formazione degli strumenti della pianificazione territoriale e degli atti di governo del territorio di competenza della Regione, sia tempestiva e appropriata. In questo modo, si rende effettiva ed efficace la partecipazione dei cittadini al procedimento programmatico. Il garante, tra le altre cose, si assicura che le richieste, le osservazioni e le sollecitazioni emerse, nel corso dei dibattiti pubblici siano trattate nelle sedi competenti, assicura i rapporti con i rispettivi garanti della comunicazione dei Comuni e delle Province.

L'informazione del cittadino trova maggiore efficacia se approntata in età scolare, attraverso programmi di educazione ambientale che formino i giovani all'adozione di diverse abitudini quotidiane.

Per adulti e bambini, si possono inserire nei gruppi di divulgazione, oltre ai tecnici di settore, anche esperti di comunicazione, sociologi e psicologi.

2.3.5.2 Consapevolezza del pubblico

Solo con una maggiore attenzione da parte della popolazione si può pensare di migliorare il clima acustico in città e zone abitate. In genere, i cittadini non addetti ai lavori, coinvolti nella stesura dei Piani d'Azione, sono pochi; occorre dunque aumentare il bacino di popolazione coinvolta, non solo tramite la pubblicazione del Piano d'Azione, ma anche attraverso una massiccia campagna di informazione, mediante i media locali, le pubblicità, gli opuscoli informativi, i manifesti, internet, ecc. E' importante agire anche con i bambini nelle scuole, promuovendo un'informazione semplice e magari ludica, facendo giochi che aumentino nei bambini la sensibilità al problema.

Occorre, in particolare, aumentare la consapevolezza dei problemi sulla salute

connessi all'esposizione al rumore e fornire anche le esistenti relazioni dose-effetto tra rumore e effetti sanitari avversi e le spiegazioni su quali sono i livelli di rumore accettabili e quali quelli potenzialmente dannosi.

Bisogna anche insistere sul fatto che, nella maggior parte dei casi, il rumore è provocato dai nostri stessi comportamenti, come, ad esempio, da uno stile di guida errato (e spesso anche pericoloso), oltre che da un uso smodato dell'auto privata, spesso con un unico passeggero. Occorre caldeggiare fortemente l'impiego di trasporti collettivi, non inquinanti e non rumorosi, come la bicicletta o la possibilità di affrontare i percorsi a piedi.

Essendo estremamente difficile modificare il comportamento sociale, un ritorno superiore si potrebbe avere se accanto all'informazione vi fossero sanzioni e ricompense. Si può fare leva anche sull'aspetto economico del deprezzamento degli immobili rumorosi.

È in ogni caso necessario creare una campagna di sensibilizzazione prima di introdurre misure impopolari, come la diminuzione dei limiti di velocità o i divieti al traffico. Per perseguire questo intento si possono affiancare le argomentazioni relative all'abbattimento del rumore con giustificazioni economiche, come, ad esempio, il fatto che guidando meno velocemente e in maniera corretta si risparmia più carburante; andando, in bicicletta, si hanno solo dei vantaggi, non solo finanziari ma, anche fisici dovuti all'esecuzione di una leggera attività sportiva, fortemente consigliata da medici e psicologi.

Analogamente, in fase di redazione del Piano d'Azione può essere utile divulgare le analisi costi-benefici per i vari tipi di interventi, per economico spiegare quali sono state le motivazioni che hanno fatto propendere verso alcune scelte piuttosto che altre, in relazione alle risorse finanziarie disponibili.

È bene, inoltre, come suggerisce la Direttiva 2002/49/CE, diversificare le modalità di informazione, a seconda dei destinatari che si vogliono raggiungere; ogni gruppo ha, infatti, una differente sensibilità al rumore, oltre che esigenze diverse e diversi comportamenti e abitudini.

Tabella 34 - *Metodi di informazione diversificati a seconda dei gruppi da raggiungere*

Gruppi di riferimento	Sottogruppi
Cittadini	Abitanti
	Lavoratori
	Turisti
	Utilizzatori dei trasporti pubblici
	Utilizzatori di auto private
	Pedoni
	Ciclisti
	Genitori di bambini piccoli
	Migranti
	Persone anziane
	Commercianti
Settore delle consegne della merce	Autisti
	Organizzatori delle consegne
	Commercianti
Settore dell'educazione	Studenti
	Insegnanti
	Genitori
Settore della salute	Personale ospedaliero
	Medici generici
	Personale dei servizi di salute pubblica e privata
	Pazienti
Giornalisti/media/videomaker	Giornalisti di telegiornali e trasmissioni regionali
	Giornalisti di giornali provinciali e regionali
Organizzazioni non governative	Gruppi ambientalisti o di interesse
	Organizzazioni di cittadini
	Istituti di ricerca
	Organi di consulenza
Organismi politici	Consiglio provinciale e comunale
	Autorità regionale
	Organizzazioni sindacali

Può essere interessante anche fornire le strade di *barometri acustici*, in modo che tutti possano leggere facilmente il livello sonoro presente in zona, in analogia a quanto si fa per la qualità dell'aria.

Figura 4 e Tabella 35 - *Esempio di ipotetico barometro acustico* [da *SILENCE Project "Abating noise. Local measures on a short-term basis and long-term strategies"*, POLIS Environment & Health WG Meeting, 2008]



> 85 dB(A)	Livello sonoro molto dannoso in caso di prolungata esposizione, responsabile di danneggiamenti all'apparato uditivo
75 – 85 dB(A)	Comunicazione molto difficile, "Soundscape" degradato
65 – 75 dB(A)	"Soundscape" cattivo
55 – 65 dB(A)	"Soundscape" accettabile
45 – 55 dB(A)	"Soundscape" buono
< 45 dB(A)	"Soundscape" eccellente

Si è dimostrato che la popolazione risulta più o meno sensibile al rumore in base a diversi fattori caratterizzanti singolarmente dell'individuo esposto, tra i quali lo stile di vita, la cultura, le abitudini, il reddito, ecc.

Limitare l'uso dell'automobile, mantenere alla guida del proprio mezzo un comportamento civile, ad esempio, usando gli avvisatori acustici nei soli casi di pericolo, evitare le partenze scattanti ai semafori, mantenere il più possibile silenziosi i mezzi di circolazione, sono solo alcuni degli esempi, attraverso cui ottenere un miglioramento generalizzato del clima sonoro.

Molti Paesi europei stanno escogitando diversi rimedi al rumore, che vanno, ad esempio, dalla creazione di grandi parcheggi pubblici sotterranei a pagamento, i cui ricavi servono al potenziamento ed al rinnovo dei mezzi pubblici, alla creazione di corsie preferenziali per le linee pubbliche (per ridurre i tempi morti dovuti ad ingorghi stradali).

Ciò nonostante, soluzioni che garantiscono buoni risultati in un Paese possono risultare inefficaci in un altro, soprattutto per le differenti abitudini della popolazione che vi vive. È noto che abitudini gli stili di vita non sono facili da cambiare, ed è per questo che acquista una notevole importanza sul lungo termine l'educazione del cittadino alle tematiche dell'ambiente; un grande investimento per il futuro che, se affrontato con la giusta convinzione, produrrà sicuramente notevoli benefici.

2.3.5.3 Partecipazione dei cittadini

Il WG-AEN, gruppo di lavoro per la valutazione dell'esposizione al rumore fondato nel 2002, ha come compito principale quello di aiutare gli Stati Membri ad implementare la Direttiva 2002/49/CE mediante linee guida, suggerendo strategie per le mappature acustiche, la modellazione e le tecniche di misura.

Le linee guida riguardano tutte le sorgenti prese in considerazione dalla Direttiva 2002/49/CE:

- Assi stradali principali (rumore da traffico stradale).
- Assi ferroviari principali (rumore da traffico ferroviario).
- Aeroporti principali.
- Agglomerati urbani (per ciò che concerne il rumore da traffico stradale, ferroviario, aeroportuale ed industriale).

Il WG-AEN, nel rapporto *Presenting noise mapping to the public*, sostiene che il pubblico debba intervenire "a monte" dei Piani di Azione, ovvero dopo la redazione della mappa acustica strategica del rumore. Sarebbe opportuno, infatti, testare la comprensione del pubblico, già a partire dal processo di mappatura, prima di definire i dettagli dei successivi Piani di Azione, studiando anche se la percezione del rumore, nelle varie zone, corrisponde al rumore effettivo.

Nelle mappe acustiche occorre, comunque, distinguere sulla percentuale di popolazione esposta a varie tipologie di rumore infrastrutturale.

La maggior parte dell'informazione dovrebbe essere data a livello locale, riferita non solo agli agglomerati, ma proprio alle singole realtà circoscritte che costituiscono gli agglomerati stessi, in particolare presentando due livelli d'informazione: un livello base, più semplice, da fornire inizialmente al pubblico, e un livello più complesso e dettagliato, rivolto a chi ne fa richiesta, ad esempio, ai tecnici di settore.

Nella prima delle due eventualità, le mappe in presentano una suddivisione del territorio in quattro *range* di valori di livello sonoro, che corrispondono graficamente ad altrettanti colori, secondo le tabelle seguenti:

Tabella 36 - *Semplificazione delle mappe acustiche mediante colori*

L_{DEN} (dB)	Colore
< 55	Ocra
55- 59	Arancio
60 - 64	Rosso
≥ 65	Rosso scuro
L_{NIGHT} (dB)	Colore
< 45	Verde scuro
45- 49	Giallo
50 - 54	Ocra
≥ 55	Arancio

Nel livello più dettagliato occorre fare una mappa che mostri, mediante diverse colorazioni, i differenti livelli di rumore suddivisi in classi di 5 dB. Gli intervalli interessati, secondo l'Allegato VI della Direttiva 2002/49/CE, sono da 55 a 75 dB per L_{DEN} e da 50 a 70 dB, per L_{NIGHT}, eventualmente per il rumore notturno può essere valutato anche l'intervallo 45 – 50 dB.

Questi standard sono definiti dalla ISO 1996-2:2007 (ma i colori sono stati, in realtà, ripresi dalla preesistente ISO 1996-2:1987).

Tabella 37 - *Rappresentazione delle mappe acustiche mediante colori*

Noise level (dB)	Colore
< 35	Verde chiaro
35 – 40	Verde
40 – 45	Verde scuro
45 – 50	Giallo
50 – 55	Ocra
55 – 60	Arancione
60 – 65	Rosso geranio
65 – 70	Carminio
70 – 75	Rosso violaceo
75 – 80	Blu
80 – 85	Blu scuro

A questo livello di dettaglio, occorre anche inserire alcune informazioni, in particolare riguardanti il significato dei descrittori acustici e le implicazioni del rumore sulla salute, i concetti di annoyance (fastidio) e disturbo del sonno.

A questo proposito, il WG-AEN suggerisce che le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) siano un buon riferimento per valutare tali effetti sulla salute.

Per maggiori informazioni sulle procedure base di valutazione del rumore, il WG-AEN indica la ISO 1996-1:2003, come eccellente punto di partenza per valutare l'esposizione ai vari tipi di rumore ambientale, nel lungo periodo.

2.3.5.3.1 Gestione dei reclami

Lo studio dei reclami dei cittadini è molto importante per una corretta politica di riduzione del rumore.

Ogni reclamo deve essere classificato in base alla data e al campo di interesse. Occorre fare un database dei reclami e istituirne punti di raccolta.

2.3.5.3.2 Indicatori sul fastidio provato dai cittadini

Il numero di reclami per inquinamento acustico presentati annualmente alla Polizia Municipale e le contravvenzioni emesse dalla stessa, per l'eccessivo rumore proveniente da veicoli, possono essere buoni indicatori della gravità del fastidio provato dalla popolazione.

2.3.6 Passo 6: individuazione delle strategie per l'abbattimento del rumore e delle strategie a lungo termine

Scopo: definire le appropriate strategie di abbattimento del rumore, incluse le strategie per contrastare localmente i problemi a medio termine, così come globalmente quelli a lungo termine. Valutare i pro e i contro delle potenziali misure. Definire un piano di lavoro concreto da implementare con provvedimenti e strategie.

È molto importante nella progettazione dei Piani d'Azione stimare quali possono essere le potenziali riduzioni, sia dei livelli di rumore, che del numero di persone esposte.

Occorre fare uno schema con la lista dei provvedimenti adottati, collegati ai risultati attesi, comprese le analisi costi-benefici e le stime del tempo necessario per renderli operativi. È bene specificare chi sono chi attuatori degli specifici interventi e di quali sponsors hanno bisogno.

Le misure di bonifica dell'inquinamento da rumore sono onerose, per cui è consueto chiedersi se i benefici che si possono trarre dall'azione di riduzione giustificano i

costi spesso molto alti. Ne nasce, quindi, l'esigenza di quantificare i costi sociali del rumore, per ottimizzare gli investimenti di miglioramento ambientale. Da una stima economica dei benefici tratti, legati alla riduzione generalizzata dell'impatto acustico, è possibile studiare la combinazione di misure da adottare, per garantire i più alti giovamenti sociali per unità di costo, ovvero il più alto rapporto benefici/costi.

In Italia, l'analisi costi-benefici della riduzione del rumore sull'uomo e sull'ambiente non è semplice da elaborarsi, ciò è dovuto essenzialmente ai problemi legati alla misurazione del rumore e alla quantificazione delle ricadute dell'inquinamento acustico, in termini di costi sociali. L'ambito rimane molto complesso e oggetto di indagine da parte degli esperti. Gli economisti hanno molto discusso sull'applicabilità degli usuali metodi di valutazione monetaria degli impatti ambientali delle attività produttive e di consumo. I danni ambientali possono sicuramente portare a costi economici reali, sebbene questi siano generalmente nascosti dalle statistiche economiche ufficiali. Gli esempi che si possono fare sono: l'aumento dei costi sanitari, la riduzione della capacità produttiva delle persone (giorni di malattia) e delle risorse (terreni) e le spese per gli interventi di mitigazione.

Cercando di schematizzare le principali voci di una comune analisi costo/benefici, possiamo analizzare i seguenti aspetti di una politica di riduzione:

- 1) qual è l'entità della riduzione del rumore;
- 2) qual è l'impatto sulla politica locale;
- 3) quali sono i costi;
- 4) quali sono i benefici;
- 5) se la strategia politica gode o meno dell'approvazione del pubblico.

Approfondiremo nei prossimi paragrafi gli aspetti finora meno trattati, ovvero i punti 2), 3) e 4).

2.3.6.1 Impatto sulla politica locale

Le misure per abbattere il rumore interferiscono con gli obiettivi della politica locale, in particolare con le tematiche della qualità dell'aria, della sicurezza stradale, del consumo energetico, del traffico stradale.

In generale, la riduzione del rumore giova anche agli altri settori menzionati, ma non è sempre così: ad esempio, le barriere antirumore intorno ad una strada aumentano la concentrazione dell'inquinamento dell'aria.

Al contrario, i veicoli meno inquinanti sono in genere i più silenziosi, così come le strade con traffico fluido sono meno rumorose di quelle congestionate, e l'assenza di traffico pesante sia una certa garanzia di sicurezza. Stili di guida meno aggressivi (e

pertanto rumorosi) risultano chiaramente più economici.

Un problema che si può venire a creare è la mancata approvazione del pubblico per certe misure di riduzione del rumore, quali ad esempio l'abbassamento dei limiti di velocità o la creazione di zone a traffico limitato [Cfr. Paragrafo 2.3.5.2. – Consapevolezza del pubblico].

Il processo di analisi costi-benefici rappresenta una tecnica efficace e di grande utilità nella composizione di politiche di sviluppo sostenibile, di piani di risanamento e di mitigazione, di metodologie di abbattimento e nello stabilire un ordine preferenziale tra le diverse opzioni disponibili.

L'utilizzo del denaro, come unità di misura di tali analisi, permette di rappresentare i cambiamenti di beni, servizi o benessere sociale, derivanti dalla riduzione del rumore. La facile comparabilità delle diverse metodologie di abbattimento del rumore, in termini di peso economico degli aspetti positivi e negativi, permette di stimarne il loro effettivo valore.

Un'azione antirumore economicamente ottimizzata, secondo la procedura dell'analisi costi-benefici, dovrebbe tentare di apportare altri benefici e comportare il minimo numero di potenziali effetti avversi.

Uno strumento di valutazione dei danni provocati dall'inquinamento acustico è la *Willingness to pay* (W.T.P.) o *disponibilità a pagare*; un progetto di abbattimento di un inquinante risulta socialmente vantaggioso quando il valore del beneficio, misurabile in termini di W.T.P. è superiore al suo costo. La W.T.P. esprime il valore monetario che un individuo sarebbe disposto a cedere, per ottenere, in cambio, il bene o il servizio in questione; in altre parole indica il prezzo che un consumatore è disposto a pagare per usufruire di quel bene o servizio.

2.3.6.2 Costi

Per ogni soluzione praticabile individuata devono essere quantificati i costi ed i benefici previsti. L'analisi delle soluzioni praticabili necessita di una valutazione integrata su due livelli:

1. analisi delle sinergie con altri interventi già pianificati;
2. definizione dei potenziali nuovi interventi.

Nella definizione di un Piano di Azione la valutazione dei costi dell'opera è un passaggio determinante per due diversi motivi:

- perché i costi sono un parametro importante di scelta tra diverse soluzioni alternative o perché agiscono come metro per l'assegnazione di priorità tra diversi interventi su diverse aree critiche;
- perché occorre conoscere il prezzo delle opere, per definire quali sono quelle che

si possono inserire nel Piano (ad esempio, a fronte di un budget limitato).

- perché occorre tener presente tutte le diverse fonti di spesa che compongono l'iter di realizzazione e gestione delle opere di mitigazione, compresi l'esame delle soluzioni praticabili, il collaudo delle opere medesime, la loro manutenzione nel tempo.

Le metodologie per la quantificazione monetaria degli interventi antirumore che prendiamo in considerazione, sintetizzando il pensiero di A. Falvo e A. Marabucci, espresso in *L'analisi costi benefici applicata alle infrastrutture di trasporto* del 2008, sono:

- il *Metodo dei Prezzi Edonici* (H.P.M.), dove si parte dalla considerazione che, sebbene non esista un mercato per l'aria pura o per la quiete, tuttavia sono queste ultime che fanno variare il prezzo degli immobili o il costo di un soggiorno turistico o di altri beni. Sarà quindi possibile, in maniera astratta, attribuire loro un valore. Tale metodo, basato sul mercato immobiliare, parte dalla constatazione che i parametri ambientali fanno variare i prezzi degli immobili e cerca di stabilire la porzione relativa di tale variazione, nella generazione di specifiche differenze. È l'esistenza di questo legame che ci permette di affermare che le qualità ambientali vengono inglobate nel valore economico del bene, cioè vengono capitalizzate dal valore dell'immobile;
- qualora non si disponga di un mercato sostitutivo (come quello immobiliare) o non si consideri soddisfacente tale metodo, si può utilizzare un altro metodo di valutazione diretta, che permette di prendere in considerazione tutte le diverse motivazioni che promuovono una maggior tutela dell'ambiente espone in precedenza: il *Metodo della Valutazione Contingente* (C.V.M.) (che presenta, tuttavia, un maggior livello di aleatorietà). In esso, si simula un mercato ipotetico in cui gli individui esprimono la loro disponibilità a pagare per un certo bene ambientale o per un suo miglioramento/peggioramento. Per esemplificare esso indicherebbe quanto siano disposti a pagare per l'incremento della qualità ambientale (ad esempio la sua silenziosità) o quanto siano disposti a ricevere, a titolo di compensazione, per sopportare una riduzione di qualità di un bene ambientale (ad esempio, la rumorosità dell'intorno abitativo). Spesso questo metodo è il solo applicabile poiché stima agevolmente il prezzo di dato bene ambientale, senza dover procedere ad una simulazione di tutte le operazioni tipiche di un mercato in essere, concreto e già organizzato.

Lo scopo dell'applicazione di questi e di altri metodi, in fase di ampia sperimentazione anche a livello nazionale, è quello di poter inserire gli aspetti ambientali in uno schema di valutazione preventiva, in cui l'idea di base è che le decisioni, su un certo

intervento avente anche rilevanza ambientale, siano basate su una ponderazione *ex-ante* dei vantaggi e degli svantaggi dell'azione prospettata, con una mera traduzione numerica proprio in denaro.

La norma UNI/TR 11327, (*Criteri per la predisposizione dei piani di azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico e i relativi effetti*), nei prospetti 6 e 7, offre degli *schemi per la valutazione dei costi di esercizio*, per il Piano di Azione *strategico* e per quello *progettuale*. Per l'approfondimento di tale schemi si rimanda alla norma stessa.

In alcuni Stati, chi crea rumore deve pagare per abbatterlo, in altri i prezzi delle case variano a seconda che esse si trovino o meno lungo strade rumorose, e così i prezzi degli affitti. Spesso è usata la soglia limite dei 55 dB, oltre i quali si ha una discreta svalutazione delle case. Addirittura potrebbe esser stabilito un deprezzamento al metro quadrato per ogni dB superiore alla soglia limite a cui risulta esposto l'edificio.

2.3.6.3 Benefici

Una delle principali scelte da compiersi nella valutazione dei benefici correlati ad ogni intervento è quella se conteggiare gli stessi, in termini di riduzione di livelli sonori, quindi in termini di dB, o di numero di persone risanate.

In altre parole, è prioritario risolvere i problemi di poche persone esposte a rumore molto elevato o di più persone esposte a rumore medio-alto? Un incremento di rumore per un piccolo numero di persone a seguito, ad esempio, della costruzione di una variante è lecito se risolve la situazione di molte più persone esposte alle emissioni della strada per cui occorre diminuire il traffico?

L'effetto positivo di una mitigazione acustica è in primo luogo la riduzione dei livelli sonori presso i ricettori interessati.

Le soluzioni tecniche applicabili per mitigare i livelli di rumore immessi nell'ambiente possono diversificarsi, non solo in termini di costi, ma anche, ovviamente, in termini di efficacia. La valutazione dei benefici associati agli interventi di riduzione del rumore è un'operazione praticata essenzialmente con due diverse finalità:

- comparare tra loro interventi diversi;
- decidere riguardo alla ragionevolezza dei costi sostenuti.

Per entrambe le finalità non vi sono dei metodi universalmente accettati e delle scale di valori incontrovertibili.

L'*efficienza* definisce il rapporto fra il beneficio economico e i costi per l'attuazione delle misure di protezione contro il rumore. Un intervento di mitigazione acustica è tanto più efficiente quanto maggiore è il rapporto benefici-costi.

Per dare una valutazione economica dei vantaggi ottenuti con le mitigazioni acustiche,

sempre secondo il documento *L'analisi costi benefici applicata alle infrastrutture di trasporto* citato precedentemente, si parte dalla considerazione che i benefici derivanti dalle misure di protezione corrispondono ai costi socio-economici che possono essere evitati attraverso l'attuazione delle misure stesse. La differenza fra i costi attribuibili al rumore prima e dopo l'applicazione degli interventi di mitigazione acustica equivale così ai benefici prodotti dalle misure stesse sull'economia nazionale.

I costi socio-economici includono i costi materiali ed immateriali che i singoli individui o la società devono sostenere a causa del rumore.

Per la loro determinazione devono essere considerati anche i possibili conflitti con altri interessi sulla zona in questione (impatto sul paesaggio, ecologia, qualità abitativa dei residenti, sicurezza della circolazione ecc.).

Gli oneri dell'attuazione dell'intervento comprendono costi interni ed esterni. I costi interni sono sostenuti dai soggetti responsabili del rumore, mentre quelli esterni dalla società.

Una prima valutazione del beneficio conseguito con un intervento di mitigazioni acustica deriva dalla quantificazione del numero di ricettori, il cui valore di esposizione viene riportato al di sotto dei limiti fissati dalla normativa vigente o di una soglia prescelta dal proponente il Piano. Anche in questo caso restano aperte delle alternative riguardo alla modalità con cui quantificare il numero di ricettori trattati.

Si prendono dunque in considerazione i seguenti indici:

- a) il numero di edifici;
- b) il numero di appartamenti;
- c) la superficie abitativa;
- d) il numero di residenti complessivamente risanati.

La normativa europea impone comunque di stimare almeno gli indicatori a) e d).

La quantificazione del beneficio percepito a seguito dell'attuazione di un intervento di mitigazione acustica dipende da svariati fattori, tra cui il livello iniziale del rumore (gravità del disturbo), la condizione sociale, culturale ed economica della popolazione esposta, l'entità dell'abbattimento operato, la tipologia di sorgente risanata.

Nel 2003 sono state pubblicate le conclusioni del *Working Group on Health and Socio-Economic Aspects* sulla valutazione dei benefici dell'abbattimento del rumore ambientale. I risultati di questo studio provengono prevalentemente dall'applicazione del metodo *Stated Preference*, analogo al W.T.P., che si basa sulla disponibilità dei cittadini a pagare per ridurre la loro esposizione a rumore di una certo numero di dB.

Il pagamento è inteso in termini di tasse, risarcimenti, ecc.

In base a questo metodo, i benefici possono essere valutati prendendo un valore rappresentativo “medio” pari a 25 euro per abitazione/decibel/anno.

L'intervallo di L_{DEN} per cui questo coefficiente monetario può ritenersi valido è compreso tra 50 e 70 dB.

Tale coefficiente ha però dei difetti intrinseci: non tiene conto del livello iniziale del rumore da ridurre; la riduzione di un decibel è valorizzata pertanto allo stesso modo, indipendentemente dal livello di pressione sonora di partenza, assumendo che non ci sia differenza, quando invece c'è, tra il beneficio derivante dalla mitigazione di scenari sonori più o meno gravi.

In aggiunta, questo valore rappresentativo esclude gli effetti non direttamente percepiti dalla popolazione e quindi consente di valutare soltanto una probabile sottostima dei benefici che possono scaturire dall'intervento di mitigazione.

L'altro metodo è quello H.P.M. [Cfr. Paragrafo 2.3.6.2. - Costi], che come parametro utilizza, invece, la stima del valore monetario associato ad un immobile in funzione della rumorosità dell'area in cui ha sede. Poiché le persone sono generalmente disponibili a pagare per vivere in ambienti tranquilli, la presenza o meno di rumore esterno modula i prezzi degli immobili. È così possibile valutare, grazie ai prezzi del mercato immobiliare, il valore, in termini monetari, da associarsi alla riduzione anche di un singolo decibel di livello sonoro.

Poiché il valore monetario riflette i cambiamenti percepiti dalla popolazione, la valutazione deve tenere conto degli effetti ai ricettori e non tanto della riduzione d'emissione alla sorgente. Questa considerazione è di fondamentale importanza, dato che sussiste una differenza non trascurabile tra i cambiamenti delle emissioni alla sorgente e la riduzione di percezione ai ricettori.

2.3.7 Passo 7: stesura del Piano

Scopo: per sintetizzare tutte le decisioni in un documento esaustivo, che sia facilmente consultabile, occorre l'aiuto delle Autorità Comunali (che indicano quale sia il processo da seguire, in accordo con le legislazioni vigenti) affinché il pubblico abbia facile accesso al Piano e possa dare suggerimenti.

Il documento finale conterrà i risultati ottenuti dallo studio del problema dell'inquinamento acustico nell'agglomerato urbano, i provvedimenti da adottare, le specifiche strategie di dettaglio, le responsabilità delle varie parti, le risorse stanziare e i risultati attesi; il tutto in forma di testi, schemi, tavole e mappe.

2.3.7.1 Requisiti minimi del Piano

L'Allegato 5 del D. Lgs. n.194 del 19/08/05, secondo l'Art. 4, comma 5, dello stesso, stabilisce i requisiti minimi del Piano. Essi sono:

- a) una descrizione dell'agglomerato, con particolare riferimento agli assi stradali e ferroviari ed agli aeroporti, nonché alle altre sorgenti di rumore;
- b) la definizione dell'autorità competente dell'intervento;
- c) la descrizione del quadro giuridico di riferimento;
- d) la definizione di qualsiasi valore limite in vigore, ai sensi dell'Art. 5;
- e) una sintesi dei risultati della mappatura acustica;
- f) una valutazione del numero stimato di persone esposte al rumore e l'individuazione dei problemi più urgenti e delle situazioni da migliorare;
- g) un resoconto delle consultazioni dei cittadini, organizzate ai sensi dell'Art. 8;
- h) una descrizione delle misure antirumore in atto e dei progetti in preparazione;
- i) una descrizione degli interventi pianificati nei successivi cinque anni, inquadrati nella strategia di lungo termine, comprese le misure volte alla conservazione delle aree silenziose;
- l) una definizione generalizzata della strategia di lungo termine;
- m) una descrizione delle informazioni di carattere finanziario riguardanti il Piano, ove disponibili: i fondi stanziati, le analisi costi-efficacia e costi-benefici;
- n) un'illustrazione delle disposizioni da svolgersi per l'attuazione del Piano e la valutazione dei suoi risultati.

Il Piano deve contenere, inoltre, stime in termini di riduzione del numero di persone esposte (relativamente agli effetti di fastidio generalizzato, disturbo del sonno o altro) e una sintesi non tecnica di facile consultazione per il pubblico.

Per preparare il documento contenente le indicazioni dell'Allegato 5 non è necessario aspettare la conclusione dello studio del Piano, infatti molte delle voci sopra elencate sono propedeutiche al Piano stesso, per cui devono essere già concluse agli inizi del lavoro (ad es. la mappa del rumore o la ricognizione delle misure già in atto).

Può essere utile seguire uno schema come quello della Tabella 38.

Tabella 38 - *Schema tipo per individuare gli interventi del Piano d'Azione*

Sorgente sonora	Misure per la riduzione	Effetto di riduzione atteso	Costo stimato	Autorità competente	Conflitti	Orizzonte temporale	Livello di priorità	Valore aggiunto in altri settori
-----------------	-------------------------	-----------------------------	---------------	---------------------	-----------	---------------------	---------------------	----------------------------------

2.3.8 Passo 8: adozione e monitoraggio

Scopo: l'adozione del Piano assicura la sua messa in opera ed il monitoraggio delle sue fasi, nonché dell'effettiva validità delle scelte effettuate, permettendo di effettuare eventuali interventi di ottimizzazione.

È necessario monitorare il Piano costantemente e verificare ogni anno le misure adottate.

2.3.9 Passo 9: revisione e aggiornamento

Scopo: aggiornare il Piano d'Azione con i cambiamenti delle situazioni d'emissione e di esposizione acustiche.

Il Piano d'Azione può risentire fortemente dei cambiamenti in atto nel territorio, come la diminuzione del traffico o al contrario il suo incremento, a seguito di nuovi insediamenti industriali o di politiche commerciali. I livelli sonori, gli obiettivi di riduzione e i provvedimenti adottati vanno pertanto controllati e, se necessario, modificati conformemente ai nuovi scenari acustici in atto.

In assenza di sostanziali modifiche, il Piano va comunque aggiornato ogni 5 anni dalla data della sua approvazione [Cfr. Tabella 1].

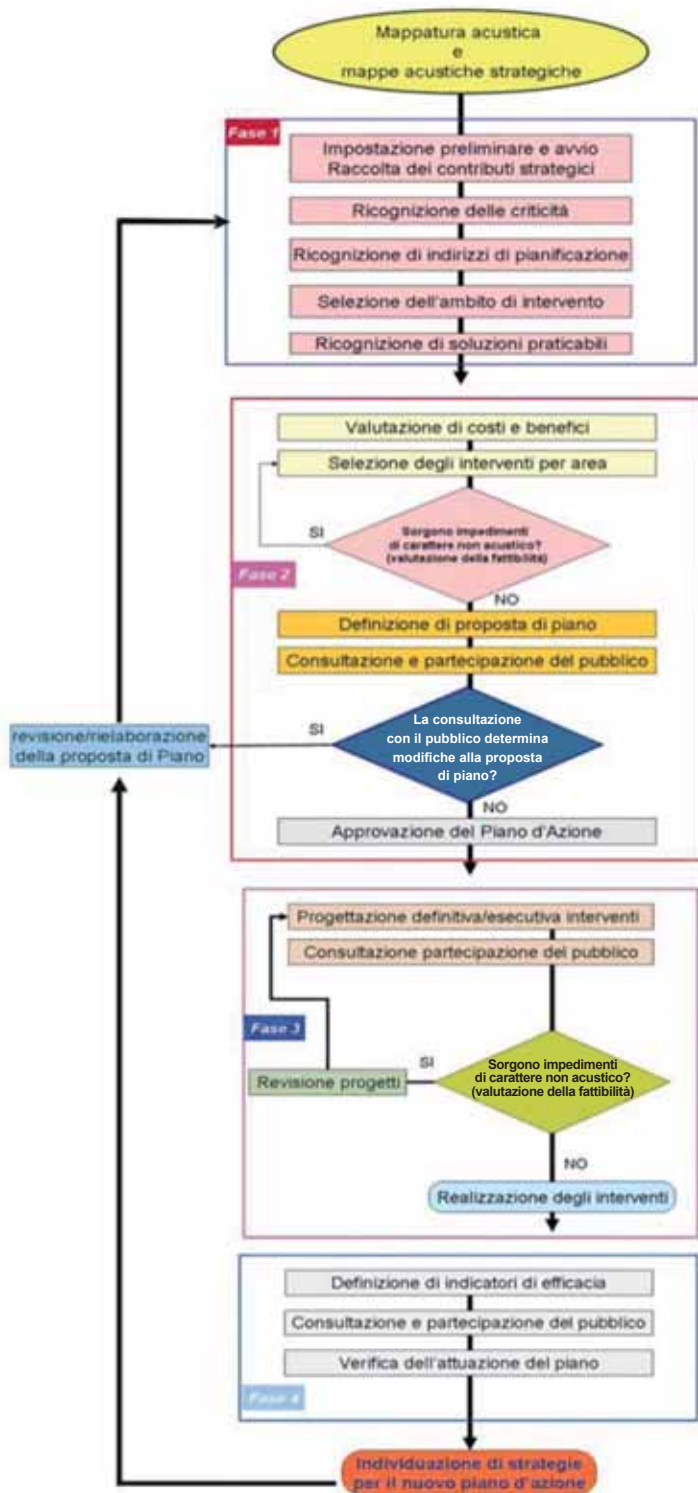


Figura 5 - Lo schema di realizzazione di un Piano d'Azione, adattato dalla norma UNI/TR 11327, "Criteri per la predisposizione dei piani di azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico e i relativi effetti", 2009

2.4 **Bibliografia**

Affenzeller J., Rust A., *Road traffic noise, a topic for today and future*, Atti del convegno VDA Technical Congress, Ingolstadt 2005.

APAT, *Piani di risanamento e mappature acustiche delle infrastrutture lineari*, Atti del Seminario APAT, Roma 2008.

APAT, *Annuario dei dati ambientali*, Roma 2007.

Bassanino M., Galbusera E., *Revisione delle linee guida per i piani comunali di risanamento acustico*, APAT, 2004.

Bellomini R., Luzzi S., Melloni A., Recenti S., *Strategie per la progettazione e la gestione del risanamento acustico negli agglomerati urbani*, II Giornata di studio sull'applicazione della Direttiva 2002/49/CE, Firenze 2009.

Berglund B., Lindvall T., Schwela D.H., *Guidelines for Community Noise*, World Health Organization, 1999.

Bertellino F., Wetzel E., *L'utilizzazione dei modelli matematici per la valutazione d'impatto acustico prevista dalle normative regionali*, Atti del 27° Convegno dell'Associazione Italiana d'Acustica, Genova 1999.

Bertoni D., *Noise abatement strategies in urban areas: the role of local authorities*, in Atti del Congresso EURONOISE, Napoli 2003.

Bertoni D., Campolieti D., Bonucchi E., Pirondi A., *Risanamento acustico in ambiente urbano: l'esperienza della città di Modena*, Atti del congresso "Controllo ambientale degli agenti fisici: dal monitoraggio alle azioni di risanamento e bonifica" organizzato da ARPAP e Regione Piemonte a Torino, 2003.

Brambilla G., Licitra G., Lisciandrello G., Peretti A., *Dalla classificazione acustica del territorio al risanamento: esperienze a confronto*, Atti del Seminario dell'Associazione Italiana d'Acustica, Ragusa 2005.

Brambilla G., Poggi A., Licitra G., *Indicazioni operative per la costruzione dell'indicatore "Popolazione esposta al rumore", in riferimento alla Direttiva Europea 2002/49/CE, RTI CTN_AGF 1/2005*, 2005.

Brambilla G., Poggi A., Bojola R., *et al.* *Procedure per la conversione dei dati esistenti sul rumore ambientale nei descrittori previsti dalla Direttiva Europea 2002/49/CE*” Rapporto di ricerca CNR- Istituto di Acustica “O.M.Corbino”, Roma 2005.

Brambilla G., Franchini A., Bertoni D., Callegari A., *Effetti della Direttiva 2002/49/CE sulla metrologia e sui limiti del rumore ambientale*, Atti Seminario dell’Associazione Italiana d’Acustica “La Direttiva 2002/49/CE e il suo impatto sulla legislazione italiana”, Pisa 2004.

Brambilla G., *La conversione dei vigenti descrittori del rumore ambientale nei livelli Lden e Lnight introdotti dal D.Lgs.n. 194/2005*, Atti del 6° Congresso CIRIAF, Perugia 2006.

Callegari A., Poli M., *La classificazione acustica dei territori comunali: problemi, opportunità, prospettive*, Atti del Convegno dell’Associazione Italiana d’Acustica, Firenze 2007.

Callegari A., Poli M., *Il recepimento italiano della Direttiva 2002/49/CE: riflessioni e proposte per il coordinamento con la normativa vigente ai sensi della L.447/95*, Atti del Convegno dell’Associazione Italiana d’Acustica, Milano 2008.

Callegari A., Poli M. *et al.*, *Linee guida relative alla caratterizzazione acustica dei territori comunali*, Rapporto scientifico di APAT ISBN 978-88-448-0325-4, 2007.

Cerofolini O., Fagotti C., Licitra G. *et al.*, *Linee guida per l’elaborazione di piani comunali di risanamento acustico*, Linee guida ANPA n.1, 1998.

CETUR, *Guide du bruit des transports terrestres Prévision des niveaux sonores*, CD, 1980.

Curcuruto S., Atzori D., Betti R., *et al.*, *Il risanamento acustico in Italia: interventi, strategie, novità*, Atti del Convegno dell’Associazione Italiana d’Acustica, Milano 2008.

Den Boer L.C., Schrotten A., *Traffic noise reduction in Europe. Health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise*, T&E (European Federation for Transport and Environment), Brussels 2007.

ECAC.CEAC, *Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports*, Doc .29, 1997

EU Commissione *Politiche future in materia di inquinamento acustico* - Libro verde della Commissione europea - Bruxelles, 4/11/96, COM(96) 540.

EU Commissione *Positions papers on noise EU indicators*, Report della Commissione Europea, Direttorato Generale Ambiente ISBN 92-828-8953-X , Luxemburg 2000.

Falvo A., Marabucci A., *L'analisi costi benefici applicata alle infrastrutture di trasporto*, Working Paper n.87, Università Roma Tre, 2008.

Fogola J., Romano R., *Piani di azione e piani di risanamento acustico*, Atti del convegno "La Direttiva: 2002/49/CE determinazione e gestione del rumore ambientale e suo impatto sulla legislazione italiana", Pisa 2004.

Isensee S., *Fighting Traffic Noise at the Source*, Atti del convegno Euronoise, Napoli 2003.

Kloth M., Vancluysen K., Clement F., *et al.*, *Practitioner handbook for Local Noise Action Plans*, SILENCE Project Report, 2008.

Karatsovis C., Dyne S.J.C., *Instrument for soundscape recognition, identification and evaluation: an overview and potential use in legislative application*, Atti di Institute of Acoustics'08, v. 30, 2008.

Licitra G., *Rassegna dei modelli esistenti per il rumore*, ANPA, 1999.

Licitra G., Boccini L., Cerchiai M., *et al.* *Confronto fra gli indicatori proposti dalla commissione europea e la normativa italiana: l'effetto della correzione per le riflessioni*. Atti del Convegno dell'Associazione Italiana d'Acustica, Trani 2000.

Licitra G., Elia G., Franchini A., Peretti A., *La direttiva 2002/49/CE: determinazione e gestione del rumore ambientale e suo impatto sulla legislazione italiana*, Atti del convegno dell'Associazione Italiana di Acustica, 2004.

Licitra G., Nolli M., Brambilla G., *Valutazione dell'esposizione al rumore della popolazione: stato dell'arte, analisi critica, proposte operative*, Istituto d'Acustica "Corbino", APAT, 2006.

Licitra G., Nolli M., *Mappatura del territorio e disturbo da rumore*, Atti del convegno "Il disturbo da rumore", Firenze 2008.

Marangon F., *La valutazione dell'impatto acustico degli aeroporti. Aspetti socio-economici*, Working Paper No. 03-03-eco, Università degli studi di Udine, Dipartimento di Scienze Economiche, 2003.

Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, *Reken-en meetvoorschrift railverkeerslawaa*i, novembre 1996.

NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), Article 6 in *Arretè du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routieres*, Journal Officiel, maggio 1995.

Pascali M. *Acustica. Ambiente esterno*, Editore: Grafill ISBN: 8882073386, 2009.

Poggi A., Fagotti C. *et al.*, *Linee guida per la rilevazione di dati utili per la stesura della relazione biennale sullo stato acustico dei Comuni*, ANPA, 2001.

Poggi A. *et al.*, *Linee guida per la definizione dei piani di risanamento in Toscana*, ARPAT, 2007.

Probst W., Petz M., *Noise mapping, hot spot detection and action planning – an approach developed in the frame of the EC-project Quiet City*, Atti del convegno Internoise, Istanbul, 2007.

Renshaw N., *Eu actions for Urban Mobility - Response to the public consultation of the European Commission on a new Action Plan on Urban Mobility*, European Federation for Transport and Environment, Brussels 2008.

Rete Ferroviaria Italiana - RFI, *Piano d'azione per gli assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno negli agglomerati con più di 250.000 abitanti ai sensi del D.Lgs. n.194 del 19/08/05*, Roma 2008.

Roovers M.S., Van Blokland G.J., *Combined effects of sources measures on road traffic noise annoyance in three major european cities*, Atti di Forum Acousticum 2005.

Sacchetti F., Curcuruto S., Attori D., Betti R., Marsico G., Selvaggio R., Stortini M., *L'esperienza di APAT nell'analisi dei Piani di Risanamento delle Infrastrutture stradali*, 2008.

Sogni R. *et al.*, *Linee guida per la caratterizzazione acustica delle aree urbane*, ARPA Emilia-Romagna, 2001.

UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione - Acustica: UNI/TR 11252 *Procedure di conversione dei valori di LA, EQ diurno e notturno e di LVA nei descrittori LDEN e LNIGHT*, Rapporto tecnico 2009.

UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione - Acustica: UNI/TR 11327. *Criteri per la predisposizione dei piani di azione destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico e i relativi effetti*, Rapporto tecnico, 2009.

W.G. Railway Noise, *Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement*, European Commission", 2003.

W.G. Transportation, *Transportation noise action plan*, Scottish Government, 2006.

W.G. Assessment of Exposure to Noise., *Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data exposure*, European Commission, 2007.

Wolfram M., *Expert Working Group on Sustainable Urban Transport Plans* Final Report Deliverable D4 for Forschung & Beratung GmbH, www.rupprecht-consult.de, 2004.

Wolfram M., *Sustainable Urban Transport Plans (SUTP) and urban environment: Policies, effects, and simulations - Review of European references regarding noise, air quality and CO2 emissions*, Final Report for Forschung & Beratung GmbH, www.rupprecht-consult.de, Cologne 2005.

Principali siti consultati

<http://circa.europa.eu/Public/irc/env/Home/main>, portale CIRCA: (Collaborative Workspace with partners of the European Institutions about Environment - Communication & Information - Resource Centre Administration).

<http://ec.europa.eu/environment/noise/>, portale della Commissione Europea - Finestra Ambiente/Rumore.

<http://silviaproject.com>, progetto SILVIA: (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control).

<http://www.altracustica.org>, portale dedicato all'acustica promosso da diversi sponsors italiani che operano nel settore.

<http://www.arpat.toscana.it>, sito Web di ARPAT, Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana.

<http://www.autostrade.it>, portale di Autostrade per l'Italia.

<http://www.calm-network.com>, progetto CALM: (Coordination of European Research for Advanced Transport Noise Mitigation).

<http://www.ciriac.it>, portale del Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento da Agenti Fisici.

<http://www.eea.europa.eu/themes/noise>, Portale dell'Agenzia Europea per l'Ambiente - Tematica: Rumore.

<http://www.enac-italia.it>, portale dell'Ente Nazionale dell'Aviazione Civile.

<http://www.euro.who.int/Noise>, portale dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, ufficio regionale europeo – Finestra Rumore.

<http://www.defra.gov.uk>, Department for policy and regulations on the environment, food and rural affairs - UK Government.

<http://www.filodiritto.com>, portale di legislazione e diritto italiano e internazionale, a cura di Antonio Zama.

<http://www.imagine-project.org>, progetto IMAGINE: (Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment).

<http://www.noiseinthecity.eu>, atti del convegno "Noise in the City" tenutosi ad Amsterdam, (Netherlands) il 14.03.2008.

<http://www.qcity.org>, progetto Q-City: (Quiet City Transport).

<http://www.rfi.it>, portale della Rete Ferroviaria Italiana.

<http://www.silence-ip.org>, progetto SILENCE: (Quieter Surface Transport in Urban Areas).

<http://www.stairrs.org>, progetto STAIRRS: (Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing measures for Railway Systems).

<http://www.stradeanas.it>, portale dell'Azienda Nazionale Autonoma delle Strade Statali.

3 RIDUZIONE DEL RUMORE ALLA SORGENTE

3.1 Generalità

3.1.1 Le fasi dell'analisi

La definizione delle aree critiche e la stima della popolazione esposta deve essere eseguita, in primo luogo, nello scenario acustico senza la presenza di eventuali interventi antirumore già attuati lungo le infrastrutture.

Successivamente si provvede alla localizzazione di tutte le opere di bonifica acustica (in particolare barriere antirumore e pavimentazione fonoassorbente) già realizzate lungo gli assi stradali in esame. In tale scenario si effettuano di nuovo le simulazioni modellistiche per i tratti di strada interessati, ridefinendo quindi le aree critiche e la numerosità della popolazione esposta.

In ultima analisi si individuano le aree critiche “residue” e gli interventi antirumore attuabili per garantire il rispetto dei limiti acustici stabiliti dalla normativa.

Si possono schematicamente riassumere le diverse fasi in:

- FASE 1: SCENARIO SENZA INTERVENTI ANTIRUMORE – Individuazione delle aree critiche.
- FASE 2: SCENARIO SENZA INTERVENTI ANTIRUMORE – Stima della popolazione esposta.
- FASE 3: SCENARIO CON INTERVENTI ANTIRUMORE IN ESSERE – Individuazione delle aree critiche residue
- FASE 4: SCENARIO CON INTERVENTI ANTIRUMORE IN ESSERE – Stima della popolazione esposta nelle aree critiche residue.
- FASE 5: DEFINIZIONE DI INTERVENTI ANTIRUMORE da prevedere e mettere in atto nelle aree critiche.
- FASE 6: DEFINIZIONE DI INTERVENTI ANTIRUMORE futuri da prevedere e mettere in atto nelle aree critiche residue.

3.1.2 La valutazione degli effetti

La realizzazione di una nuova infrastruttura di trasporto comporta un impatto acustico sull'ambiente sia in fase di cantiere che in fase di esercizio.

D'altra parte la gravità dell'impatto dell'opera sui ricettori sensibili dipende da sia dalla tipologia del ricettore, dalla tipologia di infrastruttura, dalla eventuale reversibilità degli effetti e dalla distanza dell'infrastruttura dal ricettore interessato.

Mentre le attività di cantiere si protraggono per un periodo di tempo determinato, e ai fini della normativa italiana possono ritenersi attività temporanee o transitorie, nella valutazione degli effetti acustici dell'opera devono necessariamente essere valutati i livelli di rumore emessi in fase di esercizio in diverse ipotesi di realizzazione del progetto. I modelli previsionali, come già accennato, consentono di stimare il livello del rumore in tutti i punti di valutazione sia nel tempo di riferimento diurno che notturno ed in particolare presso i ricettori sensibili individuati.

Il confronto tra i livelli di rumore *ante operam* e *post operam* può essere espresso in termini di dB(A), o meglio in numero di classi di rumorosità ai sensi della UNI 9884, ed è in grado di evidenziare le zone dove le opere di mitigazione sono più urgenti.

Ai fini dell'individuazione degli interventi di bonifica acustica per le infrastrutture di trasporto è opportuno distinguere tra *infrastrutture di nuova costruzione* e *infrastrutture già esistenti*.

Nel primo caso l'elasticità delle scelte progettuali é tale da consentire un ampio ventaglio di possibilità riguardanti la scelta del tracciato, la geometria trasversale, la tipologia e gli arredi del corpo dell'infrastruttura, le pavimentazioni fonoassorbenti o i binari anti-rumore.

Nel secondo caso, invece, il vincolo della situazione esistente limita le scelte attuabili, e richiede un'attenta verifica dell'efficacia e opportunità di soluzioni infrastrutturali, come le varianti al tracciato e la modifica delle tipologie costruttive esistenti, e le tecnologie di mitigazione, come le barriere, i terrapieni, le semicoperture.

3.1.3 L'individuazione e la caratterizzazione delle criticità

Un'area critica lungo un'infrastruttura di trasporto è costituita da una porzione di territorio in cui vi è la presenza di ricettori caratterizzati dal superamento di un valore limite [Cfr.2.3.3 - Individuazione e analisi delle criticità].

Le aree critiche possono essere di tre differenti tipologie:

- aree non edificate, costituite da zone protette o parchi pubblici,
- aree edificate, costituite da ricettori residenziali e/o sensibili (ospedali, scuole, case di cura ecc.),
- aree miste, costituite da aree edificate e non edificate.

La delimitazione dei confini delle aree critiche avviene secondo la seguente procedura:

- 1) identificazione di tutti i ricettori caratterizzati dal superamento dei valori limite;
- 2) determinazione, per ogni ricettore individuato, del tratto di sorgente che determina il campo acustico a cui essi sono soggetti;
- 3) individuazione delle sorgenti critiche, ossia dell'insieme continuo dei tratti di sorgenti che producono superamenti ai ricettori;
- 4) individuazione delle aree critiche;
- 5) calcolo del punteggio di priorità, ad esempio secondo il citato algoritmo stabilito dalla *Deliberazione del Consiglio Regionale della Regione Toscana n. 77 del 22/02/00* (questo richiede che sia individuata la soluzione, i cui costi stanno al denominatore del calcolo del punteggio).

La ricognizione delle criticità nell'ambito di un agglomerato urbano viene effettuata dapprima separatamente per le infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali e per le aree industriali. Successivamente vengono individuate e caratterizzate le aree in cui si verifica la presenza contemporanea di criticità connesse a più sorgenti. Ad esempio, se l'intervento interessa un'infrastruttura già esistente, è necessario che la progettazione proceda prendendo in considerazione i seguenti aspetti:

- a) classificazione dell'infrastruttura in base a quanto stabilito dal codice della strada;
- b) rilevazione dei flussi veicolari;
- c) rilevazione dello spettro di emissione acustica dell'infrastruttura, nei periodi di riferimento diurno e notturno;
- d) acquisizione della planimetria e delle sezioni significative della zona interessata, avendo cura di indicare gli edifici che si devono proteggere;
- e) mappatura acustica della zona interessata, rilevando inoltre per gli edifici da proteggere lo spettro medio del livello di rumore, in corrispondenza dell'edificio;
- f) calcolo dei massimi livelli di rumore immessi, in relazione ai limiti stabiliti dalla zonizzazione del territorio, con particolare riferimento agli edifici da proteggere;
- g) valutazione dei superamenti e scelta dei possibili interventi per riportare i livelli di rumore ai valori consentiti;

- h) stima della riduzione ottenibile con tali interventi;
- i) verifica in opera dell'efficacia raggiunta.

Nel caso in cui l'infrastruttura stradale sia ancora da realizzare, la fase di progettazione si differenzia solamente per quanto riguarda la rilevazione dei flussi veicolari e degli spettri di emissione (fasi b) e c)). In questo caso, infatti, si deve procedere assumendo uno spettro tipo di emissione, da scegliere sulla base della classificazione stabilita in a) e secondo quanto specificato nella normativa tecnica prEN 1793-3/97 e a una stima dei flussi veicolari.

I decreti *D.P.R. n.459 del 18/11/98* e *D.P.R. n.142 del 30/03/04* prevedono che gli enti gestori delle infrastrutture di trasporto, quando non sia possibile risanare altrimenti, debbano prevedere gli interventi di risanamento dell'isolamento acustico delle facciate nei loro piani di risanamento. Tale isolamento acustico deve far in modo che i livelli sonori prodotti dalle loro infrastrutture non superino a finestre chiuse determinati valori limite, all'interno di certe categorie di edifici. Le categorie sono, nello specifico, le scuole e gli ospedali esistenti, ma si auspica di riferire tali interventi anche alle civili abitazioni. Resta il problema di coordinare l'isolamento degli ambienti, per mezzo degli infissi, con le norme igieniche dei regolamenti edilizi, che obbligano di garantire idonea ventilazione ai locali, come, ad esempio, la cucina o il bagno, in modo da evitare la formazione di condense o muffe sui muri.

3.1.4 Strumenti economici per l'abbattimento del rumore

Le azioni economiche rappresentano un forte strumento per la riduzione del rumore generato dalle infrastrutture di trasporto. Tra i mezzi economici messi a punto all'interno delle strategie di risanamento, abbiamo già parlato, ad esempio, nei paragrafi precedenti [Cfr. 2.3.6.1 Impatto sulla politica locale] della *willingness to pay* (W.T.P.) o disponibilità a pagare, ovvero quanto il cittadino sia disposto a pagare per ottenere certi benefici acustici. Ma gli strumenti economici nella lotta al rumore sono sicuramente di più ampia portata.

Nella Tabella 39 sono riportati i principali strumenti economici individuati all'interno del WG 5 della Commissione Europea con le relative difficoltà di implementazione.

Tabelle 39 a), 39 b), 39 c), 39 d) - *Strumenti economici nella lotta al rumore* [da *Inventory of noise mitigation method*, European Commission - WG5]

Strumento	Obiettivo	Commento
Tariffazioni e tasse antirumore	Incentivo a:	
Atterraggi e decolli a quote più elevate Tasse per gli aerei rumorosi	Ridurre le emissioni	Se paragonate ad altre misure, le tasse sul rumore sono una iniziativa abbastanza economica da implementare
Rimborso delle tasse per aerei, treni o auto silenziose	Ridurre le emissioni	
Tassa sulle auto rumorose	Passare a modalità di trasporto più rispettose dell'ambiente Rilanciare l'abbattimento del rumore	Non ampiamente usate, nella lotta al rumore, perché vi è: <ul style="list-style-type: none"> - paura di perdita di fiducia da parte dei politici locali; - difficoltà nella scelta della tassa ottimale; - problemi di compatibilità col sistema legale; - paura che essa comporti anche ulteriori costi di transizione
Tassa sulla benzina	Riduce l'impatto dei veicoli rumorosi diminuendo la velocità o accorciando i percorsi Promuove l'uso di veicoli ecologici (che sono anche più silenziosi)	
Pedaggio sulle strade	Riduce la congestione	

Strumento	Obiettivo	Commento
Risarcimenti	Incentivo a:	
Per la svalutazione delle case	Ridurre l'impatto del rumore sui singoli	Difficoltà a quantificare la perdita di benessere
Per la perdita del benessere	Neutralizzare gli effetti del rumore sulla salute Fornire degli incentivi per chi paga i risarcimenti	Meno efficiente degli interventi di riduzione del rumore

Strumento	Obiettivo	Commento
Aiuti finanziari	Incentivo a:	
Sovvenzioni alle case automobilistiche	Incoraggiano lo sviluppo di mezzi silenziosi	Queste misure, al contrario delle tasse, sono universalmente apprezzate
Incentivi all'acquisto di auto silenziose	Incoraggia l'acquisto di veicoli silenziosi in modo da abbassarne il prezzo di mercato	C'è il rischio di aumentare esponenzialmente il numero di veicoli e quindi l'inquinamento complessivo
Riduzione delle tasse per equipaggiamenti o comportamenti silenziosi	Promuove modalità di trasporto meno dannose per l'ambiente	

Strumento	Obiettivo	Commento
Licenze di emissioni negoziabili	Incentivo a:	
Certificati per le emissioni dei veicoli	Ridurre l'inquinamento acustico può ridurre i costi	È una misura spesso osteggiata dalle case automobilistiche I possibili vantaggi sarebbero: <ul style="list-style-type: none"> - minimizzazione dei costi totali di abbattimento del rumore; - autorizzazione di standards precisi per la vendita; - intervento dove viene meno un buon comportamento dei guidatori.

3.2 Riduzione del rumore alla sorgente: infrastrutture stradali

3.2.1 Caratteristiche acustiche della sorgente sonora

Le infrastrutture di trasporto stradale possono essere identificate come sorgenti di rumore, con uno sviluppo dimensionale prevalente, secondo un'unica direzione.

Il livello di potenza acustica, caratteristico di una strada di lunghezza finita, dipende da diversi fattori, quali ad esempio:

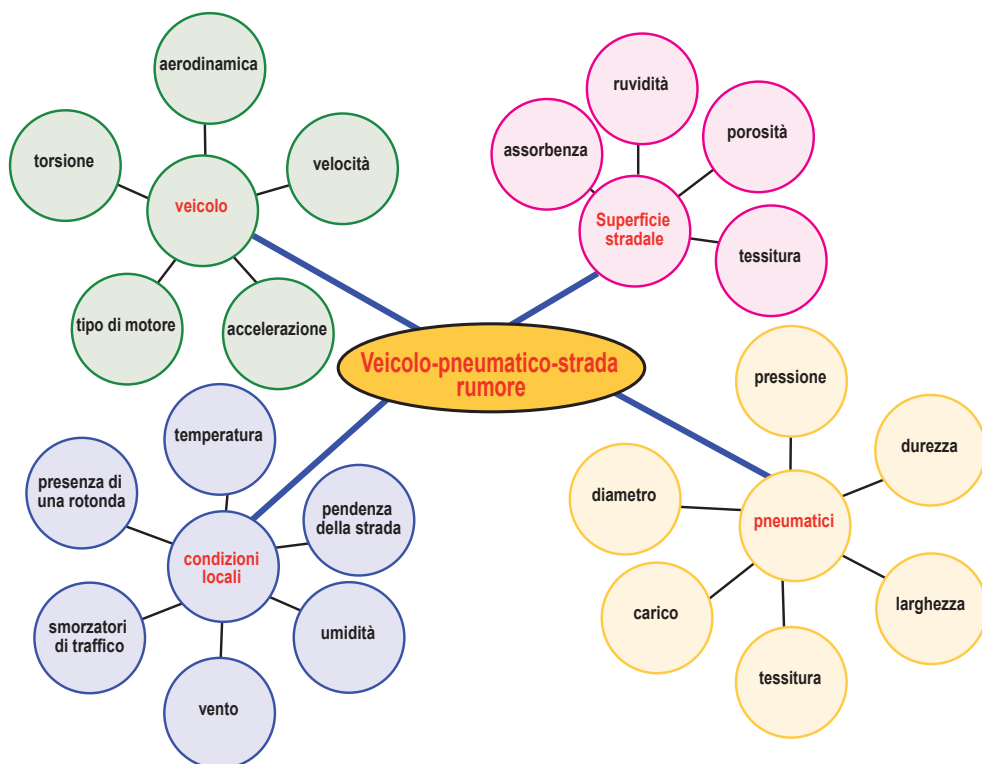
- la portata del flusso veicolare;
- il numero di corsie per senso di marcia;
- le dimensioni della carreggiata;
- la tipologia dei veicoli e il rapporto tra la numerosità delle diverse categorie.

Altri fattori intervengono, inoltre, quando si valuta il livello equivalente generato presso un ricettore:

- l'altezza del piano stradale rispetto alla quota del punto ricevente;
- la lunghezza del tratto stradale, le cui emissioni contribuiscono realmente al livello sonoro registrabile in un punto ricettore del rumore ad esso associato;
- la presenza di barriere naturali o artificiali, di dimensioni variabili, poste tra sorgente e ricettore.

L'inquinamento acustico generato da traffico stradale varia secondo le stagioni, le ore del giorno, la posizione delle sorgenti, le intensità ed il tipo di traffico; occorre quindi definire gli opportuni criteri per individuare le zone in cui si verificano superamenti dei limiti normativi e quantificare gli stessi, in relazione alla variabilità spaziale e temporale che caratterizza tali fenomeni.

Figura 6 - Schema a blocchi relativo al meccanismo di generazione del rumore per il traffico autoveicolare. Influenze del pneumatico, della ruota, del veicolo e del manto stradale (Schema adottato da ASTRA 2002) [da SILVIA-TUW-039-02-WP5- 120304]



Per quanto riguarda la descrizione del rumore stradale, è possibile distinguere le sorgenti e le cause del rumore stesso in:

- Il *rumore meccanico* (del motore, dello scarico della marmitta, delle vibrazioni meccaniche interne, del sistema di raffreddamento, degli organi meccanici di guida). Esso varia in funzione della potenza e del regime del motore.
- Il *rumore pneumatico/strada* (vibrazionale, di rotolamento, dovuto al pompaggio dell'aria tra il pneumatico e la strada durante il rotolamento, altri rumori di frizionamento e vibrazione degli aggregati che costituiscono il manto stradale);
- Il *rumore aerodinamico*, che è circa proporzionale al quadrato della velocità e dipende dal coefficiente di penetrazione aerodinamica del veicolo.

- d) Le condizioni locali dell'infrastruttura, larghezza e pendenza della strada, manto stradale, condizioni di traffico.

Come mostrato in Figura 7, in funzione della velocità del veicolo, risultano predominanti componenti diverse di rumore: il rumore dovuto al rotolamento è predominante a partire da circa 40-50 km/h per le autovetture e da 70 km/h per i mezzi pesanti, la componente aerodinamica è considerevole per velocità molto alte, mentre il rumore del motore predomina alle velocità più basse.

Figura 7 - Contributi al rumore veicolare totale: il rumore di propulsione (engine noise) di rotolamento, per veicoli leggeri (linea continua) e pesanti (linea tratteggiata) su di una superficie stradale densa. Per velocità della vettura (speed) superiori a 50 km/h il rumore stradale è quasi completamente dovuto al rotolamento [IPG - Dutch Innovation Programme - Inventory study of basic knowledge on tyre/road noise, DWW-2005-022, 2005]

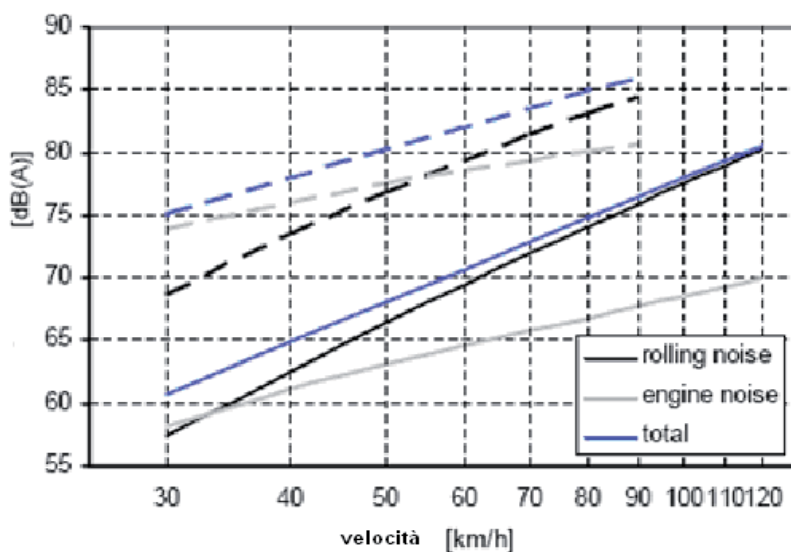


Figura 8 - *Le principali fonti di rumore in un'auto in movimento* [da SILVIA project SILVIA-TUW-052-04-220305]

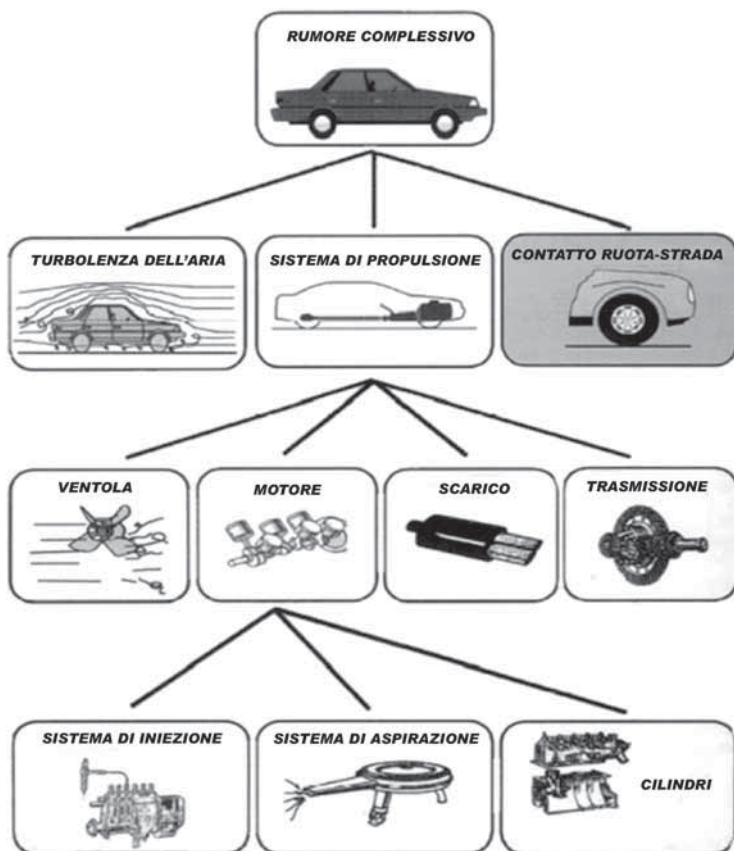


Tabella 40 - *Esempi di spettri di rumore da traffico stradale e ferroviario di riferimento ad oggi in uso*

f (Hz)	NF S 31-051	NT ACOU 062	PrEN 1793-3	SOCIETÁ AUTOSTRADE	
	L _{i,N} in dB(A)				
100	-23	-20	-20	-21,8	62
125	-21	-20	-20	-21,8	62
160	-17,3	-18,5	-18	-21,8	62
200	-15,8	-17	-16	-17,8	66
250	-12,5	-15	-15	,16,8	67
315	-13,5	-14	-14	-16,3	67,5
400	-12,7	-13	-13	-13,8	70
500	-12,1	-11,5	-12	-13,3	70,5
630	-10,8	-11	-11	-13,3	70,5
800	-10,4	-9	-9	-10,8	73
1000	-9,9	-8,5	-8	-8,8	75
1250	-10,1	-9,5	-9	-7,8	76
1600	-9,9	-10	-10	-7,3	76,5
2000	-10,7	-11,5	-11	-10,8	73
2500	-10,6	-14,5	-13	-11,8	72
3150	-13,7	-15,5	-15	-14,3	69,5
4000	-16,9	-16,5	-16	-17,8	66
5000	-19,4	-18	-18	-20,3	63,5

Da un punto di vista acustico, i *tipi di veicolo* sono omologati secondo le procedure specificate dalla *Direttiva 92/97/CE* e dalla *UN-ECE Regulation n. 51*, che seguono lo standard ISO 362, oggi in corso di revisione. L'emissione acustica delle ruote, invece, è definita in base alla *Direttiva 2001/43/CE* nella quale sono indicate sia le procedure per i test delle gomme ed i relativi limiti acustici sia le caratteristiche di sicurezza.

Nonostante l'importanza del problema rumore e dell'attenzione dei cittadini, le case automobilistiche non investono abbastanza sulla silenziosità dei veicoli, né tanto meno si dirigono verso scelte progettuali di veicoli a bassa velocità.

Anche i mezzi pubblici, a motore diesel, oltre ad inquinare, hanno ancora livelli di emissione sonora molto elevati: la soluzione potrebbe essere l'uso di veicoli a propulsione elettrica incentivando il rinnovo del parco macchine esistente con fondi

statali. D'altra parte, lo sviluppo di mezzi a bassa emissione di gas serra e particolato si accompagna a soluzioni tecniche a bassa emissione anche dal punto di vista acustico ed ad un uso più razionale di carburante.

Da un punto di vista normativo, è essenziale adottare norme a livello nazionale ed europeo più stringenti obbligando le case costruttrici ad adeguare i propri prodotti a standard più elevati.

In sede europea, sono già state emanate una serie di Direttive CEE, le quali impongono alle case automobilistiche valori massimi di emissione sonora gradualmente più restrittivi.

Un primo effetto di tali norme è il lento ma graduale sviluppo di camion "silenziosi" che rappresentano oggi, in tutta Europa, lo standard raggiunto dalla tecnologia in questo settore.

Nelle tabelle che seguono si riportano i limiti di emissione secondo la *Direttiva 92/97/CEE* (che modifica la *Direttiva 70/157/CEE*), per i veicoli a motore e i loro dispositivi di scarico.

Tabella 41 - *Limiti di emissione acustica per i mezzi a quattro o più ruote* [tratto dalla Direttiva 92/97/CEE]

Tipo di veicolo a motore	Valore limite in dB(A)
Veicoli per il trasporto di persone con al massimo nove posti a sedere, compreso quello del conducente	74
Veicoli per il trasporto di persone, con più di nove posti a sedere, compreso quello del conducente, con massa massima autorizzata superiore a 3,5 t:	
- con motore di potenza inferiore a 150 kW	78
- con motore di potenza superiore a 150 kW	80
Veicoli per il trasporto di persone con più di nove posti a sedere, compreso quello del conducente; veicoli per il trasporto merci:	
- con massa massima autorizzata superiore a 2 t	76
- con massa massima autorizzata superiore a 2 t ma non superiore a 3,5 t	77
Veicoli per il trasporto merci con massa massima autorizzata superiore a 3,5 t:	
- con motore di potenza inferiore a 75 kW	77
- con motore di potenza pari o superiore a 75 kW, ma inferiore a 150 kW	78
- con motore di potenza pari o superiore a 150 kW	80

Tabella 42 - *Limiti di emissione acustica per i mezzi a due e tre ruote* [tratto dalla Direttiva 92/97/CEE]

Tipo di veicolo a motore	Valore limite in dB(A)
Ciclomotori a due ruote con velocità:	
- < 25 km/h	66
- > 25 km/h	71
Ciclomotori a tre ruote	76
Motocicli con cilindrata:	
- ≤ 80 cm ³	75
- > 80 cm ³ , ≤ 175 cm ³	77
- > 175 cm ³	80
Motocicli a tre ruote	80

Tabella 43 - *Misure per regolare le emissioni dei mezzi pesanti proposte* [da Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M. *et al.*, EffNoise, *Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures, Final Report* - Volume I, 2004]

Misura	Priorità	Responsabilità	Riduzione potenziale in dB(A)	Tempo atteso
Migliorare le procedure burocratiche di approvazione delle misure antirumore per i mezzi pesanti	Molto alta	EU	1 - 3	5 - 7 anni
Imposizione di limiti più bassi per il rumore dei mezzi pesanti	Molto alta	EU	3 - 5	10 anni
Avanzamenti della ricerca scientifica per ridurre il rumore della propulsione dei mezzi pesanti	Alta	EU Stati Membri	Legato al punto precedente	3 - 5 anni
Definizione di limiti più stringenti per le emissioni di rumore da mezzi pesanti	Media	EU Stati Membri	1,5 - 3	3 - 5 anni

Tabella 44 - *Misure per regolare le emissioni dei mezzi leggeri, proposte* [da Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M. *et al.*, *EffNoise, Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures*, Final Report - Volume I, 2004]

Misura	Priorità	Responsabilità	Riduzione potenziale in dB(A)	Tempo atteso
Migliorare le procedure di approvazione della misura del rumore per i mezzi leggeri	Alta	EU	3 - 6	10 anni
Limiti più bassi per le emissioni di rumore dei mezzi leggeri da raggiungersi in 2 fasi	Media	EU	3 - 6	10 anni
Definizione di limiti più stringenti per le emissioni rumorose dei mezzi leggeri	Media	EU Stati Membri	1,5 - 3	3 - 5 anni

Tabella 45 - *Misure per regolare le emissioni dei motocicli, proposte* [da Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M. *et al.*, *EffNoise, Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures*, Final Report - Volume I, 2004]

Misura	Priorità	Responsabilità	Riduzione potenziale in dB(A)	Tempo atteso
Rendere obbligatorio l'uso di silenziatori ai dispositivi di emissione	Molto alta	EU Stati Membri	5 - 10	1 - 2 anni
Osservanza dei divieti relativi alle emissioni rumorose non necessarie	Alta	Stati Membri	> 10	Subito
Miglioramento delle procedure di misura del rumore per i motocicli	Media	EU	> 5	4 - 5 anni
Limiti più bassi per i motocicli da raggiungersi in diverse fasi	Media	EU	3 - 6	10 anni
Incentivi economici per motocicli a basso rumore	Media	Stati Membri	2	

3.2.2 I tipi di interventi

È possibile suddividere gli interventi di riduzione del rumore stradali in due categorie principali a seconda che interessino i singoli veicoli o il traffico nella sua globalità. Nel seguito verranno illustrate le possibili azioni nei diversi ambiti.

In particolare gli *interventi strategici che trattano più sorgenti* sono individuabili in

- riduzione del traffico,
- amministrazione/organizzazione del traffico,
- interventi di tipo economico: tasse e costi per il rumore, incentivi per una maggiore silenziosità.

Mentre gli *interventi sulle singole sorgenti* riguardano:

- la promozione di modalità di trasporto pubblico a bassa emissione;
- l'implementazione di superfici stradali a basso rumore;
- l'impiego di pneumatici a bassa emissione;
- l'incentivazione di veicoli a bassa emissione;
- la promozione di comportamenti consapevoli da parte dei guidatori;
- la promozione di usi dell'auto alternativi;
- una efficiente manutenzione delle strade.

È comunque evidente come non tutte queste misure siano di competenza delle Autorità locali, ma dipendano anche da meccanismi economici di più grande portata e dal buon senso comune. A livello di programmazione territoriale e urbana, risulta indispensabile che l'obiettivo della riduzione del rumore diventi un criterio base per la definizione e la selezione di qualsiasi progetto e azione. Nelle Tabelle 46 e 47, si riportano alcune potenziali azioni di riduzione del rumore alla sorgente, l'arco temporale per la loro implementazione, la loro ricaduta territoriale, individuando gli attori economici del cambiamento.

Tabella 46 - *Potenziali misure di riduzione del rumore alla sorgente, espressi in dB(A)* [TOI Institute of transport Economics of Norway, 2005]

	Veicolo		Riduzione velocità	Superficie stradale	
	Motore	Ruota		Sottile / denso	Poroso
Prospettiva fra 5 anni	1 - 2	1 - 2	1 - 3	1 - 3	2 - 4
Prospettiva fra 10-15 anni	2 - 4	2 - 4	-	3 - 5	6 - 8
Effetto della misura	Internazionale	Internazionale	Locale	Locale	Locale
Chi paga	Industria / inquinatore	Industria / inquinatore	Industria / inquinatore	Gestore infrastruttura	Gestore infrastruttura

Tabella 47 - *Alcune possibili misure di riduzione del rumore da traffico veicolare alla sorgente* [da *Inventory of noise mitigations methods*, European Commission]

Azioni	Efficienza dB(A)
Standard tecnici applicati ai veicoli ed alle ruote (anno 2005)	2 - 3
Riduzione velocità in ambito urbano a 30 km/h	2 - 3
Guida più regolare	0 - 3
Divieto di circolazione mezzi pesanti	1 - 3
Riduzione del numero dei veicoli del 20%	1
Riduzione del numero dei veicoli del 50%	3
Riduzione del numero dei veicoli del 90%	10
Passaggio dall'auto privata al trasporto pubblico	6 - 9
Ridistribuzione delle corsie riservate ai mezzi pubblici	1 - 2

3.2.3 Interventi strategici che trattano più sorgenti

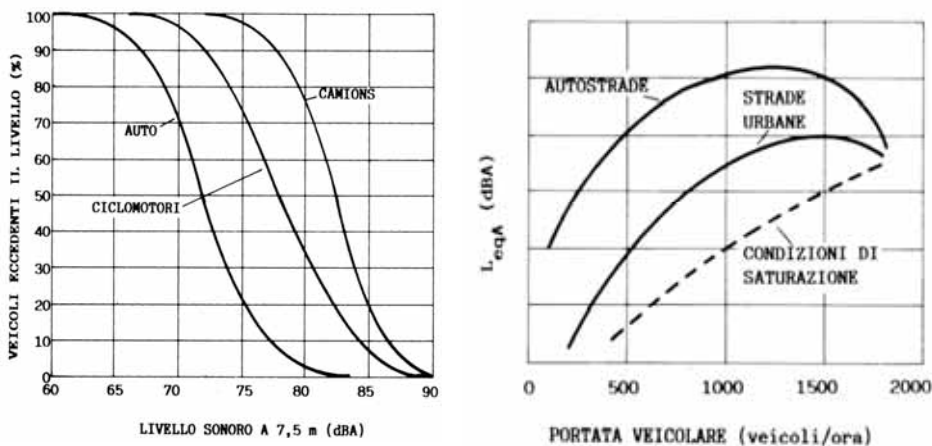
3.2.3.1 Riduzione del traffico

La riduzione del traffico in una città si ottiene sostanzialmente riducendo la mobilità privata e, di conseguenza, incrementando la funzionalità del trasporto pubblico.

I mezzi per la riduzione del traffico privato sono principalmente:

- l'introduzione di zone a traffico limitato (Z.T.L.);
- i divieti di circolazione a certe categorie di veicoli, ad esempio, a quelli inquinanti, o ai mezzi pesanti;
- la pedonalizzazione delle strade;
- una maggiore efficienza del trasporto pubblico: numero di infrastrutture e veicoli, frequenza, puntualità, itinerari.

Figura 9 - *Parte sinistra: esempio di ripartizione delle emissioni per tipologia di veicoli. - Parte destra: esempi di livelli di emissione in funzione del flusso veicolare per due differenti classi di infrastruttura stradale*



3.2.3.2 Organizzazione del traffico stradale

L'organizzazione del traffico urbano permette di ridurre notevolmente il rumore. È noto, infatti, come una maggiore fluidità del traffico, che consenta di ridurre al minimo le fermate e le ripartenze, e conseguentemente le accelerazioni sia associata a minori livelli di rumore, in ambito urbano, e come la riduzione della possibilità di crearsi delle code giovi, ovviamente, sia al clima acustico che alla qualità dell'aria.

Tali obiettivi sono raggiungibili solo attraverso un'attenta pianificazione del traffico, che tenga conto globalmente del fenomeno e non solo delle sue porzioni di esso, associate ad evidenti criticità acustiche. Risultano importanti quindi azioni di monitoraggio, per la realizzazione di banche dati relative ai veicoli circolanti e al traffico specifico di ogni città, e, per la creazione di modelli di simulazione affidabili.

In particolare, l'approccio al problema è molto pragmatico e parte dall'esame delle soluzioni più fattibili.

1) Misure strategiche

- suddivisione delle strade secondo i nuovi limiti di rumore, soprattutto nelle aree residenziali;
- nuova organizzazione viaria;
- creazione di zone con limite di velocità di 30 km/h;
- riduzione dei veicoli in ambiente urbano, mediante l'incremento del trasporto pubblico;
- maggiore efficienza del trasporto pubblico: numero di infrastrutture e dei veicoli, frequenza, puntualità, itinerari opportuni;
- sviluppo delle piste ciclabili;
- sviluppo di una rete di percorsi e spostamenti che disincentivi l'uso dell'auto privata;
- spostamenti e parcheggi più facili in periferia che in centro;
- parcheggi vicino alle linee dei mezzi pubblici;
- spostamento del traffico pesante fuori dal centro, mediante divieti totali o parziali;
- sostituzione dei semafori con le rotonde;
- sincronizzazione dei semafori rimasti (onda verde);
- creazione di '*chicanes*' per il rallentamento della velocità di marcia; al loro interno si possono inserire alberi o siepi o parcheggi per biciclette;
- gestione dei rifiuti mediante mezzi a bassa emissione sonora.

2) Metodi preventivi

- sviluppo dei modelli di traffico e di studio delle strade e dei veicoli, per prevedere le emissioni acustiche delle strade in base alle loro caratteristiche,
- studio delle emissioni acustiche di tutte le tipologie di veicoli,
- inclusione della variabile rumore nei criteri per la pianificazione del traffico.

3) Metodi correttivi, ovvero ricerca delle possibili soluzioni al rumore stradale, tenendo conto:

- della velocità di percorrenza di una strada;
- delle condizioni del manto stradale;
- delle caratteristiche di riflessione o assorbimento del manto stradale;
- delle caratteristiche degli edifici: orientamento, conformazione delle facciate, materiali;
- dell'orientamento della strada;
- del clima della zona.

Nelle Tabelle da 48 a 55 si riporta l'efficacia in termini di riduzione del livello sonoro ottenibile implementando di alcune azioni volte ad una migliore gestione del traffico e della viabilità urbana.

Tabella 48 - *Riduzione del rumore associata alla riduzione della velocità, espressi in dB(A)* [da SILVIA project SILVIA-TUW-052-04-220305]

Riduzione di velocità	Riduzione del rumore per i veicoli leggeri	Riduzione del rumore per i veicoli pesanti
Da 60 a 50 km/h	2,1 dB(A)	1,7 dB(A)
Da 50 a 40 km/h	2,7 dB(A)	2,1 dB(A)
Da 40 a 30 km/h	3,7 dB(A)	2,7 dB(A)

Tabella 49 - *Riduzione prevista del livello di rumore equivalente $L_{A,eq,24}$ a seguito della diminuzione del limite di velocità, espressi in dB(A)* [Kathmenn *et al.* 1999]

Limite di velocità prima		Limite di velocità dopo		Riduzione del rumore in dB(A)	
(veicoli leggeri) km/h	(veicoli pesanti) km/h	(veicoli leggeri) km/h	(veicoli pesanti) km/h	10% veicoli pesanti sul totale dei veicoli	20% veicoli pesanti sul totale dei veicoli
130	80	100	80	1,9	1,2
130	80	100	60	2,6	2,3
130	80	80	60	3,8	3,1
130	80	130	60	0,5	0,8

Tabella 50 - *Riduzione del rumore associata alla riduzione della velocità e alla riduzione del traffico, espressi in dB(A)* [DRI 2004]

Riduzione di velocità (10% traffico pesante)			Riduzione di traffico	
Da 110 a 100 km/h	0,7		10%	0,5
Da 100 a 90 km/h	0,7		20%	1,0
Da 90 a 80 km/h	1,3		30%	1,6
Da 80 a 70 km/h	1,7		40%	2,2
Da 70 a 60 km/h	1,8		50%	3,0
Da 60 a 50 km/h	2,1		60%	6,0
Da 50 a 40 km/h	1,4			
Da 40 a 30 km/h	0			

Tabella 51 - *Risultati delle misure prima e dopo la sostituzione di incroci con rotonde*
[da SILVIA project, SILVIA-TUW-052-04-220305]

Periodo	Livello di pressione sonora $L_{A,eq}$ [dB(A)]		
	Incrocio (aprile 2001)	Rotonda (giugno 2002)	Riduzione
Giorno (6:00-22:00)	70,1	68,4	-1,7
Notte (22:00-6:00)	63,4	60,5	-2,9
Differenza giorno/notte	6,7	7,9	

Tabella 52 - *Effetti della pianificazione del traffico sulla riduzione del rumore, espressi in dB(A)* [FEHRL Report 2006/02]

Misure di pianificazione del traffico	Riduzione potenziale di rumore ($L_{A,eq}$) in unità di dB
Riduzione del traffico sulle strade di scorrimento	> 4
Zona 30 km/h	> 2
Rotonde	> 4
Dossi circolari per rallentare	> 2
Riduzione della velocità attribuibile ad opportuna segnalazione stradale	1 - 4
Divieto di transito notturno ai mezzi pesanti	> 7 di notte
Bande sonore termoplastiche	> 4 rumore in più
Pavimentazione di pietra	> 3 rumore in più
Dossi piatti	> 6 rumore in più
Riduzioni della carreggiata	> 1 rumore in più

Tabella 53 - *Riduzione del rumore da prima a dopo la costruzione di una rotonda a differenti distanze dalla rotonda, espressi in dB(A)* [da SILVIA project SILVIA-TUW-052-04-220305]

Posizione di misura	1	2	3	4	5	6	7
Distanza dalla rotonda in m	10	10	20	20	50	50	100
Riduzione del rumore in dB(A)	1,8	1,9	1,0	1,6	0,1	2,5	-0,6

Tabella 54 - *Traffico stradale: misure socio economiche* [da Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M. *et al.*, EffNoise, *Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures*, Final Report - Volume I, 2004]

Misura	Priorità	Responsabilità	Riduzione potenziale in dB(A)	Tempo atteso
Etichettatura della strada con le caratteristiche ambientali	Media	Stati Membri e Autorità locali	1 - 2	1 – 2 anni
Obbligatorietà dell'etichettatura con le caratteristiche ambientali	Media	Stati Membri	1 - 2	3 – 4 anni
Tassazione dei veicoli in base alla loro rumorosità	Media	Stati Membri	1 - 2	3 – 4 anni
Sconti per l'acquisto di veicoli e ruote silenziosi	Media	EU Stati Membri	1 - 2	2 – 4 anni
Tasse ambientali per veicoli e ruote eccessivamente rumorosi	Media	Stati Membri	2 - 3	2 – 4 anni

Tabella 55 - *Esempi di interventi strategici*

Obiettivo	Metodo	Intervento (esempi)	Competenza	Beneficio atteso in dB(A)
Ridurre il numero di transiti limitando la domanda generale su quell'arteria	Migliorare il trasporto pubblico	Servizio di autobus per la scuola, le strutture sportive e recettive in genere (-10% di traffico)	Comunale	- 1
	Accorciare le percorrenze degli spostamenti	Riorganizzare i sensi di marcia (- 10% di traffico)	Comunale Ufficio tecnico, mobilità	
	Riorganizzare le aree di sosta per evitare l'accesso a chi le percorre solo per trovare parcheggio	Realizzare ampi parcheggi presso scuole le strutture sportive e recettive in genere (- 5% di traffico)	Comunale Ufficio dei Lavori pubblici	
Migliorare la qualità dei veicoli che percorrono quella strada	Incentivare l'utilizzo della bicicletta	Realizzare una pista ciclabile	Comunale Uffici tecnico, mobilità	- 0,5
		Tariffe per la sosta elevate, in modo che scoraggi l'utilizzo dell'auto	Comunale Uffici tecnico, mobilità	
		Campagna pubblicitaria sui benefici dell'attività fisica	Comunale	
	Ridurre il traffico dei mezzi pesanti	Divieto di transito ai veicoli > 7,5 t	Comunale Uffici tecnico, mobilità	- 0,5
Ridurre l'emissione sonora dei veicoli in transito	Rendere il traffico più fluido e meno veloce	Sostituire i semafori con rotatorie	Comunale Uffici tecnico, mobilità	-3 dB di giorno -2 notte
		Sagomare il profilo della strada per evitare rettilinei troppo lunghi	Comunale Uffici tecnico, mobilità	
		Introdurre dispositivi di controllo di velocità sul rettilineo residuo	Comunale Uffici tecnico, mobilità	
Ridurre la propagazione verso i ricettori specifici	Protezione delle aree quiete	Sostituire le possibili cancellate di recinzione del giardino lungo la strada con una palizzata continua	Comunale Uffici tecnico, ambiente	- 4

È interessante l'esperienza della città di Barcellona per la riduzione del congestionamento del traffico cittadino diurno dovuto alla consegna merci. Si impiegano veicoli non rumorosi che consegnano la merce di notte, permettendo di risparmiare tempo e di consegnare merce commestibile fresca all'orario d'apertura dei negozi, con un contemporaneo miglioramento del clima sonoro cittadino.

3.2.4 Interventi sulla singola sorgente

3.2.4.1 Promozione di modalità di trasporto pubblico a bassa emissione

Uno dei mezzi più promettenti, per la riduzione del rumore in ambito urbano e il miglioramento della qualità dell'aria, consiste nell'incoraggiare l'uso di mezzi pubblici, essendo generalmente i percorsi urbani da affrontare abbastanza brevi (minori di 3 km).

D'altra parte per poter incentivare l'uso di mezzi pubblici occorre un'idonea infrastruttura e in particolare:

- buona accessibilità alle stazioni;
- alta frequenza di passaggio;
- facilità nel reperimento dei biglietti;
- prezzi vantaggiosi;
- buoni collegamenti tra i vari mezzi pubblici;
- rete di mezzi pubblici che copra efficacemente tutte le zone;
- corsie ad essi riservate;
- veicoli pubblici puliti e confortevoli.

Un esempio molto interessante, è il nuovo progetto di equipaggiare il trasporto urbano di Roma con tecnologici filobus. Questi nuovissimi mezzi di trasporto sono una creazione italo-ungherese e presentano caratteristiche tecniche molto innovative. Sono lunghi 18 metri ed hanno una capacità di 42 passeggeri seduti e 111 in piedi, ma quello che più interessa è il fatto che siano elettrici. I vantaggi di questi mezzi sono innumerevoli sia per l'ambiente, per l'inquinamento acustico, che per i cittadini.

Essi funzionando ad elettricità, sono totalmente ecologici ed hanno in più il pregio di essere silenziosi. Dotati, inoltre, di una batteria ricaricabile riescono ad essere alimentati anche in assenza di cavi elettrici volanti; tutto questo per permettere la traversata nei centri storici, evitando l'impatto di cavi in mezzo alle vie. Nelle tratte dove è indispensabile l'alimentazione elettrica, verranno installati dei cavi collegati a pali che nello stesso tempo avranno lo scopo di sorreggere l'illuminazione pubblica. Pertanto tutte le zone interessate avranno anche il privilegio di avere una nuova illuminazione che rivalorizza pertanto i quartieri. Minimo sarà l'impatto visivo. Come prevedono le norme europee la tensione presente nei cavi sarà di 750 volt e servirà ad alimentare il motore elettrico nonché a mantenere sempre cariche le batterie ricaricabili. A questo si

aggiungerà anche il rifacimento del manto stradale per ridurre al minimo i rumori dei pneumatici del filobus.

Un'altra proposta intelligente è quella di una lista civica bresciana, che propone di convertire, almeno parzialmente, le multe in credito per biglietti di mezzi pubblici e ore di sosta nei parcheggi a pagamento.

É evidente inoltre come all'interno del tessuto urbano sia necessario prevedere:

- la realizzazione di piste ciclabili estese e sicure;
- la possibilità di parcheggio facile ed economico nei pressi delle stazioni e fermate dei mezzi pubblici;
- una buona organizzazione della mobilità, tenendo conto dei problemi comunemente incontrati dalle compagnie di trasporti.

3.2.4.2 Superfici stradali a bassa emissione

La superficie stradale influenza non solo il rumore provocato dalla sua interazione col pneumatico, ma anche la propagazione del rumore generato da altri meccanismi (es. quello del motore riflesso dal manto stradale).

I fattori che maggiormente influenzano la *capacità di assorbire* il rumore da parte della superficie stradale sono la *grana* della pavimentazione, il *disegno della grana* e il *grado di porosità* della struttura della superficie asfaltata.

Il conglomerato bituminoso della generica pavimentazione stradale ha un comportamento elasto-viscoso, che dipende dalla temperatura di esercizio e dal tempo di applicazione del carico. Il conglomerato è formato da una miscela di bitume, inerti provenienti da frantumazione di granulometria funzionale al tipo di pavimentazione da realizzare, e *filler*, un materiale inerte a granulometria molto fine (passante al setaccio 0.075 mm).

La posa in opera di una pavimentazione è di fondamentale importanza per la sua efficacia e deve essere sempre molto curata, in modo che la superficie possieda gli stessi requisiti di addensamento e resistenza per tutta la sua lunghezza.

Gli asfalti fonoassorbenti posati a regola d'arte devono godere delle seguenti proprietà:

- avere poche discontinuità e irregolarità;
- produrre bassa eccitazione dei pneumatici e le conseguenti vibrazioni;
- garantire una sufficiente ventilazione dell'aria sotto la superficie di contatto;
- avere un'alta percentuale di vuoti che fungono da assorbitori del rumore.

Le caratteristiche superficiali della strada devono garantire, oltre che l'eventuale assorbimento del rumore, le necessarie caratteristiche di aderenza: la ricerca di soluzioni a basso impatto acustico non può infatti essere ottenuta a discapito della sicurezza.

Il parametro che influenza maggiormente le caratteristiche superficiali è la *tessitura*.

La tessitura del piano viabile viene definita come lo scostamento della superficie da un ideale piano di riferimento; le asperità superficiali sono rappresentate mediante la sovrapposizione di onde sinusoidali con lunghezza λ .

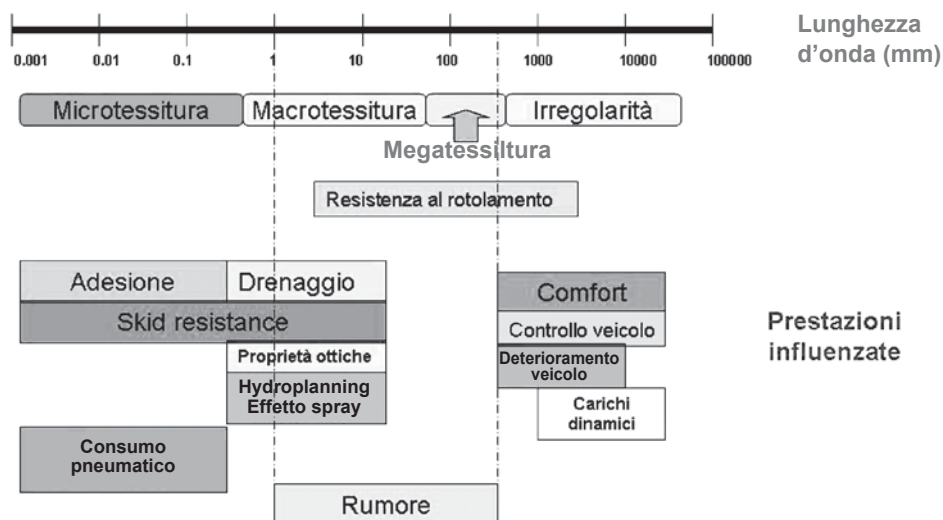
Secondo la norma CNR B.U. 125/88, abbiamo la seguente classificazione della tessitura in base a diversi valori di λ :

- microtessitura: $\lambda < 0,5$ mm,
- macrotessitura: $0,5 \text{ mm} < \lambda < 50$ mm,
- megatessitura: $50 \text{ mm} < \lambda < 500$ mm,
- irregolarità: $\lambda > 500$ mm.

Tabella 56 - Terminologia per la tessitura e le irregolarità della superficie stradale

Definizione	Campo di lunghezza per le ondulazioni	Caratteristiche fisiche superficiali	Caratteristiche influenzate (traffico, veicolo, ambiente)
MICROTESSITURA	$\lambda < 0,5$ mm	<ul style="list-style-type: none"> - Tessitura superficiale di inerti - Asperità dell'aggregato 	<ul style="list-style-type: none"> - Aderenza, (in condizione di pavimentazione asciutta o mediamente bagnata) - Usura del pneumatico - Rumore esterno
MACROTESSITURA	$0,5 < \lambda < 5$ mm	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensioni, forma e distribuzione degli inerti - Drenaggio superficiale - Asperità dell'aggregato - Sottigliezza dei giunti - Numero di fessure - Striature 	<ul style="list-style-type: none"> - Aderenza, (in particolare nei riguardi di acquaplaning) - Usura del pneumatico - Resistenza al rotolamento - Rumore esterno dovuto al contatto pneumatico-strada - Rumore interno dovuto al contatto pneumatico-strada
MEGATESSITURA	$5 < \lambda < 50$ mm	<ul style="list-style-type: none"> - Buche - Ondulazioni della superficie stradale - Singoli fori sulla pavimentazione - Dimensioni dei blocchetti della pavimentazione in pietra 	<ul style="list-style-type: none"> - Aderenza - Controllo del veicolo - Danneggiamento del pneumatico - Danneggiamento e deterioramento del veicolo - Comfort di guida - Maggior rumore esterno di tipo intermittente - Rumore interno dovuto al rumore di contatto pneumatico – strada - Resistenza al rotolamento
IRREGOLARITÀ	$50 < \lambda < 400$ mm	Come per la megatessitura con l'aggiunta di: <ul style="list-style-type: none"> - Irregolarità dovute alla posa in opera - Danni causati dal gelo 	Come per la megatessitura con l'aggiunta di: <ul style="list-style-type: none"> - Ultrasuoni - Danneggiamento degli edifici a causa delle vibrazioni

Figura 10 - Terminologia per la tessitura e le irregolarità della superficie stradale



Le prestazioni acustiche della pavimentazione stradale sono determinate da due caratteristiche: l'*emissività*, che può essere ridotta limitando i fenomeni vibratorii dovuti al contatto pneumatico/strada, e la capacità *fonoassorbente*, determinata dalle caratteristiche dalla tessitura del manto stradale, che riduce il rumore prima che arrivi al ricettore e che è funzione del coefficiente di assorbimento acustico della pavimentazione.

Per ottenere una pavimentazione stradale con buone caratteristiche acustiche occorrerebbe quindi agire sui due aspetti sopra menzionati:

- abbassando la componente emissiva mediante l'adozione di tutti gli accorgimenti necessari;
- ottimizzando le caratteristiche di fonoassorbenza della pavimentazione.

I parametri che il progettista stradale può controllare sono la **tessitura** e la **porosità** dello strato superficiale, agendo sui fattori da cui dipendono queste due caratteristiche, ovvero sulla curva granulometrica, sul tipo di legante, sulla messa in opera e sulla manutenzione. Si potrà giungere in tal modo alla realizzazione di pavimentazioni a bassa emissione sonora (*low noise road surfaces*), ossia di particolari manti stradali in grado di ridurre i livelli di pressione sonora di almeno 3 dB(A), rispetto ad una pavimentazione tradizionale.

Studiare le proprietà acustiche di una superficie stradale significa, dunque, caratterizzarne le *irregolarità superficiali* (rugosità ed aderenza), le *proprietà fisiche*

(porosità, spessore dello superficie di scorrimento, resistenza al flusso, tortuosità) e le *proprietà meccaniche* (rigidità e dipendenza dalla temperatura).

La grandezza acustica più rilevante delle pavimentazioni stradali è il *coefficiente di assorbimento acustico*, inteso come rapporto tra l'energia non riflessa e quella incidente normalmente ad una data frequenza. Si presenta assorbimento acustico quando l'energia sonora è convertita in calore all'interno dei pori della pavimentazione. Il coefficiente di assorbimento è funzione dello spessore dello strato considerato, della porosità della superficie, della resistenza specifica al passaggio dell'aria e dalla tortuosità.

Al crescere dello spessore dello strato considerato, lo spettro del coefficiente di assorbimento presenta un maggior numero di picchi, tendendo però asintoticamente a livellarsi ad un valore funzione degli altri parametri caratterizzanti la superficie.

Per ottimizzare le proprietà di fonoassorbimento di una pavimentazione si deve quindi operare sul coefficiente di assorbimento, facendo in modo che la *frequenza di picco* (frequenza per la quale si verifica il primo picco di assorbimento) cada in corrispondenza delle frequenze alle quali si ha la maggiore emissione, e, controllando il *livello di picco*, rendendolo il più elevato di modo che l'assorbimento sia maggiore. Da un punto di vista pratico, ciò significa ottimizzare i parametri fisici, che determinano l'impedenza acustica di un mezzo, e, quindi, indirettamente, il coefficiente acustico.

I parametri più significativi sono lo spessore dello strato e la porosità. Nonostante si torni più avanti su questi due aspetti fondamentali del manto stradale, è possibile anticipare che una buona porosità della superficie permette di aumentare l'assorbimento acustico alle medie e alte frequenze, ma un'eccessiva porosità enfatizza i rumori da vibrazione.

Il meccanismo fisico che sta alla base delle proprietà acustiche dell'asfalto poroso, in particolare di quello formato da più strati, può essere ricondotto a quello dei risonatori di Helmholtz: il manto superficiale ricco di vuoti di piccole dimensioni permette l'ingresso del suono, che viene poi dissipato da una serie di canali sufficientemente stretti e sottili che sono in contatto con cavità più pronunciate, presenti nello strato inferiore del drenante. Nell'insieme dei due strati sovrapposti, a causa dell'interconnessione tra i vuoti di diverse dimensioni, si formano dunque numerose microstrutture simili a imbuto, che svolgono così un ruolo attivo nell'abbattimento del rumore per risonanza.

Per poter comprendere meglio l'efficacia degli asfalti fonoassorbenti, di seguito presentiamo una breve rassegna dei meccanismi di generazione del rumore al contatto ruota-asfalto.

- Meccanismo *stick and slip*: impatti e urti risultanti dal contatto tra la superficie dello pneumatico ed il manto stradale, dovuti all'adesione ed allo slittamento (*stick and slip*), creati dal processo di contatto-distacco della ruota sull'asfalto; questo fenomeno non incide molto sul rumore totale.
- *Air pumping*: il movimento dell'aria tra le scanalature del battistrada e il manto stradale. Si verifica soprattutto con strade non porose e relativamente lisce. In generale tale rumore è importante tra i 1000 e i 2000 Hz e costituisce circa il 10-30% del rumore da rotolamento complessivo. Gli asfalti aperti e porosi assorbono l'aria pompata e di conseguenza riducono il rumore.
- *Flusso aerodinamico*, dato dall'aria che investe il pneumatico durante il moto. La sua componente rispetto al rumore totale è limitata.
- *Rumore da vibrazioni*: i micromovimenti tra la gomma e l'asfalto generano delle vibrazioni che sono tra le principali componenti del rumore da rotolamento. Esso è un rumore a bassa frequenza (inferiore ai 1000 Hz), che incide per il 60-80% sul rumore totale. È maggiore quanto maggiore è la deformabilità del pneumatico, ed assume notevole importanza quando la lunghezza d'onda delle deformazioni del piano viabile è dello stesso ordine di grandezza dell'impronta del pneumatico. Si riduce con una superficie stradale liscia o elastica.
- *Snap out*: è lo schiocco che si ha quando il pneumatico localmente compresso si stacca dal terreno.

Figura 11 - Meccanismi di generazione del rumore dovuto al contatto ruota-strada



In generale le superfici a bassa emissione possono essere raggruppate in due categorie principali:

- conglomerati bituminosi tradizionali chiusi con caratteristica di tessitura ottimizzata per la riduzione della componente emissiva;
- conglomerati bituminosi drenanti con caratteristica di porosità ottimizzata per l'accentuazione delle proprietà di fonoassorbimento.

Dal punto di vista dello spessore, le superfici *low-noise* possono essere classificate, in base allo spessore, come strati sottili e o asfalti porosi a uno o due strati.

Gli *strati sottili* possono essere diversi strati di bitume con uno spessore di 3 cm e una piccola pezzatura degli inerti, di circa 4-8 mm (in genere 4-6 mm nelle strade urbane e 8 mm nelle autostrade).

Le superfici a strato sottile riducono il rumore di almeno 3 dB, rispetto a quelle di asfalto denso con inerti di 11 mm, comunemente utilizzate. Tuttavia, l'effetto di riduzione del rumore decresce di 0,1 dB all'anno (con un traffico leggero e pesante sia a bassa che alta velocità), a causa della perdita delle prestazioni iniziali dovute a sporco o deposito.

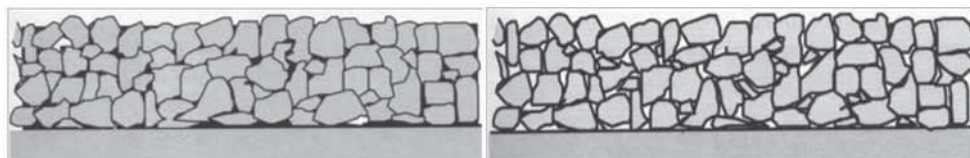
L'*asfalto poroso* ha una struttura aperta, con circa il 20-25 % di vuoti. Come risultato assorbe il rumore e drena l'acqua piovana, aumentando nel contempo la sicurezza stradale.

L'asfalto poroso assorbe meglio il rumore di quello sottile, ma in aree urbane presenta qualche svantaggio in termini di costi, durabilità, manutenzione invernale, riparazioni in caso di tracciamenti e posa di tubature. Tuttavia, è molto indicato per strade con velocità elevate (maggiori di 60 km/h), flussi di traffico omogenei, strade con pochi incroci e semafori e senza curve brusche.

Per gli asfalti porosi, la riduzione del rumore decresce di circa 0,4 dB all'anno per i veicoli leggeri ad alta velocità e di 0,9 dB a bassa velocità, mentre per quelli pesanti ad alta velocità di 0,2 dB.

Sono oggi disponibili anche delle soluzioni a basso impatto sonoro per le *pavimentazioni fatte a blocchi*, che hanno un impatto visivo molto meno forte dell'asfalto e assomigliano piuttosto ai blocchetti di pietra, ma in genere le loro prestazioni sono di 3-5 dB inferiori rispetto agli asfalti assorbenti su descritti, a causa delle discontinuità della superficie.

Figura 12 - Confronto tra pavimentazioni stradali convenzionali e fonoassorbenti/drenanti: a sinistra, pavimentazione convenzionale: asfalto bituminoso denso (D.A.C. o S.M.A.); a destra pavimentazione fonoassorbente o drenante a singolo strato (PA - SL)



Le superfici a due strati porosi producono una riduzione potenziale del rumore di oltre i 4 dB.

Negli asfalti a doppio strato, lo strato superiore deve avere un diametro degli inerti di circa 8 mm, mentre quello inferiore dai 16 ai 22 mm.

Lo strato superiore riflette la polvere ma lascia passare il rumore, che viene assorbito dallo strato sottostante. Questo tipo di superficie deve essere ripulita con un getto di acqua in pressione, almeno due volte l'anno, per evitare l'occlusione dei pori.

Tabella 57 - Involuzione nel tempo delle proprietà fonoassorbenti di una superficie a doppio strato

Superficie porosa a doppio strato con aggregati di 8 mm	Riduzione in dB(A) [Traffico misto]
Anno 0	4,5
1° anno	4,6
2° anno	2,7
3° anno	2,4
4° anno	2,8
5° anno	1,7

Le pavimentazioni eufoniche sono in corso di sperimentazione. Sono costituite da uno strato superiore in conglomerato bituminoso drenante, dello spessore di 4-6 cm, e da uno strato inferiore in conglomerato cementizio ad armatura continua nel quale sono ricavate delle cavità risuonatrici.

Altri tipi di asfalti, con buone proprietà assorbenti, sono lo S.M.A. (*Stone Mastic Asphalt*) e il G.A. (*Gussasphalt*) o gli asfalti con un alto contenuto di polimeri.

Queste superfici poro-elastiche (P.E.R.S.) sono pavimentazioni caratterizzate da un'elevata porosità (generalmente compresa tra 25-40 %), che consente ad aria ed acqua di attraversare il manto e determina sia le proprietà drenanti che quelle fonoassorbenti. In aggiunta, godono anche di proprietà elastiche, conseguenti alla presenza di alti quantitativi di fibre gommose (scarti o parti in gomma riciclate dei pneumatici) che devono essere almeno pari al 20% del volume totale. L'elasticità determina dei benefici, sotto il profilo del contenimento dei fenomeni vibratori, nel contatto pneumatico-pavimentazione stradale.

Le superfici poro-elastiche offrono una riduzione significativa del rumore da traffico stradale, rispetto ai manti stradali tradizionali (dell'ordine di 5 - 15 dB(A)), e diversamente dalle pavimentazioni porose tradizionali presentano, in maniera limitata, il problema della perdita di porosità per occlusione dei vuoti comunicanti.

Per quanto riguarda il costo degli asfalti a strato sottile, è circa uguale a quello degli asfalti normali. In Danimarca, si è stimato che, rispetto agli asfalti normali, quelli sottili durino circa un anno meno, a causa della loro struttura più aperta.

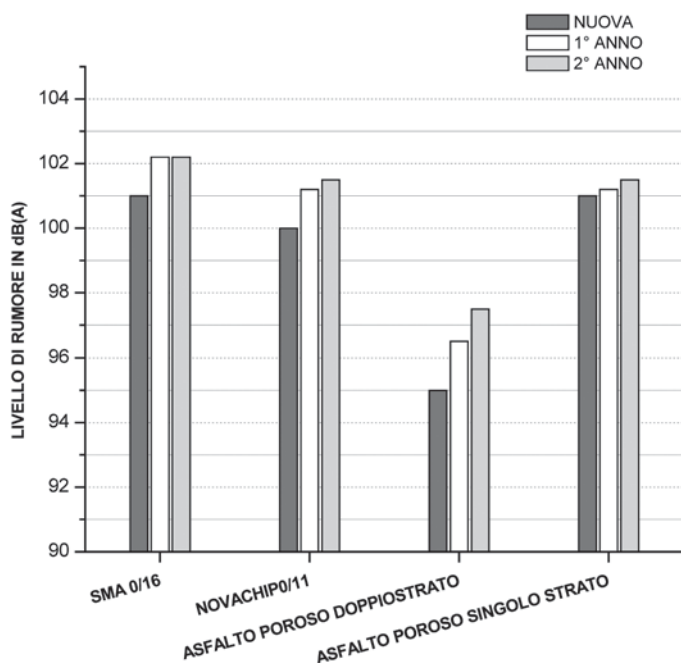
Gli asfalti a doppio strato costano invece circa 30 euro/mq di più degli asfalti tradizionali.

Gli asfalti porosi non hanno dunque costi elevatissimi (quelli monostrato costano ancora meno), ma occorre tener conto della necessità degli interventi di manutenzione e pulizia e dei loro costi. Paragonati ad altre misure di abbattimento del rumore, come barriere o finestre isolanti, costano, comunque, relativamente meno e sono pertanto idealmente una misura semplice ed economica da implementare.

Perché sia garantita l'efficacia degli asfalti fonoassorbenti, è essenziale una corretta posa degli stessi e una periodica pulizia per poter liberare i pori dalle possibili occlusioni, anche se oltre un certo grado di occlusione delle porosità il lavaggio non garantisce più un corretto ripristino delle potenzialità iniziali. A tal proposito, si fa notare come la durata nel tempo dell'efficacia nell'abbattimento del rumore sia molto inferiore alla durata strutturale della pavimentazione.

Figura 13 - *Livelli CPX* (Close-ProXimity method) misurati ad una velocità di 80 km/h.*

* Il metodo CPX valuta l'influenza delle caratteristiche della superficie stradale sul rumore da traffico, attraverso due o più microfoni montati sulla ruota di un'auto, posizionati in prossimità della superficie di contatto



Le potenzialità di riduzione del rumore stradale offerto da un asfalto fonoassorbente sono strettamente legate al tipo di traffico veicolare. In particolare, le prestazioni risultano diverse, a seconda se si operi in ambito urbano o extraurbano. Recentemente, alle precedenti ricerche e studi in ambito extraurbano, si sono affiancate anche sperimentazioni in contesti cittadini che evidenziano risultati differenti.

I due ambiti presentano caratteristiche molto diverse sotto molteplici aspetti. L'aspetto principale è che lo spettro tipico di rumorosità autostradale è sostanzialmente diverso da quello riscontrabile in ambito cittadino, a causa della differente composizione del traffico e delle condizioni di flusso (velocità elevata, assenza di fenomeni di accelerazione e frenata ecc.). Qualitativamente, ad esempio, rispetto a un tipico spettro di rumore da traffico urbano, in contesti a scorrimento veloce, le componenti a bassa frequenza sono ridotte, mentre, al contrario, i contributi a frequenza più alta sono maggiori.

Anche i meccanismi di generazione del rumore sono diversi: mentre in ambiente urbano predomina il rumore del motore, con i suoi continui cambi di regime, sulle strade extraurbane a scorrimento veloce dominano i rumori di rotolamento e aerodinamici.

Inoltre, in ambito extraurbano, spesso non ci sono edifici direttamente affacciati sulla strada e quindi la propagazione è trasversale alla direzione di marcia, ciò fa sì che si annullino i contributi dovuti alle riflessioni laterali. In ambito urbano, invece, risulta significativo anche il fenomeno della propagazione longitudinale, dato che vi contribuiscono anche le riflessioni multiple sulle facciate degli edifici prospicienti la strada.

Le esperienze riportate dal progetto SILENCE hanno rilevato che:

- in autostrada, si hanno risultati migliori con gli asfalti porosi con singolo strato, con massimo diametro degli inerti di 8 mm, con percentuale dei vuoti compresa tra il 20 e il 23 % e spessore totale di 40 mm;
- nelle strade urbane, gli asfalti mono-strato non sono adatti, perché i pori si otturano con la polvere e l'effetto di assorbimento del rumore svanisce dopo un paio d'anni: è essenziale l'uso di asfalti doppio-strato.

Per poter stimare nel tempo l'efficacia della posa di un asfalto fonoassorbente è necessario monitorare i livelli di rumore nell'ambiente impiegando opportune tecniche di misura.

Spesso si legano le proprietà fonoassorbenti del manto alla riduzione delle emissioni dovute al passaggio di due categorie di veicoli: i mezzi leggeri e quelli pesanti. In realtà, alcuni progetti europei, tra i quali anche l'italiano *Progetto Leopoldo*, identificano più categorie che rappresentino la varietà dei mezzi in circolazione (si va dai ciclomotori agli autotreni e autoarticolati). Il Progetto Leopoldo riguarda lo studio e l'ottimizzazione delle caratteristiche di sicurezza e di compatibilità ambientale delle pavimentazioni stradali extraurbane presenti nella Regionale Toscana.

Esso propone la redazione di un documento di sintesi, avente funzione di Linee Guida, nel quale verranno indicati i criteri che le Amministrazioni provinciali della Toscana potranno seguire per la selezione della tipologia di pavimentazione più appropriata per ogni situazione locale, con particolare riferimento alle condizioni meteorologiche prevalenti e alle caratteristiche del terreno di sedime (da <http://leopoldo.pjxp.com>).

L'uso di asfalti drenanti porosi mono o bi-strato non è consigliato nei seguenti casi:

- nei paesi freddi, in cui le basse temperature rovinano velocemente gli asfalti porosi, a causa in particolare delle gelate dell'acqua negli interstizi dei pori;

- nei contesti storici di particolare pregio, in cui agli asfalti porosi sono preferibili i blocchetti di pietra, che sono molto più rumorosi, ma esteticamente più pertinenti al contesto: in questi casi, per un efficace riduzione del rumore, occorre dunque abbassare i limiti di velocità da 50 km/h a 30 km/h o creare zone pedonali o usare particolari blocchetti a basso impatto acustico.

È ovvio che l'installazione di manti stradali a bassa emissività non accompagnati da altri accorgimenti potrebbero vanificare in parte, o del tutto, i risultati attesi. Ad esempio, i pozzetti nelle strade sono spesso percepiti come notevoli fonti di fastidio al passaggio dei veicoli. È evidente che debba essere prevista una riduzione de loro numero ottimizzando i tracciati delle tubature e dei cavi e facendo sì che diversi accessi confluiscono in un singolo pozzetto.

Di grande importanza è anche la perfetta manutenzione del manto stradale: i dossi e le buche, così come i “rattoppi” del manto stradale, generano rumori aggiuntivi, per tanto conviene avere una superficie il più possibile piana e liscia.

Anche in questo caso, il contenimento del rumore coincide con l'aumento della sicurezza.

Tabella 58 - *Caratteristiche di sicurezza (○), silenziosità (□) e del deflusso dell'acqua (*, ▲) della superficie stradale in base alla tessitura e alle irregolarità*


RIVESTIMENTO		TESSITURA		DEFLUSSO ACQUA		SICUREZZA	SILENZIOSITA'
		MICRO	MACRO	VISCOSO	DINAMICO		
LISCIO		LISCIA	FINA	*	▲	○○	□□□□
SPIGOLOSO LUCIDO		LISCIA	MEDIA	*	▲▲▲	○	□□□
ABRASIVO FINE		RUGOSA	FINA	****	▲	○○	□□□□
ABRASIVO SPIGOLOSO		RUGOSA	MEDIA	****	▲▲▲	○○○○	□□
STRIATO		LISCIA	GROSSA	**	▲▲▲▲	○○	□
BOCCIAR-DATO		RUGOSA	GROSSA	****	▲▲▲▲	○○	□□
POROSO		MEDIA	GROSSA	***	▲▲▲▲	○○○○	□□□□

Tabella 59 - *Misure per intervento sulla superficie stradale, priorità attribuita all'intervento, responsabilità e riduzione e tempi attesi* [da Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M. *et al.*, EffNoise, *Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures*, Final Report – Volume I, 2004]

Misura	Priorità	Responsabilità	Riduzione potenziale in dB(A)	Tempo atteso
Pavimenti densi a bassa emissione per le ripavimentazioni	Molto alta	Stati Membri	2 - 4	Già ottenibile
Pavimenti porosi e densi a bassa emissione per le ripavimentazioni	Molto alta	Stati Membri	6 - 10	Già ottenibile
Maggiore ricerca dedicata allo sviluppo di buoni strati superficiali	Alta	Stati Membri	5	5 anni
Miglioramento delle caratteristiche e qualità degli asfalti	Alta	Stati Membri Industrie stradali	3	3 - 5 anni
Ottimizzazione dei requisiti costruttivi dei veicoli	Alta	Stati Membri Industrie stradali	2	3 anni
Cooperazione tra industrie di pneumatici e costruttori di pavimentazioni stradali	Media	Industrie di pneumatici costruttori di pavimentazioni stradali	/	Già ottenibile

3.2.4.3 Pneumatici a bassa emissione

I recenti progressi della tecnologia hanno permesso di poter immettere sul mercati pneumatici a bassa emissione acustica, rispettando agli stringenti requisiti riguardo la sicurezza e l'aderenza del battistrada al manto stradale. D'altra parte la tendenza generale a montare pneumatici più larghi aveva negli ultimi anni aumentato l'emissione sonora degli stessi.

Nel marzo 2009, è uscita la risoluzione legislativa del Parlamento Europeo sulla *Proposta di Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio sui requisiti dell'omologazione per tipo, riguardo alla sicurezza generale degli autoveicoli*. Relativamente alle emissioni sonore dei pneumatici, tra le varie proposte di riduzione

dei limiti, sono state seguite le raccomandazioni della relazione della FEHRL (*Federation of European Highway Research*), che proponevano una riduzione dei limiti di rumorosità dei pneumatici, con valori variabili a seconda delle categorie di larghezza in cui rientra il pneumatico stesso.

La normativa di riferimento è la *Direttiva Europea 2001/43/CE*, che modifica la *Direttiva 92/23/CEE*, relativa ai pneumatici dei veicoli a motore e dei loro rimorchi, nonché al loro montaggio.

I limiti sono differenziati a seconda del tipo di veicolo (automobili, furgoni e autocarri) e della larghezza del pneumatico (5 classi), e saranno applicati sui valori di emissione ottenuti nelle prove relative al rumore di rotolamento per il certificato di omologazione CE, indispensabile perché un nuovo pneumatico venga immesso sul mercato comunitario.

Tabella 60 - *Limiti limite proposti in dB(A) per i pneumatici delle auto.*

Larghezza pneumatico R (mm)	2001/43/CE		FEHRL Federation of European Highway Research		UBA German Federal Environment Agency		
	Attuale	Prossimo step	2008	2012	2008	2012	2016
R ≤ 145	72	71	71,5	69,5	71	70	69
145<R≤ 165	73	72					
165<R≤ 185	74	73					
185<R≤ 215	75	74	72,5	70,5			
215<R≤ 245	76	75					
245<R≤ 275			73,5	71,5			
R>275			75,5	73,5			

Tabella 61 - *Influenza del carico e della pressione sull'emissione sonora della ruota, su superficie stradale unificata, usando una Peugeot 206 a 80 km/h [da SILVIA project SILVIA-TUW-052-04-220305]*

Tipo di pneumatico e km percorsi	Livello di rumore in dB(A) Auto carica, pressione dei pneumatici di 1,8 bar	Livello di rumore in dB(A) Auto scarica, pressione dei pneumatici di 1,8 bar	Livello di rumore in dB(A) Auto scarica, pressione dei pneumatici di 2,4 bar
Goodyear Eagle NCT2 175/65 R14T 7000 km	/	/	71,5
Pirelli P3000 175/70 R13T 100 km	72,9	71,5	71,2
Michelin Energy XT-1 175/65 R14T 100 km	72,0	70,9	/
Pirelli P5000 Drago 195/50 R15V 100 km	/	72,0	/

Tabella 62 - *Misure per mitigare il rumore delle ruote [da Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M. et al., EffNoise, Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures, Final Report - Volume I, 2004]*

Misura	Priorità	Responsabilità	Riduzione potenziale in dB(A)	Tempo atteso
Abbassamento dei limiti d'emissione	Molto alta	EU	4	6 - 9 anni
Impiego di ruote più silenziose	Molto alta	Industrie automobilistiche	2 - 3	1 anno
Pubblicità di ruote silenziose ai clienti	Alta	Industrie dei pneumatici	2	3 anni
Maggiore ricerca scientifica rivolta allo sviluppo di ruote silenziose	Alta	EU Stati Membri	4	5 anni
Migliori superfici stradali	Molto alta	EU	variabile	5 anni

3.2.4.4 Comportamento dei guidatori

Oltre che attraverso l'impiego di nuove tecnologie e materiali è evidente che la riduzione del rumore è dovuta anche all'adozione di migliori comportamenti di guida. Uno stile di guida corretto, oltre che ad aumentare la sicurezza sulle strade, riduce non poco l'emissione di rumore ed il consumo di carburante. L'elevata velocità, le brusche accelerazioni (e decelerazioni) e un uso smodato del clacson influiscano, infatti, molto negativamente sul clima acustico.

Il sito www.ecodrive.org propone di seguire i seguenti accorgimenti, per una guida più silenziosa, sicura ed economica:

- mantenere una velocità costante;
- cambiare possibilmente marcia tra 2.000 and 2.500 giri;
- usare la marcia più alta possibile e guidare con un basso numero di giri;
- accelerare e decelerare nel modo più fluido possibile,
- controllare la pressione dei pneumatici: frequentemente la pressione insufficiente, ad esempio del 25%, incrementa la resistenza al rotolamento del 10% e il consumo di benzina del 2%,
- evitare di mettersi in marcia durante le ore e giorni con grandi flussi di traffico.

Tabella 63 - *Influenza del tipo di motorizzazione su un'auto a velocità costante*
[da SILVIA project SILVIA-TUW-052-04-220305]

Marcia	Benzina e diesel		Ibrida ed elettrica	
	Principale sorgente di rumore	Intervallo dB(A)	Modalità elettrica dB(A)	Modalità termica dB(A)
1	Motore	7	Riduzione > 10	Riduzione > 5
2	Motore	5	Riduzione > 3	Riduzione > 2
3	Motore = Ruota	4	Riduzione > 2	=
4	Ruota	3	=	=
5	Ruota	3	=	=

Figura 14 - Confronto tra stili di guida in relazione al rumore prodotto

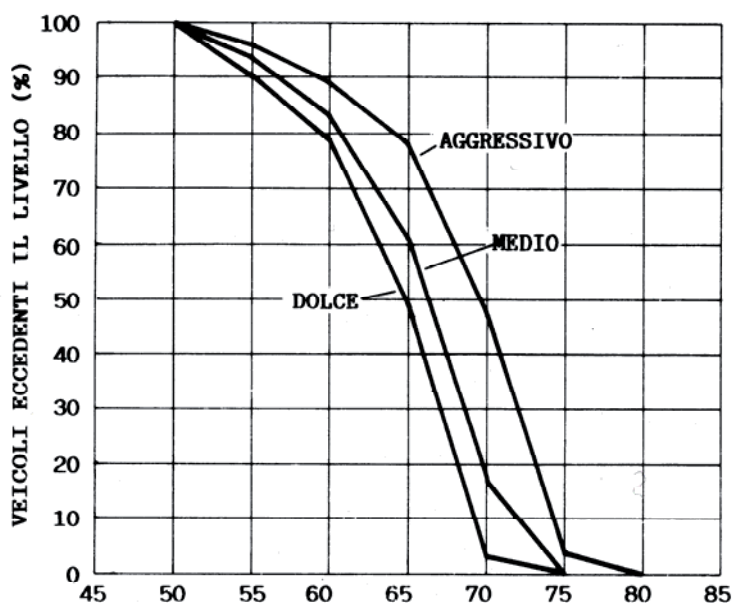


Tabella 64 - Effetto della guida irregolare (accelerazioni e decelerazioni) sulle emissioni rumorose, in relazione al rumore emesso alla velocità costante di 50 km/h [da SILVIA project SILVIA-TUW-052-04-22030]

Accelerazione [m/s ²]	Tipo di veicolo	dB(A)	Note
+ 1	Leggero	+ 1,7	Moderata accelerazione
+ 2	Leggero	+ 4,5	Decisa accelerazione
+ 0,5	Pesante	+ 2,1	Moderata accelerazione
+ 1	Pesante	+ 4,5	Decisa accelerazione
- 1	Leggero	- 0,8	Moderata decelerazione
- 2	Leggero	- 1,17	Decisa decelerazione
- 1,5	Pesante 2 assi	- 4,5	Moderata decelerazione
- 1,5	Pesante 3 assi	+ 4,5	Moderata decelerazione

3.2.4.5 Promozione dell'uso dei mezzi di trasporto in maniera alternativa

Contro l'inquinamento da rumore e quello da gas di scarico può essere conveniente incentivare il *car sharing* (tradotto dall'inglese *condivisione dell'automobile*, o *passavettura*), un servizio che permette di utilizzare un'automobile su prenotazione, prelevandola e riportandola in un parcheggio vicino al proprio domicilio e pagando in ragione al reale utilizzo dell'autovettura.

Questo servizio viene utilizzato, all'interno di politiche di mobilità sostenibile, per favorire il passaggio dal *possesso* del mezzo all'uso dello stesso, in modo da consentire di rinunciare all'automobile privata, ma non alla flessibilità delle proprie esigenze di mobilità. L'auto in questo modo passa dall'ambito dei beni di consumo a quello dei servizi.

Con il *car sharing* è possibile allentare la morsa del traffico e ridurre il numero delle auto in sosta, offrendo un approccio inedito alle quattro ruote: si acquista l'uso effettivo del mezzo anziché il mezzo stesso.

È la soluzione ideale per spostamenti brevi e frequenti, un'alternativa per chi percorre pochi chilometri o per chi non intende rinunciare all'auto di proprietà, ma deve fare i conti con esigenze di mobilità che, oggi, sono in genere risolte con l'acquisto di una seconda o terza macchina.

Il *car sharing* oltre a rappresentare una valida alternativa alla mobilità cittadina, rappresenta anche una utile soluzione ambientale; infatti, l'uso collettivo di una stessa vettura permette di:

- alleggerire l'impatto ambientale del trasporto grazie alla diminuzione della percorrenza chilometrica media (se infatti tre persone devono utilizzare tre macchine per muoversi in città, con il *car sharing*, tre persone possono utilizzare una stessa vettura);
- ridurre le emissioni inquinanti, sia in termini di sostanze volatili che di rumore, e l'occupazione del suolo pubblico. (Si stima infatti che ogni veicolo del *car sharing* sostituisca da 5 a 10 auto private).

Inoltre:

- solleva l'utente dai costi di gestione dell'auto: assicurazione, bollo di circolazione e manutenzione meccanica, sono interamente a carico del gestore del *car sharing*;
- permette di risparmiare tempo e sottrarsi alla ricerca estenuante del parcheggio, grazie ai posteggi riservati o ai posteggi del *car sharing*;
- favorisce l'uso di mezzi pubblici, grazie alla dislocazione dei parcheggi riservati, presso nodi di scambio intermodale (metropolitana, tram e bus);
- accelera l'adeguamento del parco auto alle nuove tecnologie, grazie all'adozione di veicoli moderni e a basso impatto ambientale.

Se si pensa che in Europa l'80% delle vetture circolanti in città viaggia per non più di

sessanta minuti al giorno, trasportando in media 1,2 persone, e che invece un utente *car sharing* ha la possibilità di usare un'auto solo per il tempo necessario e che più persone potranno usare la stessa auto, ci si accorge che questo servizio innovativo può validamente rappresentare un'alternativa efficace e utile all'idea corrente di mobilità.

Lo sviluppo e l'espansione del car sharing su scala più ampia non può comunque prescindere dall'esistenza di una buona offerta di trasporto collettivo sul territorio, in quanto si tratta di un servizio complementare e non sostitutivo.

Il costo per l'utente comprende una quota annuale e le quote a consumo relative ai singoli periodi di utilizzo. Il gestore del servizio si prende carico di tutte le incombenze e le spese relative alla gestione dell'auto (es. assicurazione, manutenzione, tasse ecc.), carburante compreso.

Quando si possiede un'auto privata, gran parte dei costi relativi sono tendenzialmente indipendenti dall'utilizzo che se ne fa: acquisto, manutenzione, assicurazione, tasse. Chi possiede un'auto tende spesso a percepire solo i "costi vivi" (carburante, pedaggi, sosta) o al massimo quelli relativi all'usura (gomme, freni ecc.), visto che i costi fissi non possono essere evitati. Questo porta a sottovalutare il costo dell'utilizzo dell'auto e quindi ad utilizzarla più di quanto sia opportuno, anche relativamente al proprio bilancio individuale o familiare (o aziendale).

Il possesso di un'automobile implica, oltretutto, il costo di acquisto e la svalutazione al momento della vendita, oltre agli ovvi rischi di furto o danneggiamento.

L'auto condivisa rende invece i costi relativi all'uso dell'auto prevalentemente dipendenti dall'utilizzo, distribuendo i costi fissi tra più persone, in modo da abbattere significativamente la quota di costo fisso sostenuto da ogni utente. In tal modo si percepisce il vero costo dell'auto ogni volta che si deve decidere di usarla.

Un servizio di auto condivisa è conveniente in particolare in aree urbane densamente popolate dove:

- è possibile soddisfare gran parte delle proprie esigenze di mobilità usando il trasporto pubblico o la mobilità non motorizzata;
- esiste un grande bacino di utenza.

I servizi di molte città sono consorziati nel circuito nazionale *Iniziativa Car Sharing* (I.C.S.), organo del Ministero dell'Ambiente, che ne garantisce l'omogeneità delle apparecchiature e l'interoperabilità dei servizi. Ogni abbonato al servizio in una delle città aderenti al circuito può usare i servizi delle altre città del circuito. Altre città offrono un servizio di auto condivisa, seppur non integrato nel circuito nazionale.

I servizi aderenti al circuito unico nazionale contano complessivamente circa 11.120

utenti, 408 auto e 239 parcheggi (dati di marzo 2008) e si trovano nelle seguenti città:

- Emilia Romagna: Bologna (e provincia), Rimini (e provincia), Modena-Carpi, Parma.
- Lazio: Roma.
- Liguria: Genova.
- Lombardia: Milano, Sesto San Giovanni, Monza, Cinisello Balsamo, Carugate.
- Piemonte: Torino.
- Toscana: Firenze e hinterland (Scandicci, Sesto Fiorentino);
- Veneto: Venezia.

Il servizio è, inoltre, in fase di attivazione nelle città di Palermo e Padova. Numerose altre città italiane stanno inoltre muovendo i primi passi per l'implementazione del sistema: i prossimi ingressi nel circuito dovrebbero essere quelli di Alessandria, Bari, Brescia, Savona e della provincia di Napoli.

Globalmente, le città aderenti al circuito di I.C.S. sono: Alessandria, Bari, Bologna, Brescia, Firenze, Genova, Livorno, Mantova, Milano, Modena, Novara, Padova, Palermo, Parma, Perugia, Pescara, Reggio Emilia, Roma, Scandicci, Sesto Fiorentino, Taranto, Torino, Venezia, Viareggio.

A livello provinciale si hanno invece le province di Bologna, Milano, Napoli, Rimini.

3.2.4.6 Promozione dell'uso delle biciclette: l'esempio francese

Nella primavera 2008, nelle maggiori città francesi è stato offerto al pubblico un servizio di *bike-sharing* molto interessante: solo a Parigi dal 15 luglio 2008 si sono rese disponibili più di 10.000 biciclette, distribuite in 750 stazioni; alla fine del 2009, il sistema è raddoppiato, con 20.600 biciclette e 1500 stazioni di prelievo. *Velib*, questo è il nome del progetto, nasce dall'unione delle due parole francesi *vélo* (bicicletta) e *liberté* (libertà) è un obiettivo ambizioso per il sindaco di Parigi, che punta a ridurre il traffico veicolare del 40% e a raggiungere i 200.000 abbonati al circuito entro il 2010.

Le biciclette, acquistate dall'amministrazione comunale, con il contributo di uno sponsor, hanno una linea semplice e moderna e sono dotate di tre marce e di un complesso sistema anti-manomissione posto in corrispondenza delle ruote e del sellino.

Ogni stazione dispone mediamente di 20 biciclette, fatta eccezione per i punti di prelievo maggiori, che raggrupperanno insieme una cinquantina di bici. Ciascuna stazione è dotata di una pensilina con schermo interattivo dove si possono acquistare, con carta di credito, tre tipi di abbonamento: giornaliero (1 euro), settimanale (5

euro), annuale (29 euro).

La scheda magnetica rilasciata dà diritto ad utilizzare la bici per un arco di tempo massimo di 30 minuti, oltre l'ora di effettiva scadenza, al termine del quale scatterà una tariffazione di un euro per la prima mezz'ora successiva e di 2 euro per la seconda mezz'ora di sfioramento. È possibile però, al termine dei primi 30 minuti, riconsegnare la propria bicicletta (in una qualsiasi stazione del circuito) e prelevarne un'altra, senza in questo modo pagare alcunché.

Figure 15 e 16 - *Il progetto Velib a Parigi: biciclette e rastrelliere elettroniche* [da <http://www.velib.paris.fr/>]



3.2.5 Interventi su strade a percorrenza veloce che attraversano i centri abitati

Nella maggior parte dei casi quando si parla di centri abitati si pensa alle strade urbane. Può capitare spesso però di avere a che fare con strade a percorrenza veloce che attraversino i centri abitati, come autostrade (ad esempio quelle che passano attraverso Bologna o Genova), superstrade, varianti, circonvallazioni, raccordi.

Gli interventi, anche in questi casi, possono essere di due tipi: attivi e passivi (ovvero strategici).

1) Interventi attivi

- Uso di *asfalti fonoassorbenti*: gli asfalti adatti alle strade a percorrenza veloce sono diversi da quelli da usare in città. In questi casi, conviene usare l'asfalto poroso, che è molto indicato per strade con velocità elevate (>60 km/h), flussi di traffico omogenei, strade con pochi incroci e senza semafori o curve brusche.
- *Barriere al rumore*, fatte in modo da ridurre il più possibile il rumore aereo, essendo formate da una parte verticale a bordo strada e da una parte orizzontale o inclinata sopra la carreggiata.

L'ideale, dal punto di vista acustico, sarebbe di incanalare queste strade in veri e propri tunnel, con lo svantaggio però di inficiare la qualità dell'aria. Una soluzione analoga potrebbe essere appunto quella di costruire delle barriere costituite da due parti diversamente inclinate: quella inferiore verticale, a bordo strada, e quella superiore inclinata, quasi orizzontale, sopra la carreggiata, ma che non la chiude totalmente come un tunnel.

Un particolare esempio di una barriera di questo tipo è stata progettata nel 2004 dall'architetto Mario Botta e riguarda il rivestimento dell'autostrada A2 a Chiasso: la barriera è formata da una "foresta" di pali d'acciaio (2500 t) a sezione circolare di tre diversi spessori (il tronco e due ordini di rami) saldati tra loro, che sostengono la copertura costituita da 20.000 mq di pannellature fonoassorbenti in alluminio e 40.000 mq di vetro stratificato.

Questo dimostra come sia possibile eseguire un intervento che risulti allo stesso tempo efficiente ed esteticamente gradevole.

Figura 17 a, b, c, d - *Viste delle barriere antirumore sull'autostrada A2 all'altezza di Chiasso* [da www.tubosider.it]



a



b



c



d

2) Interventi passivi

- Riduzione dei limiti di velocità. Buono è l'esempio di Bologna, nel cui tratto di autostrada che passa attraverso la città si ha una diminuzione del limite di velocità di 20 km/h (da 130 km/h a 110 km/h), con un controllo elettronico effettuato da apparecchiature montate sulle travi reticolari che sostengono anche la cartellonistica elettronica. Tali apparecchiature calcolano la velocità media dei

veicoli in un tratto di strada compreso tra due stazioni successive e forniscono i dati di identificazione dei veicoli per rilevare le eventuali contravvenzioni.

3.2.6 Conclusioni

Il primo e meno oneroso intervento per ridurre il rumore ambientale veicolare da adottare è sensibilizzare i guidatori ad adottare uno stile di guida meno aggressivo. In questo modo, i vantaggi che si ottengono non sono solo quelli di diminuzione del rumore, ma anche di ordine economico ed ecologico.

Un'azione doverosa nei confronti dell'abbattimento del rumore ambientale deve essere compiuta dai legislatori, imponendo alle case automobilistiche degli standard di silenziosità, e le Amministrazioni Comunali, limitando l'accesso ai centri abitati solo ai mezzi davvero silenziosi ed ecologici (i mezzi pubblici e quelli dell'amministrazione comunale dovrebbero essere i primi a dare il buon esempio). L'Amministrazione Comunale deve poi utilizzare tutti quegli interventi strategici necessari alla riduzione del rumore, sia diretti alla sorgente, come gli asfalti a bassa emissione, che strategici, come l'organizzazione oculata dei percorsi e dei flussi di traffico e la pianificazione sapiente del proprio territorio.

Sfruttare le opportunità

Non tutte le misure per l'abbattimento del rumore sono per forza onerose, spesso si può, infatti, approfittare di particolari congiunzioni per contrastare il rumore.

I parchi macchine delle amministrazioni locali, i mezzi pubblici, i manti stradali, vanno periodicamente sostituiti: è necessario che i nuovi veicoli o i nuovi asfalti siano specificatamente di basso impatto acustico, e, per quanto riguarda i veicoli, che essi siano alimentati con fonti rinnovabili.

Resta ovvio il fatto che le nuove costruzioni, di qualsiasi tipo, dagli edifici alle infrastrutture, debbano essere progettati anche in base a criteri per ridurre il rumore, a partire dalla loro posizione, per arrivare infine alla scelta dei materiali utilizzati.

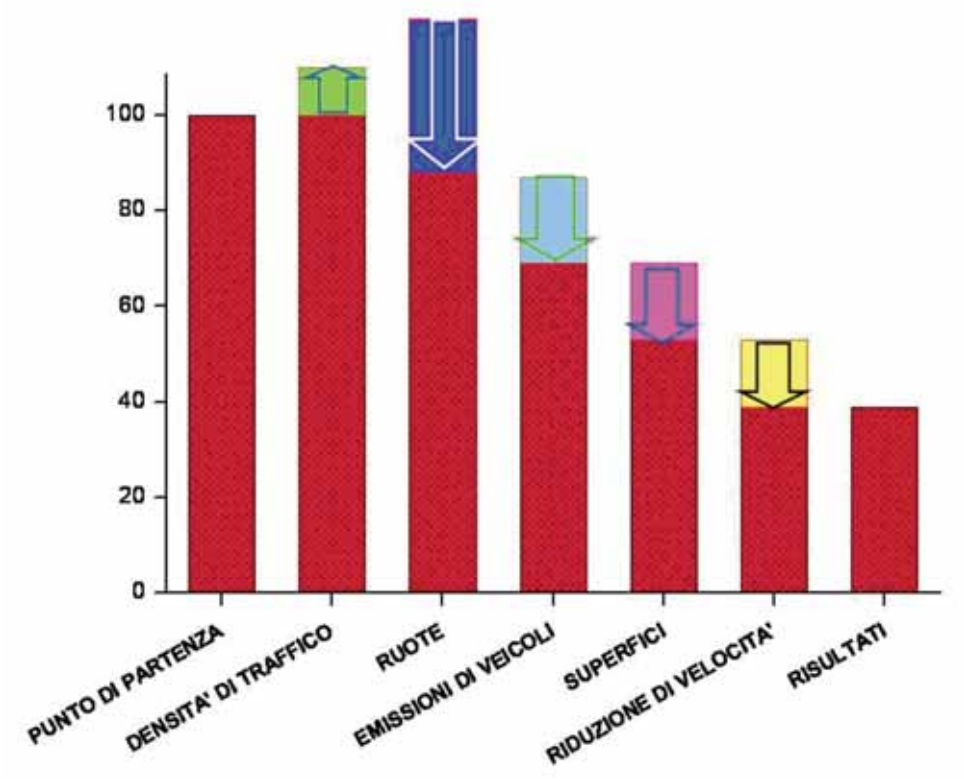
Può convenire nella costruzione di nuove strade, di ubicarle accanto alle linee ferroviarie esistenti e viceversa. I livelli infatti non si sommano aritmeticamente, ma si ha un debole incremento totale. Si evita così di costruire nuove strade in zone silenziose.

Il principio dell'abbattimento generalizzato del rumore deve entrare in tutte le commissioni giudicatrici dei progetti urbani di ogni genere e tematica.

Tabella 65 - *Tabella riassuntiva: possibili riduzioni del rumore del traffico a seguito di diverse azioni di mitigazione che riguardano la circolazione dei veicoli*
[da QCITY FP6-516420]

Ubicazione	Azione	Riduzione dB(A)	Costo Euro	Livello di accettazione	Limitazioni specifiche
Strada di collegamento	Chiusura al traffico	3 – 14 (L_{DAY})	Basso	Alto per chi vive lungo la strada, Basso per i cittadini esposti ad un nuovo percorso e per la riduzione dell'accessibilità	Relative al tipo di deviazione
Strada di collegamento	Diminuzione dei limiti di velocità	3 – 4 (L_{DAY})	Basso	Alto per chi vive lungo la strada, Basso per i cittadini esposti ad un nuovo percorso e per la riduzione dell'accessibilità, Alto per la sicurezza	Relative al tipo di deviazione
Area molto trafficata	Creazione di zone quiete mediante tariffazione o costruzione di barriere	3 – 14 (L_{DAY})	Alto	Alto per chi vive nell'area, Basso per i cittadini esposti ad un nuovo percorso e per la riduzione dell'accessibilità	Relative al tipo di deviazione e ai parcheggi adiacenti
Area molto trafficata	Incremento della frequenza di passaggio dei mezzi pubblici	Bassa	Alto	Alta per le persone che non hanno mezzi propri, Bassa per i residenti se i mezzi pubblici sono rumorosi	Occorre considerare tutta una serie di altri effetti
Area molto trafficata	Diminuzione del prezzo dei biglietti dei mezzi pubblici	Bassa	Alto	Alto	Occorre considerare tutta una serie di altri effetti
Area molto trafficata	Tassazione dei veicoli rumorosi	1 in 10 anni	Vari	Dipende dalla zona e dalle tasse	Occorre promuovere veicoli silenziosi
Strada trafficata	Intervenire in vario modo per ottenere una guida meno aggressiva	1	Vari	Relativamente alti	/

Figura 18 - *Tabella di sintesi: potenziale riduzione del rumore da traffico, a seguito di diversi ambiti d'intervento di mitigazione.*



3.3 Riduzione del rumore alla sorgente: infrastrutture ferroviarie

3.3.1 Caratteristiche acustiche della sorgente sonora

Le sorgenti acustiche del rumore ferroviario sono due: il sistema treno e il sistema binario.

- 1) Le emissioni del treno dipendono, oltre che dal tipo di alimentazione, dal tipo di manovra che il treno sta eseguendo.

Il motore adoperato dalle locomotive è elettrico e viene alimentato o da elettrogeneratori mossi da un motore diesel, che presentano un alto contenuto energetico alle basse frequenze, con picco attorno ai 125 Hz, o da una rete elettrica esterna, con il massimo contenuto energetico intorno ai 1000 Hz ed un livello acustico inferiore di 7-8 dB(A) rispetto al primo caso (al quale va però sommato il rumore del contatto tra il pantografo e i conduttori di alimentazione).

Nel caso di motore elettro-diesel occorre considerare anche le emissioni prodotte dallo scarico dei prodotti di combustione e dalle ventole del sistema di raffreddamento del motore.

Per quanto riguarda le manovre eseguite dal treno, ad esse si accompagna un rumore diverso a seconda che la motrice sia in fase di accelerazione, in movimento a velocità costante, o in fase di frenata. Ad esempio, in caso di frenata, oltre al classico rumore da rotolamento, si aggiunge il rumore prodotto dallo slittamento delle ruote sui binari.

- 2) Il binario è l'infrastruttura basilare nella costruzione di linee ferroviarie e tranviarie. Esso è una struttura composta da due profilati metallici in acciaio (rotaie), la cui sezione è una trave "a doppia T" asimmetrica, montati parallelamente su una struttura portante detta traversina, per mezzo di sistemi di fissaggio differenti a seconda dell'epoca e della tipologia costruttiva della linea ferrata.

Le rotaie, affiancate a coppia e parallele, sono fissate sulle traverse con un'inclinazione di 1/20 sul piano orizzontale, tramite dei bulloni o degli attacchi speciali; le traversine (in legno, acciaio o cemento) sono annegate nella massicciata o ballast, una struttura a sezione trapezoidale di altezza massima di circa 50 cm composta da pietrisco selezionato all'uopo, di dimensione in ogni direzione compresa tra i 25 e 60 mm, per le linee ferroviarie, e tra i 15 e 30 mm, per le linee tranviarie o leggere. Lo scopo della massicciata è quello di ripartire uniformemente i carichi di esercizio dovuti al passaggio dei treni sulla fondazione

stradale in maniera tale da evitare i cedimenti strutturali e di garantire, attraverso l'attrito tra i ciottoli, la perfetta circolabilità del binario. Il fatto che il pietrisco non sia vincolato, ma solo appoggiato, garantisce anche il drenaggio dell'acqua piovana.

Il complesso delle due rotaie e delle traversine viene definito binario, mentre l'intero insieme binario, traversine e strutture di ancoraggio, viene definito armamento.

Si definisce scartamento la distanza fra le tangenti dei bordi interni dei funghi delle rotaie, presa 14 mm al di sotto del piano di rotolamento. Lo scartamento non è universale: nazioni e sistemi ferroviari differenti possono avere scartamenti diversi. In Italia lo scartamento dell'intera rete dello Stato è di 1435 mm, definito in sede internazionale come Scartamento normale, o standard.

Nei prossimi paragrafi, oltre al rumore continuo generato dal contatto treno-binario, si illustreranno anche particolari rumori localmente generati, come il passaggio sui giunti tra le rotaie, sugli scambi e sulle curve.

Una buona progettazione consente di eliminare questi rumori, in particolare nelle zone urbane e suburbane.

Il rumore prodotto dal transito di un convoglio ferroviario ha origine da diverse componenti: dal contatto ruota-rotaia, dal contatto pantografo-linea, dai motori di trazione, delle apparecchiature ausiliarie di raffreddamento, dall'aerodinamica del sistema e da eventi occasionali.

Il contatto ruota-rotaia dipende dal peso assiale e dalle dimensioni delle ruote: è presente sia sui locomotori sia sul materiale rimorchiato. L'intensità dei livelli di pressione sonora è legata alla velocità e ad altri fattori, fra i quali il più importante risulta essere lo stato di usura dei binari e delle ruote e quindi la loro mazzatura. Generalmente la variazione del livello sonoro è funzione della velocità.

Lo studio fatto all'interno del progetto CALM (G4RT-CT-2001-05043) ha mostrato che il rumore da rotolamento, misurato in bande di terzi d'ottava, assume valori significativi tra i 250 e i 4.000 Hz; in particolare le frequenze dominanti per i binari sono tra i 600 e i 1.000 Hz, per le traversine sono circa tra i 250 e i 400 Hz, mentre per le ruote dominano le frequenze comprese tra 1.500 e 4.000 Hz.

L'angolo di emissione sonora risulta essenzialmente confinato nei 30 gradi sopra e sotto il piano del binario, fuori da questo cono il rumore prodotto è in genere trascurabile.

Si hanno due categorie di rumore generato dal contatto ruota/binario:

- 1) sorgente di rumore continua:
 - rumore di rotolamento della ruota sul binario,
- 2) sorgente di rumore locale:
 - rumore sulle curve,
 - rumore sui giunti,
 - rumore su cambi e incroci,
 - rumore sui ponti,
 - rumore in prossimità delle stazioni dovuto alle frenate.

Il rumore provocato dal contatto pantografo-linea in genere si avverte alle alte velocità, superiori ai 200 km/h, quindi risulta determinante per i treni ad alta velocità.

I motori di trazione comunemente impiegati sulla quasi totalità dei convogli destinati al traino di materiale rotabile passeggeri e merci sono elettrici e funzionano normalmente con una tensione di 3 kV. La rumorosità emessa è significativa solo alle basse velocità, come nei tratti di ingresso ed uscita dalle stazioni ferroviarie, ed è direttamente proporzionale alla velocità (al contrario degli altri rumori che crescono con relazioni di proporzionalità con potenze superiori rispetto alla velocità).

Il rumore aerodinamico è generato dall'aria che scorre lungo la superficie del convoglio e dalle discontinuità del treno. Questo parametro risulta molto significativo per velocità generalmente superiori a 280 km/h, determinando la rumorosità dei treni ad alta velocità che non hanno particolari accorgimenti aerodinamici.

Le apparecchiature ausiliarie di raffreddamento sono poco influenti e avvertibili solo alle basse velocità, inferiori a 60 km/h.

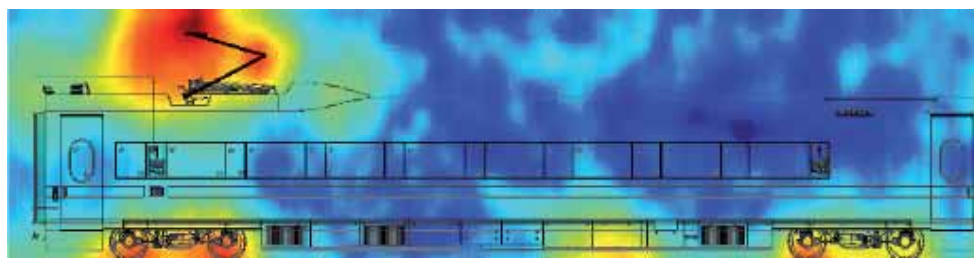
Gli eventi occasionali sono del tipo impulsivo e con presenza di toni puri, e si manifestano in occasione dei fischi, delle frenate (sfregamento del sistema frenante sulla ruota), del passaggio sui giunti di rotaia, sugli scambi, sulle curve, sui ponti ecc.

Il rumore a treno fermo è trascurabile, se escludiamo il rumore provocato dal funzionamento degli impianti di ventilazione e trattamento dell'aria.

La propagazione del rumore prodotto dal transito dei treni è influenzata da diversi fattori, che nel caso di campo libero sono la divergenza geometrica, l'assorbimento dell'atmosfera e quello del suolo.

Il treno in movimento non può essere assimilato a una sorgente sonora omnidirezionale, poiché la base della cassa costituisce uno schermo alla propagazione del rumore generato dal carrello ferroviario.

Figura 19 - *Principali fattori responsabili del rumore di un treno ad alta velocità: visualizzazione tramite cartogramma delle varie fonti di rumore dovute al passaggio di un convoglio ferroviario ICE3 a 325 Km/h. In rosso le emissioni maggiori [da Harmonoise Project Technical Report HAR12TR-020118-SNCF10, 2002]*



In generale, la risoluzione del problema rumore in ambito ferroviario è complessa e coinvolge diversi soggetti. Deve essere affrontato secondo un approccio multidisciplinare, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- introduzione di regolamentazioni obbligatori, in particolare per quanto riguarda i limiti di emissione e immissione;
- introduzione di incentivi economici e operativi per i veicoli a bassa emissione;
- regolamentazione degli appalti;
- pianificazione del territorio;
- sviluppo e partecipazione a programmi europei comuni di abbattimento del rumore;
- sviluppo di programmi statali di ricerca;
- informazione e consapevolezza del pubblico.

Figura 20 - La dipendenza del rumore ferroviario dalla velocità [da *Position paper on the european strategies and priorities for railway noise abatement*, WG Railway noise of the European Commission, 2004]

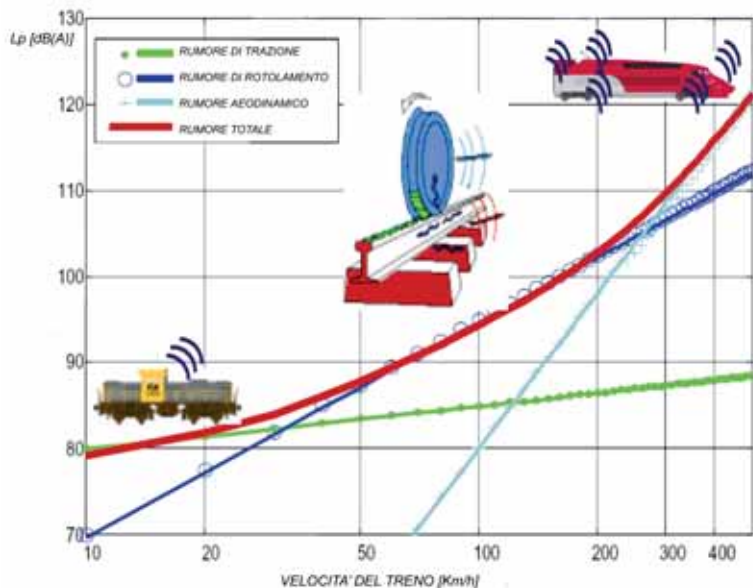


Tabella 66 - Rilevanza delle diverse sorgenti di rumore ferroviario

Sorgente di rumore	Situazione delle emissioni				
	Pass-by (V in km/h)			Nelle stazioni	In manovra
	Bassa velocità V < 60	Media velocità 60 < V < 250	Alta velocità V > 250		
Rotolamento	+	++	++	+	
Trazione e sistemi ausiliari	++	+		++	++
Aerodinamica			++		
Cigolio in curva	+			++	++
Frenate	+			++	++
Giunti, ponti	+	+		+	++
+ rilevante ++ molto rilevante					

Attualmente l'apparato normativo guida sul rumore in Europa ha lo scopo di regolare:

- la generazione del rumore (emissione) a livello europeo;
- la ricezione del rumore (immissione) a livello nazionale.

Il testo che stabilisce limiti all'emissione di rumore per il materiale rotabile è la Specifica Tecnica sull'Interoperabilità (T.S.I., Technical Specification for Interoperability).

Esistono T.S.I. per l'alta velocità così come per le ferrovie convenzionali.

Le principali specifiche tecniche per le ferrovie convenzionali sono la Direttiva 2001/16/EC "Conventional Trans-European Rail System" e la "Decisione della Commissione 2004/446/EC sui carri merci", mentre quelle per l'alta velocità sono la Direttiva del Consiglio 96/48/EC "Interoperability of the trans-european rail system", la Decisione della Commissione 2002/735/EC "Interoperability relating to high-speed rolling stock" e la Decisione della Commissione 2002/732/EC "Interoperability relating to high-speed railway infrastructures".

Con le specifiche tecniche di interoperabilità l'Unione Europea definisce i valori limite per il materiale rotabile nuovo e per quello rinnovato o ammodernato. Vengono stabiliti valori differenti per i diversi tipi di carri (ad es. carri merci, carrozze passeggeri) o per le diverse situazioni di servizio (transito, posizione di riposo, rumore all'avvio, rumore interno).

Poiché la sostituzione dei veicoli ferroviari è molto lenta, per via della loro lunga vita di servizio, occorreranno tempi lunghi perché questa legislazione abbia un impatto evidente.

Per quanto riguarda il rumore di marcia nelle linee ferroviarie convenzionali, i valori limite sono entrati in vigore il 23/06/06. Le direttive T.S.I. vengono riesaminate ogni tre anni, secondo la Decisione della Commissione 2006/66/EC.

Nella Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo dell'ottobre 2008, a proposito delle misure di abbattimento del rumore ferroviario riguardanti la flotta esistente, si istituisce il T.A.C. (*noise related Track Access Charging*), ovvero una tariffa di accesso ai binari dipendente dalla loro rumorosità, individuando alcuni passi da compiere.

Il primo passo è la proposta di adottare su base volontaria una differente tariffa di accesso ai binari con un bonus per i vagoni silenziosi (per i nuovi, ma anche retroattivamente per quelli esistenti che soddisfano determinate caratteristiche). Il bonus sarà pagato dai gestori dei treni ai gestori delle infrastrutture dallo Stato e influenzerà strategie sul medio e lungo periodo, volte alla diminuzione della rumorosità. Tali bonus risultano efficaci se coprono la maggior parte delle spese affrontate per ridurre la rumorosità dell'infrastruttura.

La Commissione intende inoltre proporre dei requisiti, integrabili nella legislazione, per implementare la tariffazione dell'accesso ai binari sulla base del rumore da essi emesso, nel corso della revisione della Direttiva 2001/14/EC.

Come passo finale la Commissione raccomanda l'istituzione di una soglia alle emissioni rumorose, specialmente per i punti caldi dell'infrastruttura e relativamente al periodo serale e notturno.

Occorre inoltre diversificare le tariffe per i vagoni merci e quelli passeggeri, imponendole sulla rumorosità dei singoli vagoni e non su quella dell'intero treno.

La riduzione del rumore è necessaria per l'operatività ferroviaria: sulle attuali linee ferroviarie il traffico merci è la fonte primaria di rumore. Per ottenere un sistema di trasporto sostenibile è necessario che le ferrovie riducano il livello di rumorosità, pena un grave danno all'immagine positiva della ferrovia come mezzo di trasporto da incentivare.

I problemi correlati al rumore potrebbero inoltre impedire l'aumento del traffico su rotaia, fattore questo che andrebbe a sua volta ad ostacolare la politica europea in materia di rumore, incentrata sull'incremento della quota di mercato delle ferrovie.

Nel 1998 l'Unione Internazionale delle Ferrovie (UIC – Union Internationale des Chemins de Fer), la Comunità delle Ferrovie Europee (CER) e l'Unione Internazionale delle Associazioni di Proprietari di Carri Privati (UIP) hanno intrapreso il "Programma di azione per l'abbattimento del rumore dovuto al traffico merci". Obiettivo di questo programma è l'implementazione di misure sostenibili per l'abbattimento del rumore ferroviario, mediante l'introduzione di tecnologie a basso impatto acustico nel traffico merci, essendo questa tipologia di traffico la principale fonte del rumore.

Il gruppo di studio W.G. Railway Noise della Commissione Europea consiglia di adottare i limiti proposti dall'Art. 21 della Direttiva sull'interoperabilità, che per l'alta velocità sono quelli in Tabella 67.

Tabella 67 - Limiti di emissione proposti dalla Direttiva Europea 572008/CE sull'interoperabilità per l'alta velocità espressi a velocità massima costante (livello misurato a 25 m di distanza dal centro dei binari in accordo con la EN ISO 3095)

	Velocità (km/h)			
	250	300	320	350
Art. 21 Dir. (2002-2003)	90 dB(A)	93 dB(A)	94 dB(A)	
Art. 21 Dir. (dal 2004)	86 dB(A)	89 dB(A)	90 dB(A)	-3 dB(A)

Le esigenze stesse delle ferrovie per meglio gestire il proprio traffico sono importanti per la lotta all'inquinamento acustico: nella scelta delle misure di risanamento è necessario tenere conto delle particolari condizioni in cui operano i gestori.

- Normalmente i carri merci vengono sostituiti solo dopo un lungo periodo di servizio e non è quindi possibile provvedere ad una riduzione soddisfacente del rumore sostituendo i carri esistenti.
- Nell'esercizio ferroviario, sono coinvolti molti portatori di interesse con i più svariati interessi. Tra questi vanno citati i gestori, i proprietari delle infrastrutture, i governi, le autorità regionali e gli abitanti.
- L'esercizio ferroviario deve scontrarsi con una concorrenza molto agguerrita. Ogni investimento influenza la capacità competitiva e deve pertanto essere verificato con cura.
- La creazione di Piani di Azione ricadrà sotto la responsabilità delle unità infrastrutturali.

Attualmente in Italia è il DPR n. 459 del 18/11/1998 che fissa i limiti massimi di emissione per il materiale rotabile di nuova costruzione.

Il livello equivalente ponderato A, misurato al passaggio del treno, con la costante di tempo "fast", deve essere valutato a 25 m dalla mezzeria del binario di corsa, in campo libero, a 3,5 m sul piano del ferro.

I limiti sono quelli riportati in Tabella 68.

Tabella 68 - *Limiti emissione per il nuovo materiale rotabile* [dal DPR n. 459 del 18/11/1998]

Velocità km/h	Tipo di materiale	Tipo di trasporto	Limite massimo dB(A)	
			Dal 1/1/2002	Dal 1/1/2012
250	Trainante	Passeggeri	90	88
	Trainato	Passeggeri	88	86
160	Trainante	Passeggeri	85	83
	Trainato	Passeggeri	83	81
	Trainante	Merci	85	83
	Trainato	Merci	90	88
90	Trainante	Merci	84	82
	Trainato	Merci	89	89
80	Locomotrici diesel	-	88	88
	Automotrici	-	83	83

Tabella 69 - *Strumenti per l'abbattimento del rumore ferroviario e loro valutazione strategica data dal gruppo di lavoro WG [da Position paper on the european strategies and priorities for railway noise abatement]*

Azione	Campo di applicazione	Valutazione del gruppo WG	
		Priorità	Già accettato
<i>Retro-fitting del materiale rotabile esistente</i>	<i>Emissioni della flotta di veicoli esistente</i>	<i>Alta</i>	<i>Si</i>
<i>Recepimento limiti per le linee esistenti</i>	<i>Esposizione lungo le linee esistenti</i>	<i>Bassa</i>	<i>No</i>
Recepimento limiti nazionali per le linee esistenti		Media	Si
Recepimento dei limiti nazionali per le nuove case lungo le linee esistenti		Alta	Si
Limiti che riflettano le soglie di insorgenza di effetti sanitari avversi seri		Media	Si
Maggior considerazione della costante crescita dei livelli dovuta all'innalzamento della velocità e dei volumi di traffico		Bassa	Si
<i>Imposizione di un tetto massimo alle emissioni</i>	<i>Emissioni di vagoni e binari</i>	<i>Bassa</i>	<i>No</i>
<i>Limitazione all'accesso di veicoli rumorosi</i>	<i>Veicoli</i>	<i>Bassa</i>	<i>Si</i>
<i>Regolazione delle emissioni dei nuovi veicoli</i>	<i>Emissioni dei nuovi veicoli</i>	<i>Media</i>	<i>Si</i>
Limiti per veicoli interoperabili nuovi		Alta	Si
Limiti per veicoli non interoperabili nuovi		Alta	Si
Le regolamentazioni dovrebbero riguardare la conformità dei veicoli in uso		Bassa	No
<i>Programmi di riduzione della scabrosità dei binari</i>	<i>Emissioni del binario</i>	<i>Media</i>	<i>Si</i>

segue...

...segue

Azione	Campo di applicazione	Valutazione del gruppo WG	
		Priorità	Già accettato
I programmi delle operazioni di molatura per il normale mantenimento dei binari dovrebbero tenere in considerazione l'aspetto acustico		Alta	Si
Raccomandazioni a favore della molatura acustica		Media	Si
Strumenti per ri-progettare i binari	Emissioni del binario	Alta	Si
Regolamentazioni sui binari	Emissioni del binario	Bassa	Si
Regolamentazioni comunitarie sui binari che siano implementazione della TSI		Bassa	No
Regolamentazioni sui binari di tipo nazionale(ad esempio: limiti particolari per la ruvidità del binario)		Bassa	Si
Dichiarazione di certificati di qualità e protocolli di mantenimento da parte dei gestori dell'infrastruttura per l'UE (TEN-T) o per organismi nazionali specifici		Media	Si
Specifiche per le emissioni di veicoli e binari nella fase di costruzione	Emissioni di veicoli e binari nuovi	Alta	Si
Incentivi per veicoli a basse emissioni	Emissioni dei veicoli	Alta	Si
Finanziamento pubblico dei programmi di abbattimento del rumore	Esposizione lungo le linee esistenti	Alta	Si
Accordi volontari	Veicoli e binari	Media	Si

segue...

...segue

Azione	Campo di applicazione	Valutazione del gruppo WG	
		Priorità	Già accettato
Finanziamento da parte degli Stati Membri e dell'Unione Europea di ricerca e sviluppo	Veicoli e binari	Alta	Si
Informazione di tutte le parti interessate	Emissioni ed esposizioni	Media	Si
Miglioramento dello standard di misura del rumore ferroviario in esterno	Veicoli e binari	Alta	Si
Sviluppo di un esauriente modello di simulazione	Esposizioni	Media	Si
Informazione e partecipazione del pubblico	Emissioni ed esposizioni	Bassa	Si / No Il voto è stato paritetico

3.3.2 Percezione del rumore ferroviario

Il rumore ferroviario che crea più fastidio alla popolazione, più che quello generato nelle stazioni dovuto alle frenate e alle ripartenze, è in genere quello dovuto al passaggio dei convogli. Tale rumore è strettamente legato alla velocità e alla tipologia del treno: i treni merci risultano infatti molto più rumorosi di quelli passeggeri, dovuto alla struttura dei carrelli ferroviari che creano uno spettro più rumoroso, ed all'uso di freni a ceppi: le emissioni sonore di un treno merci sono indicativamente circa 4-5 dB(A) superiori rispetto a quello di un treno passeggeri, ad esempio, considerando il treno merci ad una velocità di 100 km/h e il treno passeggeri a quella di 200 km/h.; inoltre gli Eurostar risultano più rumorosi dei regionali a causa dell'alta velocità a cui viaggiano, emettendo a frequenze molto alte; le motrici invece emettono tipicamente a frequenze più basse.

Buoni risultati si stanno ottenendo con il perfezionamento e lo sviluppo della progettazione di binari a ridotte emissioni acustiche, comprensivi di componenti aggiuntivi quali smorzatori, barriere di assorbimento e barriere fonoassorbenti poste in prossimità delle rotaie.

La misura antirumore finora estensivamente adottata, cioè l'adozione di barriere acustiche, intervento di tipo passivo, presenta notevoli svantaggi: costi al chilometro molto elevati, impatto visivo notevole e riduzione delle possibilità di evacuazione e di accesso alla sede ferroviaria in caso di incidenti. Inoltre, il beneficio della barriera è ovviamente limitato al sito nel quale è installata; le misure antirumore applicate alle ruote sono invece automaticamente valide ovunque il treno si trovi a circolare, aspetto estremamente importante.

Anche in questo caso, dunque, gli interventi direttamente sulla sorgente sono preferibili a quelli sul ricettore mentre quelli adottati in sede di pianificazione e costruzione di tali linee sono i più lungimiranti.

3.3.3 Rumore da rotolamento

È la situazione standard presente nella maggior parte dei binari e quindi la maggior responsabile del rumore ferroviario, agendo sulla quale si ha un discreto miglioramento del clima acustico nei centri urbani e in prossimità degli stessi.

Si può ridurre la produzione del rumore da rotolamento, sia del treno che dei binari, agendo sui parametri indicati precedentemente come responsabili nel meccanismo di generazione, come la suola della rotaia, le traversine, la rugosità del binario e il profilo della ruota.

Ruote lisce su rotaie lisce producono meno rumore; questo tipo di rumore ferroviario, infatti, è causato da piccole irregolarità e scabrosità presenti sulle ruote e sulle rotaie. Il movimento dei carri imprime una vibrazione alle ruote e alle rotaie, ed è questa vibrazione a produrre il rumore. Se ruote e rotaie sono lisce, gran parte di questo rumore può dunque essere eliminato.

La scelta del ceppo del freno influisce in misura considerevole sulla rumorosità di marcia: i ceppi in ghisa delle ruote frenate causano un irruvidimento delle ruote, mentre l'impiego di sole in materiale composito permette di mantenerle lisce.

Il livello delle emissioni ruota-rotaia dipende da diversi fattori quali:

- condizioni delle ruote;
- velocità di crociera;
- condizioni delle rotaie;
- tipologia di materiale rotabile.

Tabella 70 - *I vari tipi di usura ondulatoria, secondo Grassie and Kalousek [in Rail corrugation: characteristics, causes and research]*

	Classificazione	Lunghezza d'onda [mm]	Causa
1	Traffico pesante	200 - 300	Risonanza P2
2	Traffico leggero	500 - 1500	Risonanza P2
3	Traversine	45 – 60 (RATP)	Risonanza della traversina
		51 – 57 (Baltimore)	Risonanza delle ruote del treno
4	Fatica da contatto	150 - 450	Risonanza P2 laterale
5	Creazione di solchi	50 (traffico leggero)	Risonanza di torsione delle ruote
		200 (RATP)	Picco di forza verticale dinamica
		150 – 450 (FAST)	Risonanza P2
6	Rotaia con usura ondulatoria	25 - 80	<i>sconosciuta</i>

In generale per quanto riguarda la fonte di rumore del contatto ruota-rotaia si può agire in varie direzioni complementari.

- Lavorare su ruote e binari per diminuirne la scabrezza. Bisogna eseguire degli interventi periodici di molatura per lisciare le superfici metalliche e diminuirne le asperità.
- Fare attenzione alle giunzioni tra i binari, preferibilmente saldando questi ultimi e levigando la parte di contatto.
- Intervenire sui freni, che azionandosi continuamente deformano se stessi e le ruote, sostituendo i vecchi freni a ceppo in ghisa con freni in materiale composito, K-block o LL-block.
- Inserire degli smorzatori lungo i binari e isolare le strutture in ferro dei binari dal terreno.
- Inserire degli schermi direttamente alla sorgente, sia bassi accanto ai binari che sui vagoni a coprire le ruote. In questo modo si ha il vantaggio, rispetto alle barriere alte, di poter osservare il paesaggio dai vagoni del treno e pertanto presumibilmente si può avere un minor impatto paesaggistico.
- Diminuire il numero delle ruote e migliorarne il profilo e i materiali.

Il rumore ruota-rotaia è dovuto a tre componenti:

- il rumore di rotolamento,
- il rumore da impatto,
- il rumore da corrugamento.

Anche recenti studi hanno dimostrato che le principali misure di riduzione dirette del rumore causato dal traffico ferroviario sono le seguenti:

1) Misure di riduzione specifiche applicabili al treno:

- utilizzo di suole frenanti in materiale composito;
- sostituzione dei ceppi dei freni;
- smorzatori di vibrazione delle ruote;
- riprofilatura delle ruote;
- utilizzo di ruote a bassa emissione acustica.

2) Misure di riduzione specifiche applicabili ai binari:

- molatura acustica;
- rotaie annegate nei centri urbani;
- smorzatori di vibrazione della rotaia;
- suola della rotaia;
- rotaie in piattaforma resiliente per ponti;
- interventi sui supporti;
- interventi sugli scambi;
- interventi di riduzione del rumore in curva;
- interventi anti-cigolio.

Segue ora un resoconto dei principali studi europei sul rumore ferroviario e sulle cause, nonché una panoramica delle soluzioni proposte.

Tabella 71 - *Misure di riduzione del rumore e benefici attesi in termini di abbassamento dei livelli sonori* [da Ögren M., *Noise Emission from Rail Traffic* - VTI Rapport 559°, 0347-6030]

	Misura	Riduzione Potenziale in dB(A)
Rugosità di ruota e binario	Molature delle ruote	10
	Molatura dei binari	10
	Cuscinetti dei freni in materiali compositi	8
Assorbitori su ruota e binario	Assorbitori alle ruote	5
	Assorbitori sui binari	5
	Rigidezza cuscinetti	5
Schermi vicino a ruota e binari	Schermi sovrapposti	10
	Schermi con aperture	3

Tabella 72 - *Misure di riduzione del rumore: costi e benefici attesi in termini di abbassamento dei livelli sonori* [da *Noise Emission from Rail Traffic* - VTI Rapport 559°, 0347-6030]

Misura	Costo	Efficacia in dB(A)
Molatura acustica	50 euro / m per 30 anni	2 – 8
Traversine bi-blocco	Equivalente a quelle tradizionali	2
Suole smorzatrici	Equivalente a quelle tradizionali	1 – 3
Smorzatori rotaia	300 euro / m per 30 anni	3

Tabella 73 - *Rumore da impatto* [da Q-City TIP4-CT-2005-516420]

Ref. GM-Rail	Ubicazione	Azione	Riduzione in dB(A)	Costo (Euro)	Limitazioni
GM-Rail 9	Veicolo	Binario	7 - 10	60 per set di ruote	È il trattamento più importante
GM-Rail 11		Controllo slittamento laterale	7 - 10	5.000 – 10.000 a veicolo	Se fatto riduce anche i costi dell'allineamento
GM-Rail 10	Binario	Molatura dei binari	7 - 10	4.000 a km di binario	Va fatto con l'allineamento delle ruote
GM-Rail 12		Eliminazione dei difetti	0 - 3	Circa 200 a difetto	I costi variano a seconda dei difetti
GM-Rail 13		Manutenzione dei giunti	2 - 3	200 - 400 a giunto	È un aspetto molto importante
GM-Rail 14		Saldatura dei giunti	5	600 a giunto	È un aspetto molto importante
GM-Rail 15		Eliminazione degli strati del supporto	5	250 al m	

Tabella 74 - Rumore da corrugamento [da Q-City TIP4-CT-2005-516420]

Ref. GM-Rail	Ubicazione	Azione	Riduzione in dB(A)	Costo (euro)	Limitazioni
GM-Rail 9	Veicolo	Allineamento ruote	7 - 10	60 per set di ruote	Non applicabile sui freni a ceppi
GM-Rail 16		Modificatore d'attrito	vario	1.400 a veicolo all'anno	2 assi trattati per veicolo
GM-Rail 17		Riprofilatura delle ruote	ID*	60 per set di ruote	
GM-Rail 10	Binario	Molatura "aggressiva"	7 - 10	4.000 a km di binario	
GM-Rail 18		Riduzione della rigidezza dei supporti	ID*	0	
GM-Rail 19		Verniciatura dei binari	ID*	50 al m	Pitture anti attrito
GM-Rail 20		rotaie annegate	ID*	500 al m	Ottimizzazione degli schermi
ID*: azione indiretta che riduce la frequenza di vibrazione di ruote e binari					

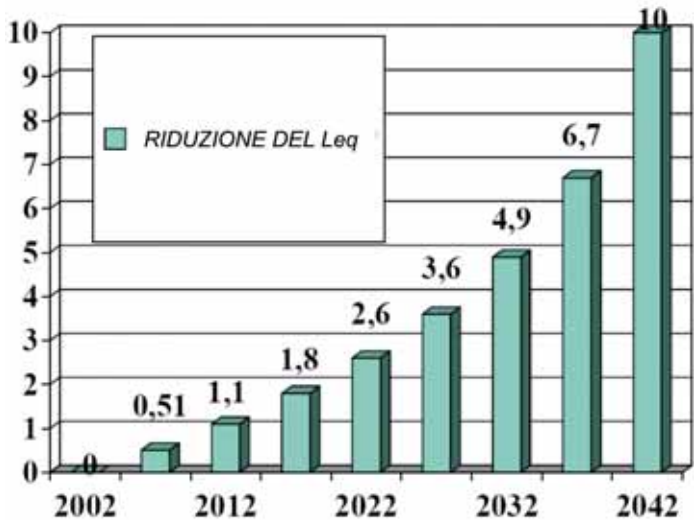
Tabella 75 - Rumore da rotolamento [da Q-City TIP4-CT-2005-516420]

Ref. GM-Rail	Ubicazione	Azione	Riduzione in dB(A)	Costo (euro)	Limitazioni
GM-Rail 1	Veicolo	Ruote resilienti	1 - 2	2.000 – 3.000 a ruota	Non applicabile sui freni a ceppi
GM-Rail 2	Binario	Assorbitori Sui binari	5	100 a mq	Non applicabile se c'è il ballast
GM-Rail 3		Smorzatori accordati in frequenza	1 - 3	500 al m	
GM-Rail 4		Smorzatori globali	2 - 3	100 – 200 al m	
GM-Rail 5		Smorzatori + smorzatori alle ruote	5 - 7	500 a ruota	
GM-Rail 6		rotaie annegate con soletta elastica	1 - 3	500 – 800 al m	
GM-Rail 7		Nuove rotaie +/- Schermi adattati	2 - 5	100 – 1000 al m	Ottimizzazione degli schermi
GM-Rail 8		Profile speciali delle rotaie	5		

Tabella 76 - *Eccessivo rumore da rotolamento* [da Q-City TIP4-CT-2005-516420]

Ref. GM-Rail	Ubicazione	Azione	Riduzione in dB(A)	Costo (Euro)	Limitazioni
GM-Rail 9	Veicolo	Allineamento ruote	7 - 10	60 per set di ruote	Da fare quando si molano i binari
	Trattamenti delle ruote per il normale rumore da rotolamento				
GM-Rail 10	Binario	molatura	7 - 10	4.000 a km di binario	Da fare quando si allineano le ruote
	Trattamenti delle ruote per il normale rumore da rotolamento				

Figura 21 - *Riduzione dei livelli accettabili per mezzo di nuovi veicoli $\Delta L = 10$ dB(A) (sostituzione dei vecchi veicoli, assunto il loro ciclo di vita pari a 40 anni).*
[da *Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement WG Railway Noise of the European Commission, 2004*]



3.3.3.1 Misure di riduzione specifiche applicabili al treno

3.3.3.1.1 Utilizzo di suole frenanti in materiale composito

La riduzione del rumore è ottenibile agevolmente tramite la rimozione delle suole frenanti in ghisa, poiché questa obsoleta tecnologia accresce velocemente la rugosità superficiale delle ruote e, durante il rotolamento, causa uno dei principali contributi del

rumore ferroviario. Al contrario, le nuove suole in materiale composito, attualmente presenti sul mercato nelle due tecnologie K-block e LL-block, sono meno aggressive sul profilo della ruota, comportandone un'usura minore. Questi nuovi sistemi frenanti lasciano quindi le ruote più lisce e non amplificano così le vibrazioni del sistema.

La sostituzione dei freni in ghisa con freni compositi può diminuire il livello di emissione, in misura differente a seconda dello stato delle ruote e della tratta ferroviaria. Il beneficio massimo si può attestare intorno a una riduzione dell'emissione di circa 12 dB(A).

Infine, i freni a disco sono sicuramente lo strumento risolutivo migliore per evitare il modificarsi del profilo della ruota e quindi per mantenere un basso livello di rugosità. Essi, tuttavia, essendo più costosi, non vengono montati in maniera sistematica sui treni merci, che risultano pertanto i più rumorosi.

Figure 22A, 22B e 22C - *Esempi di suole frenanti in materiale composito* [da *Project Nicobb WP2 -Field tests, pass by noise and wheel roughness measurements on LL- K- and CL- block braked wagons, 2008, DB Mobility Networks Logistics*]

Suola LL



Suola K



Suole CL



Tabella 77 - *Comparazione dei vari tipi di suole, valori espressi in dB(A) [da Project Nicobb WP2 – Field tests Pass by noise and wheel roughness measurements on LL- K- and CL- block braked wagons, 2008 - DB Mobility Networks Logistics]*

V km/h	Suole CL	Suole K	Suole LL
80	94	80	81
120	95	82	82

Per i veicoli nuovi conviene utilizzare le suole frenanti K: i vagoni equipaggiati con questa tecnologia, infatti, non risultano affatto più costosi rispetto a quelli dotati di suole in ghisa. Le suole K possono anche essere utilizzate sulla flotta già esistente, ma i sistemi frenanti debbono essere in tal caso riadattati al nuovo sistema, comportando costi di retro-fitting che si aggirano tra i 4.000 euro e gli 8.000 euro per veicolo (nel caso di vagoni a 2 o 4 assi).

Sul mercato esistono vari tipi di suole K disponibili.

Un'alternativa possibile sono le suole LL. Tali suole richiedono minori adattamenti del sistema frenante, e le spese per il retro-fitting sono stimabili in circa un terzo rispetto alle cifre menzionate sopra, potendo essere montate senza modifiche.

La flotta europea che dovrebbe essere sottoposta a retro-fitting è di circa 600.000 veicoli (il conteggio risale al 2007).

Il progetto costa globalmente attorno ai 3 miliardi di Euro per le suole K e attorno ad 1 miliardo di Euro se si utilizzano le suole LL.

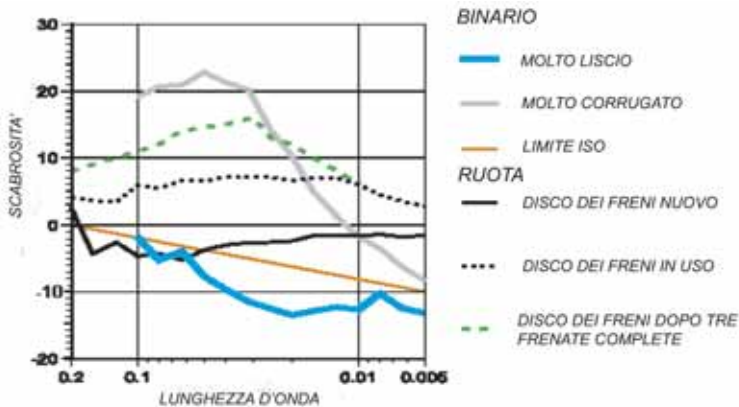
Mentre, come si è detto, equipaggiare i vagoni nuovi con suole in materiale sintetico non comporta costi aggiuntivi, il farlo sul materiale rotabile già esistente è ostacolato dalla limitatezza dei fondi accantonati. Parte dei finanziamenti per l'implementazione dei nuovi sistemi frenanti potrebbe derivare, nel lungo periodo, dalla possibile eliminazione della necessità di costruire barriere antirumore.

Tabella 78 - *Risanamento acustico del trasporto merci su ferrovia. Confronto fra le caratteristiche delle suole K e delle suole LL* [“Stato dell’arte”- Rapp. CER, UIC, 2006]

	Suole K	Suole LL
Riduzione rumore di marcia	8 – 10 dB	Si ipotizza una riduzione di 2 dB rispetto alle suole K
Retro-fitting	È necessario adattare il sistema frenante	Non è necessario alcun adattamento
Caratteristiche dei freni	Indipendenti dalla velocità	Dipendenti dalla velocità
Omologazione	Omologazione definitiva di tre tipi a partire dal 2003	Omologazione definitiva di tre tipi a partire dal 2007

Gli studi di economicità condotti da Q-City dimostrano che il retro-fitting dei carri merci con suole in materiale composito offre il miglior rapporto costi/benefici. Combinando tali suole con altri provvedimenti di riduzione del rumore è inoltre possibile incrementare l’intero rapporto costi/benefici sul sistema ruota-rotaia. Attualmente si stanno inoltre esaminando anche i costi del ciclo di vita delle suole frenanti. Si ritiene che, in determinate circostanze, un retro-fitting con suole LL non incida in alcun modo sui costi. Per quanto riguarda le suole K, ciò non si verifica a causa degli inevitabili costi per l’adattamento delle suole alle ruote di vagoni già esistenti.

Figura 23 - Livelli di rugosità (dB riferimento di $1 \mu\text{m}$) in funzione della lunghezza d'onda (m) per ruote e binari [da *Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement* – W.G. Railway Noise of the European Commission, 2004]



3.3.3.1.2 Sostituzione dei ceppi dei freni per treni merci

I treni frenati a ceppo su ruota hanno un corrugamento della superficie di rotolamento superiore a quello dei treni frenati a disco. Tuttavia, sono state sviluppate soluzioni in grado di mantenere il più possibile il sistema frenante invariato, grazie alla sostituzione dei soli ceppi o dei ceppi e delle ruote, in questo modo, di facile implementazione, si è capaci di ottenere una riduzione del corrugamento e conseguentemente della rumorosità sino a circa 7 dB(A). Alcuni nuovi ceppi in materiale sinterizzato, anziché in ghisa, sono stati omologati e sono ora disponibili in alcune versioni. L'effetto smorzante è efficace al di sopra dei 30 km/h e varia tra 5 e 10 dB(A).

I costi sono variabili in funzione del tipo di ruota e carro, l'intervento di retro-fitting con sostituzione di impianto e dei ceppi può costare tra euro 3000 ed euro 6700 per carro. Nei casi in cui sia necessario sostituire anche le ruote i costi variano tra euro 5.000 ed euro 10.000 a carro.

3.3.3.1.3 Smorzatori di vibrazione delle ruote

Come già osservato, la ruota rappresenta una delle due sorgenti dominanti nel rumore ferroviario; smorzando la vibrazione della stessa si riduce l'emissione da essa proveniente.

Attualmente vi sono sia prodotti commerciali che prototipi di smorzatori per ruote di convogli; alcuni tra i produttori forniscono anche diversi tipi di ruote smorzate, in funzione del loro utilizzo.

L'effetto è riscontrabile al di sopra dei 40-50 km/h e varia in funzione di parametri

propri del sistema, come la rigidità della suola della rotaia e lo spettro ottenuto come somma energetica degli spettri di ruota e rotaia. La sua efficacia sul livello equivalente può variare da 1 dB(A) a 4 dB(A) e risulta maggiore se ci si trova in presenza di *squeal noise*, il rumore generato dal cattivo accoppiamento tra ruota e rotaia o dal contatto con il bordino della ruota.

Tabella 79 - *Riduzione ipotizzata mediante l'impiego di ruote resilienti* [<http://www.qcity.org/results.html>]

Problema	Normale rumore da rotolamento
Soluzione	Ruote resilienti
Riduzione del rumore attesa	1 – 2 dB(A)
Dettagli	Assorbitori laterali, al contatto col binario

3.3.3.1.4 Riprofilatura delle ruote

A causa dell'usura delle ruote, dei binari e della frequenza delle frenate, ad ogni passaggio del treno, parti di materiale ferroso si depositano in punti ben precisi della rotaia, secondo i modi di vibrazione propri del sistema. Questi accumuli di materiale formano delle asperità, specificatamente in particolari punti, (tendenzialmente dove la rotaia vibra di meno), disposti in maniera periodica sulla linea. La distribuzione di queste asperità segue quindi le lunghezze d'onda compatibili con le frequenze di risonanza della ruota.

La riprofilatura delle ruote consiste nella tornitura del cerchione, per mezzo di torni appositi, per restituire a quelle rovinare dall'usura un profilo regolare. Le imprese ferroviarie stesse hanno dei torni per la riprofilatura delle ruote, nonché le aziende produttrici di sale montate (coppia di ruote ed assile).

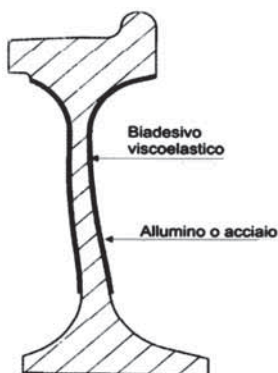
Nel caso di ruote frenanti a disco l'effetto può essere migliorativo o peggiorativo, in quanto tali ruote presentano generalmente già un corrugamento di piccola entità, e l'effetto della riprofilatura deve essere ponderato. Se invece si tratta di ruote frenate a ceppi su cerchione, come nella maggior parte dei carri merci, il corrugamento risulta notevole e l'effetto della riprofilatura può variare il decremento dell'emissione sonora tra 5 e 7 dB(A) di livello equivalente, per velocità al di sopra dei 30 km/h. Come nei casi citati, essendo il traffico ferroviario notturno costituito soprattutto dai treni merci, il beneficio della riprofilatura dei carri merci può essere notevole.

3.3.3.1.5 Utilizzo di ruote a bassa emissione acustica

Alcune aziende recentemente si sono dedicate allo sviluppo di ruote per convogli ferroviari particolarmente silenziose. Lucchini Sidermeccanica S.p.A, ad esempio, in collaborazione con 3M Italia S.p.A, ha presentato la nuova ruota ferroviaria

silenziata Syope e un sistema specifico antirumore che possa essere applicato come retrofit al parco di ruote esistenti. Secondo il documento “Riduzione del rumore ferroviario mediante l’impiego di ruote a bassa emissione acustica”, di A. Bracciali, E. Mingozzi, M. Scepi (2003), il particolare sistema citato consiste in un pannello di acciaio di 2 mm, stampato con il medesimo profilo della sezione della ruota, applicato mediante incollaggio con l’interposizione di un polimero viscoelastico. Tale trattamento, dal peso di circa 9 kg, per l’adattamento alla ruota standard italiana dei treni ad alta velocità, può essere applicato a qualunque ruota frenata a dischi.

Figura 24 - *Particolare della sezione della ruota ferroviaria silenziata Syope* [da Bracciali A., Mingozzi E., Scepi M., *Riduzione del rumore ferroviario mediante l’impiego di ruote a bassa emissione acustica*, 2003]

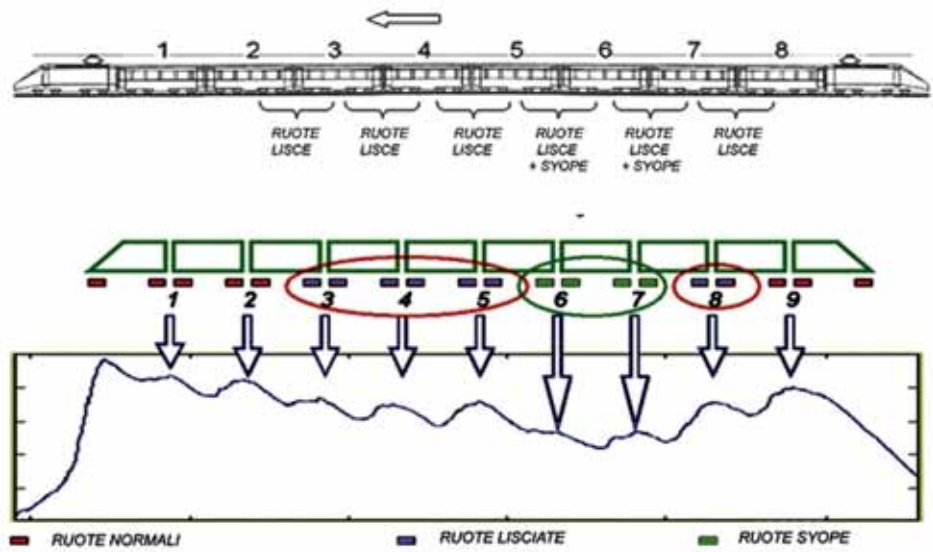


L’abbattimento delle emissioni della ruota varia dai 4 ai 6 dB a seconda delle condizioni d’impiego, con particolari forti riduzioni dell’effetto di stridio nei tratti in curva. La soluzione brevettata, permette di insonorizzare qualsiasi ruota ferroviaria prodotta da Lucchini Sidermeccanica S.p.A., senza la necessità di nuove progettazioni e senza alterarne in alcun modo le caratteristiche: il trattamento Syope, infatti, non pregiudica le normali operazioni meccaniche di tornitura od ispettive che periodicamente vanno eseguite sulle ruote dei convogli.

Il dispositivo Syope è di semplice gestione e manutenzione e non richiede nessuna particolare cura nello smaltimento; la ruota, perfettamente eco-compatibile, a fine vita viene utilizzata per la produzione di nuovo acciaio. Il sistema può essere utilizzato per sale montate con freni a disco.

Risultati sperimentali condotti in laboratorio e in campo, assicurano che Syope riduce il rumore di circa 6 dB(A), sullo spettro di frequenze da 1,6 a 2,5 kHz, ad una velocità di marcia media di 290 km/h.

Figura 25 - *Livelli di pressione sonora L_{pAFmax} per le soluzioni di smorzamento acustico testate. Ruote standard: media sulle coppie di carrelli 3, 4 e 5; ruote Syope: media sulle coppie di carrelli 6 e 7* [da Bracciali A., Mingozzi E., Scepi M., *Riduzione del rumore ferroviario mediante l'impiego di ruote a bassa emissione acustica*, 2003]



I risultati sono stati certificati, sulla base di test in linea condotti dal 2000 al 2002, da Italcertifer, l’Istituto Italiano di Ricerca e di Certificazione Ferroviaria, per quanto riguarda le prove sull’ETR500, e dalla Ferrovia Circumvesuviana, un’azienda che gestisce diverse linee di trasporti in Campania.

Tabella 80 - *Riduzione dei livelli sonori mediante l'impiego di ruote silenziate Syope* [da Lucchini Sidermeccanica S.p.A.]

Velocità km/h	Test	Ruote Standard dB(A)	Ruote Syope dB(A)	Riduzione dB(A)
50	Circumvesuviana	85	80	-5
70		87	83	-4
90		89,5	85	-4,5
190	ETR 500	88,4	84,4	-4
235		93,2	88,6	-4,6
260		97	91,8	-5,2
295		98,4	94,1	-4,3

Tabella 81 - Confronto tra i livelli sonori ottenuti dall'impiego di vari tipi di ruote e di carenature, espressi in dB(A) [da Lucchini Sidermeccanica S.p.A.]

Velocità km/h	Ruote standard	Ruote standard + carenature	Ruote Syope dB(A)	Ruote Syope+ carenature
190	88,4	86,2 (-2,2)	84,4 (-4,0)	82,8 (-5,6)
235	93,2	90,0 (-3,2)	88,6 (-4,6)	86,5 (-6,5)
260	97,0	91,9 (-5,1)	91,8 (-5,2)	88,3 (-8,7)
295	98,4	94,4 (-4,0)	94,1 (-4,3)	90,8 (-7,6)

Figura 26 - Livello di rumore in funzione della velocità dei convogli e degli interventi effettuati sulle ruote [da Bracciali A., Mingozi E., Scepi M., Riduzione del rumore ferroviario mediante l'impiego di ruote a bassa emissione acustica, 2003]

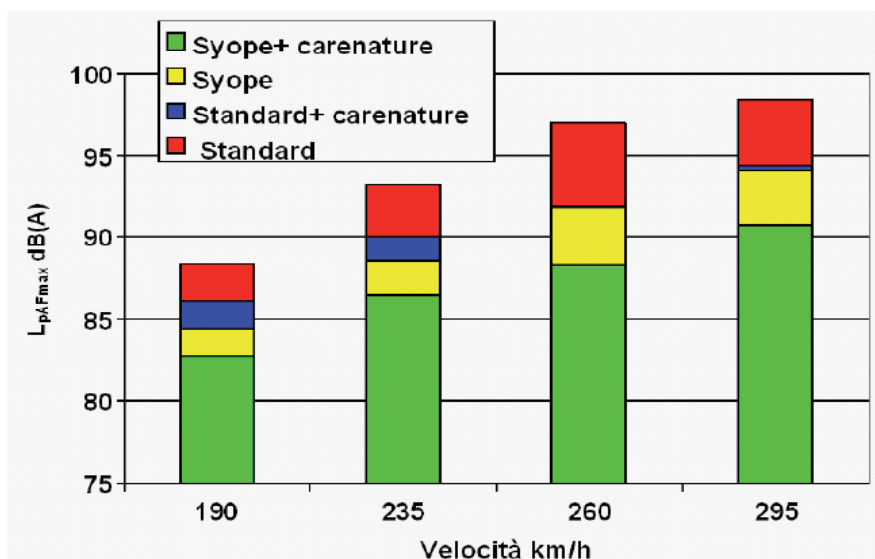
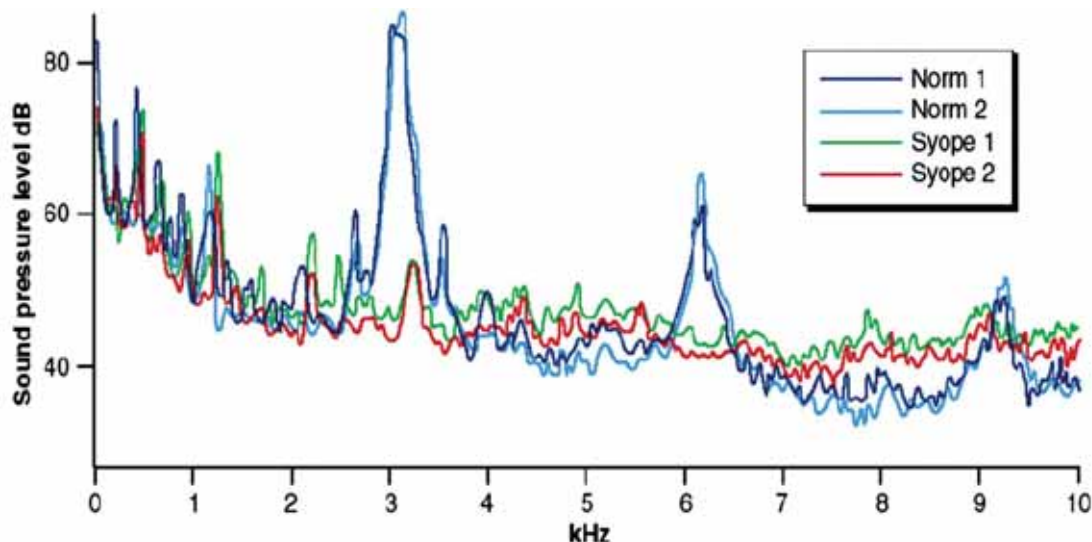


Figura 27 - *Spettro in frequenza del livello di pressione sonora, in curva di raggio stretto, sui convogli Circumvesuviana con e senza ruote Syope [da Bracciali A., Mingozi E., Scepi M., Riduzione del rumore ferroviario mediante l'impiego di ruote a bassa emissione acustica, 2003]*



I vantaggi dell'implementazione del sistema Syope possono essere così riassunti:

- elevata riduzione delle emissioni acustiche;
- adattabilità alle ruote esistenti, senza la necessità di progettare e mettere a punto una nuova ruota;
- aumento di peso limitato (max 9 kg), equamente distribuito, e minimo ingombro;
- inalterabilità delle caratteristiche di resistenza della ruota sulla quale è applicato;
- eccellente protezione della ruota e resistenza alla corrosione;
- nessun onere aggiuntivo di gestione e/o manutenzione;
- il mancato impiego di dispositivi meccanici per il montaggio dei pannelli garantisce elevati indici di sicurezza;
- l'assemblaggio delle ruote Syope su sale corrisponde a quello di qualsiasi ruota standard, senza necessità di ulteriori interventi.

Un altro prodotto molto valido di Lucchini Sidermeccanica S.p.A. è il sistema Galene, una ruota dotata di assorbitori dinamici, in materiale composito (acciaio e polimero). Il sistema Galene può essere utilizzato su nuove ruote in sostituzione.

Il sistema Galene è montato sulla ruota attraverso uno speciale anello elastico in grado di supportare le dilatazioni termiche, mentre gli assorbitori dinamici risultano

effettivamente isolati dai flussi di conduzione termica. Si ricorda, infatti, che la frenatura a ceppi genera notevoli surriscaldamenti (500°C sul rotolamento) e conseguenti dilatazioni circonferenziali.

Il sistema Galene montato sulle ruote carro Lucchini C-Shape è stato testato dalle ferrovie olandesi (Ned Train) su un veicolo merci. I risultati delle prove hanno dimostrato una abbattimento di 3 dB(A) sul rumore di rotolamento a 90 km/h e di 13 dB(A), alla frequenza di 2 kHz, per lo stridio in curva, alla velocità di 20 km/h.

Un altro produttore di ruote ammortizzate e smorzatori, validi sia per il trasporto extraurbano che per quello urbano è Valdunes S.p.A. Dai dati forniti dalla compagnia risulta possibile ottenere, tramite l'impiego delle loro ruote antirumore una riduzione:

- del cigolio, fino a 10-15 dB(A), attraverso l'impiego di particolari anelli smorzanti, per treni a bassa velocità (50-100 km/h);
- di 4-5 dB(A), mediante il sistema smorzatore modulare in composito di acciaio e polimeri, per treni merci e passeggeri, a media velocità;
- di 4-7 dB(A), tramite assorbitori e smorzatori acustici, per treni ad alta velocità.

Schrey & Veit GmbH producono assorbitori per ruote e binari, come gli assorbitori "Vicon-Rasa 6" capaci di ridurre fino a 8 dB(A) l'emissione di rotolamento e addirittura di 35 dB il rumore di cigolio.

Figura 28 - *Vicon-Rasa 3 e Vicon-Rasa 6 della Schrey & Veit GmbH*
[da www.sundv.de/english/en-schiene.htm]



Figura 29 - Esempi di assorbitori acustici sulle ruote. A sinistra, il dispositivo HYPNO, sviluppato nell'ambito del Progetto Europeo SILENCE, da parte di Lucchini RS S.p.A. A destra, ruota per carro ferroviario C-Shape con il silenziatore modulare GALENE (sempre di Lucchini RS S.p.A) e, in basso, ruota elastica per tram Combino (Siemens) con dispositivo GALENE.



3.3.3.2 Misure di riduzione specifiche applicabili al binario

Agli accorgimenti precedentemente descritti studiati appositamente per ridurre l'emissione della ruota, si aggiungono quelli tratti dallo studio di nuovi binari silenziosi.

Le forme e profili delle rotaie sono ormai praticamente standardizzati, così come l'uso dell'acciaio 900A, come materiale costitutivo, mentre per quanto concerne la componentistica del binario si sono fatti tecnicamente dei grandi passi avanti.

Le soluzioni tecniche migliorative che sono state introdotte nel settore, e di cui si

auspica un largo impiego in futuro, sono:

- l'impiego di binari saldati in sostituzione di quelli giuntati;
- l'uso di traverse in cemento;
- la predisposizione di attacchi rotaia-traversa di tipo elastico;
- l'uso di gomme di particolari elasticità tra rotaia e traversa;
- messa in posa e manutenzione migliorative.

Ulteriori trattamenti fonoassorbenti sulle rotaie, come l'annegamento del profilo in elastomeri sintetici o l'applicazione di smorzatori dinamici, hanno un costo elevato e si sono ancora in fase sperimentale. Tuttavia, si auspica che rotaie annegate in elastomeri, vengano nel prossimo futuro utilizzate come prassi, almeno in ambito cittadino o suburbano.

3.3.3.2.1 Molatura acustica

La vibrazione delle parti metalliche a contatto, fonte principale di rumore, è amplificata dal corrugamento superficiale della rotaia e della superficie di rotolamento del cerchione della ruota, pertanto una riduzione di tale corrugamento significa un immediato beneficio in termini di abbattimento del rumore.

In funzione del tipo di treni transitanti e dello stato attuale della superficie di rotolamento, si possono avere riduzioni di oltre 10 dB(A) sul livello equivalente (Q-City TIP4-CT-2005-516420). In particolare, la molatura ordinaria (di mantenimento) consente una riduzione del rumore di 7-8 dB(A), che possono essere incrementati di 3-4 dB(A), utilizzando la più fine molatura acustica, realizzata con dispositivi appositamente progettati.

La molatura è una pratica adottata già da diverse decine di anni per la manutenzione del binario, pertanto le ferrovie hanno rapporti stabili con i fornitori degli strumenti e col personale in grado di effettuarla. Per ripristinare il profilo delle rotaie, si usano delle macchine che asportano fino a 5 mm di spessore, riportando il binario ad un profilo più omogeneo, tramite delle pietre a inclinazione variabile. Tuttavia, non è mai stata avviata un'analisi metodica del corrugamento sulle linee italiane, parametro di certo fondamentale per stabilire il livello di rumore emesso dai diversi tratti di uno stesso binario, e che potrebbe far stabilire con certezza l'influenza della molatura, come azione di abbattimento del rumore ferroviario.

Ad esempio, i macchinari della Speno S.p.A sono in grado di eseguire sia la molatura normale, con diverse inclinazioni, sia quella acustica. La ditta Scheuchzer SA è specializzata nella molatura acustica della testa della rotaia: quest'ultima viene effettuata con dei macchinari che, pur asportando meno materiale, lisciano il profilo in maniera più fine (a volte la molatura classica porta ad un innalzamento temporaneo

del livello di corrugamento), ottenendo fino a 8 dB(A) di riduzione nell'emissione. I costi di queste operazioni, così come i tempi, sono elevati, poiché sono necessari più passaggi del macchinario per ottenere buoni risultati, tuttavia se l'operazione fosse effettuata più frequentemente i disagi sarebbero inferiori.

La molatura è comunque una misura da prendere in considerazione nelle strategie di riduzione del rumore alla sorgente, infatti risulta che una riduzione di 2 dB, tramite molatura acustica, è paragonabile alla costruzione di mezzo metro di barriera, i cui costi sono però nettamente più alti (300 euro/m è il costo medio delle barriere contro i 5 euro/m per la molatura annuale). Un'ulteriore riduzione del rumore si può ottenere lubrificando le rotaie.

Tabella 82 - *Riduzione ipotizzata mediante molatura dei binari*
[da www.qcity.org/results.html]

Problema	Eccessivo rumore da rotolamento
Soluzione	Molatura dei binari
Riduzione del rumore attesa	7 - 10 dB(A)
Dettagli	<ul style="list-style-type: none"> - Molatura con lunghezza d'onda inferiore a 2 - 3 mm - Accuratezza richiesta secondo la ISO 3095
Costo	Euro 4 per m di binario
Limitazioni	<ul style="list-style-type: none"> - Una parte dell'effetto non è apprezzabile viste le particolari frequenze di vibrazione delle ruote - Limitato accesso ai binari nei tunnels o impossibilità pratiche per i binari annegati

Tabella 83 - *Riduzione ipotizzata mediante sistema di fissaggio dei binari resiliente*
[da www.qcity.org/results.html]

Problema	Eccessivo rumore da rotolamento
Soluzione	Fissaggio dei binari resiliente
Riduzione del rumore attesa	7 – 10 dB(A)

Figura 30 - *Meccanismi di generazione del rumore ferroviario da contatto* [da *Harmonoise Project Technical Report HAR12TR-020118-SNCF10*, 2002]

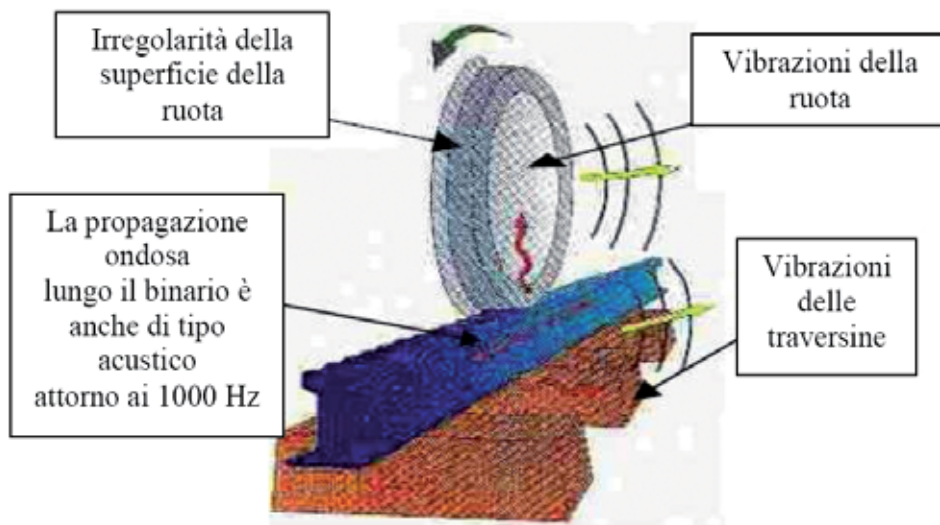
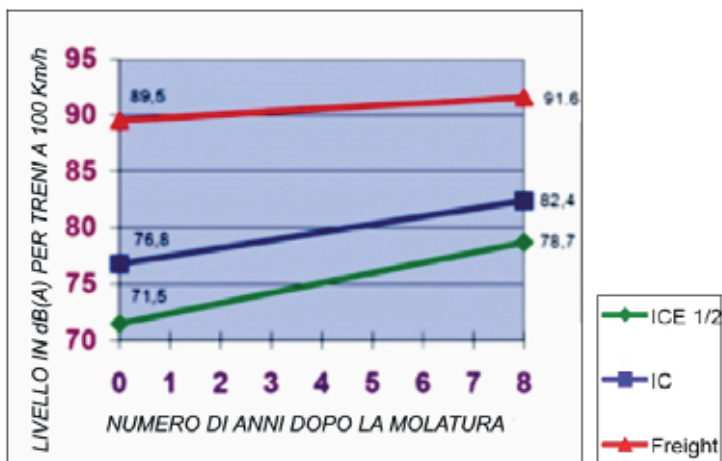


Figura 31 - *Aumento dell'emissione del rumore dopo l'avvenuta molatura acustica. I livelli sonori sono stati registrati ad una distanza di 25 m per veicoli con velocità di 100 Km/h per tre diversi tipologia di convogli* [da *Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement* - WG Railway Noise of the European Commission, 2004]



3.3.3.2 Rotaie annegate per linee urbane

Rispetto alle rotaie fissate direttamente alla soletta di cemento, il sistema delle rotaie annegate permette un risparmio acustico di 3-4 dB(A), mentre rispetto al sistema di appoggio sul ballast, si ha un decremento dell'emissione acustica da 0 a 3 dB(A), a seconda che il materiale in cui sono annegati i binari sia più o meno riflettente. Perché l'effetto sia maggiormente efficace, occorrerebbe annegare la rotaia in un materiale acusticamente assorbente. Un'ottima soluzione, adottata in alcune tratte ferroviarie urbane francesi, è quella in cui i binari e le loro fondazioni sono inseriti in una striscia di prato, che funge da buon assorbitore acustico.

Tabella 84 - *Riduzione ipotizzata mediante rotaie annegate* [<http://www.qcity.org/results.html>]

Problema	Eccessivo rumore da rotolamento
Soluzione	Rotaie annegate
Riduzione del rumore attesa	1 - 3 dB(A)
Limitazioni	Occorre spazio
Costo	euro 500 – 800 per m di binario

Figura 32 - *Esempi di binario annegato, su linee urbane: a sinistra, in pavimentazione in pietra [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport”, DELIVERABLE D3.9, 2006]; a destra, in terreno vegetale.*



3.3.3.2.3 Smorzatori di vibrazione della rotaia

La vibrazione della rotaia rappresenta una delle componenti che nel sistema treno-binario emette più rumore, quantomeno tra i 40 ed i 200 km/h. Essa può essere contenuta utilizzando dei risuonatori meccanici di semplice montaggio, che riducono la vibrazione della stessa.

Uno smorzatore di vibrazioni è infatti un risuonatore meccanico attaccato alla rotaia, costituito da un sistema massa-molla, il quale subisce un grande spostamento quando la rotaia vibra alla frequenza di risonanza a cui questo viene accordato. Dal punto di vista fisico, essi sono elementi prefabbricati di materiale elastico contenente delle strisce di metallo, da collocarsi sui lati della rotaia. I fornitori non sono molti, tuttavia, i loro prodotti sono già commercializzati da tempo.

Gli smorzatori per le rotaie prodotti dalla Corus S.p.A, ad esempio, sono costituiti da due blocchi in acciaio tra i quali è interposto uno strato di elastomero: quest'ultimo è in grado di smorzare le vibrazioni della rotaia in un range di frequenze comprese tra i 500 Hz e i 2 kHz. Questi assorbitori vengono montati in maniera continua lungo tutta la rotaia, o per la lunghezza di 30 cm ogni 60 cm, per lasciar spazio ai sistemi di fissaggio delle traversine.

In Olanda, questi smorzatori sono stati installati e testati a Veenendaal, ove si è ottenuta una riduzione media di 3 dB; in particolare: di 2 dB su tratte più lisce, e fino a 6 dB su quelle più corrugate.

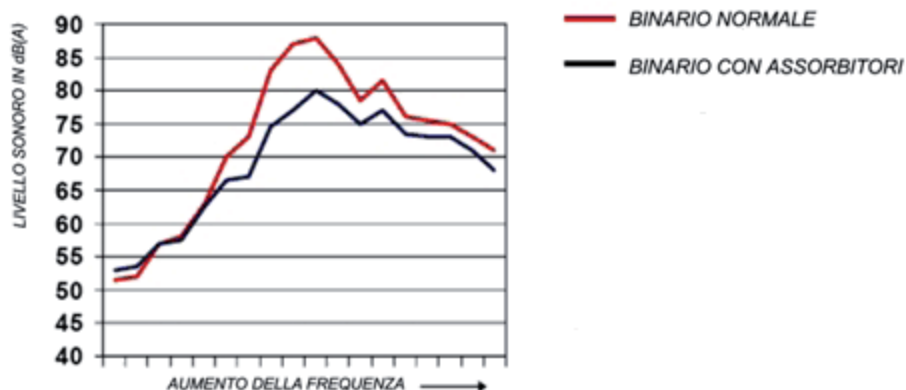
L'effetto di questi sistemi è purtroppo notevolmente influenzato dal rumore della ruota e dalle condizioni di rugosità del binario. Se si considera il solo contributo legato al decadimento della vibrazione della rotaia, sono in grado di produrre una diminuzione che ammonta anche 9 dB(A); tuttavia, nelle comuni condizioni pratiche, il livello di pressione sonora si riduce meno a seconda del tipo di treno e delle condizioni di usura delle ruote.

Gli smorzatori sono efficaci per velocità al di sopra dei 40-50 km/h, il loro costo è di circa 200 Euro/binario/metro.



Figura 33 - *Esempi di assorbitori lungo i binari*
[da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport” DELIVERABLE D3.9, 2006]

Figura 34 - *Livelli sonori di binari semplici e con assorbitori in frequenza, per le varie frequenze* [da Benton D., *Engineering Aspects of Rail Damper Design and Installation*, 2006]

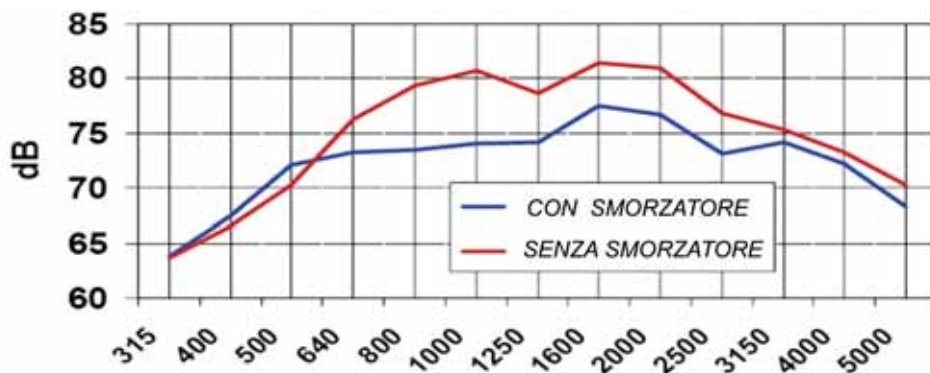


Lo spettro del rumore varia per ogni tipo di binario; in particolare, varia la posizione del picco nella gamma di frequenze studiate ed il valore massimo dello stesso. Gli smorzatori accordabili in frequenza vanno progettati per i singoli binari sui quali vanno applicati e non possono essere montati in maniera universale.

Tabella 85 - *Riduzione ipotizzata mediante smorzatori accordati in frequenza* [da www.qcity.org/results.html]

Problema	Normale rumore da rotolamento
Soluzione	Smorzatore accordato in frequenza
Riduzione del rumore attesa	1 – 3 dB(A)
Dettagli	Assorbitori lungo i binari
Costo	euro 300 per 1 km m di binario
Limitazioni	E' richiesto spazio tra i binari e la platea

Figura 35 - Livelli sonori di binari semplici e con assorbitori in frequenza, per le varie frequenze. Binari con assorbitori (in blu) e senza (in rosso) [da Benton D., *Engineering Aspects of Rail Damper Design and Installation*, 2006].



Gli assorbitori possono essere fissati meccanicamente o incollati.

I primi sono più facili da montare e possono essere rimossi e riutilizzati su altri binari.

Gli assorbitori incollati invece sono permanenti ed essendo in genere continui mostrano un miglior funzionamento.

Figura 36 - Assorbitori con fissaggio meccanico e incollati [da Benton D., *Engineering Aspects of Rail Damper Design and Installation*, 2006]



Figura 37 - Assorbitori fissati meccanicamente, particolari [da Benton D., *Engineering Aspects of Rail Damper Design and Installation*, 2006]



Tabella 86 - Esempi europei di utilizzo degli assorbitori lungo i binari

Paese	Tipo di binario	Assorbitore	Fissaggio	Riduzione dB(A)
Velim, Rep. Ceca	UIC 60, Pandrol E	500 mm continuo	Saldato alla rotaia	maggiore di 6
Olanda	UIC 54, Vossloh + schermi rigidi	500 mm continuo	Incollato	3
Pierrelatte, Francia	UIC 60, Nabla + schermi rigidi	300 mm tra gli assorbitori	Clip a U	5,8 sul binario 3,4 complessivo
Svezia	UIC 60, Pandrol E	400 mm tra gli assorbitori	Clip a incastro	maggiore di 6
Germania	UIC 60, Vossloh	360 mm tra gli assorbitori	Clip a incastro	9 sul binario 3,5 complessivo

Gli smorzatori a banda larga e accordati in frequenza si usano su supporti mediamente morbidi e su tratti rettilinei di rotaia. Le loro prestazioni sono legate alla velocità di decadimento delle vibrazioni del binario (*decay rate*), all'impedenza meccanica della rotaia e alla rigidità del contatto ruota/rotaia.

Tabella 87 - *Riduzione ipotizzata mediante smorzatori ai binari e alle ruote* [da www.qcity.org/results.html]

Problema	Normale rumore da rotolamento
Soluzione	Smorzatori a banda larga per binario e per le ruote
Riduzione del rumore attesa	5 – 7 dB(A)
Costi	euro 100 - 200 per metro di binario euro 500 per ruota
interazioni	Occorre spazio per il montaggio

Figura 38 A - *Assorbitore Quiet Srey & Veit* [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport”, DELIVERABLE D3.9, 2006]

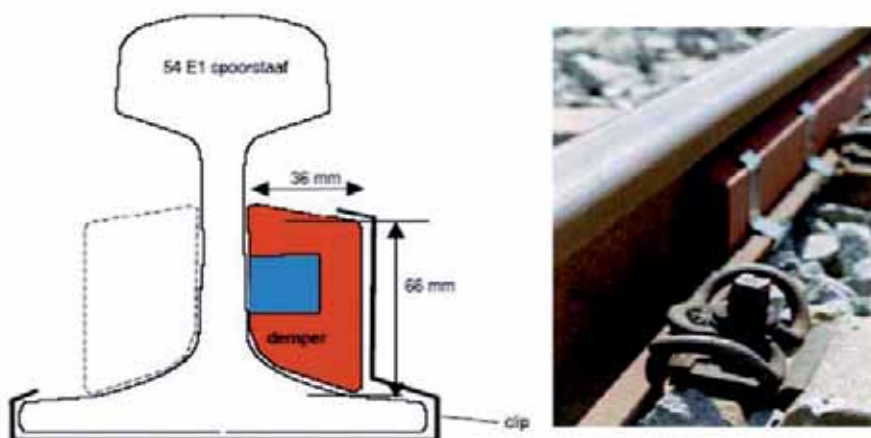


Figura 38 B - *Assorbitore Schrey & Veit: assorbitore in frequenza multi direzionale*
[da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport” DELIVERABLE D3.9, 2006]



Figura 38 C - *Assorbitore accordato in frequenza continuo incollato Corus and Edilon*
[da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport” DELIVERABLE D3.9, 2006]

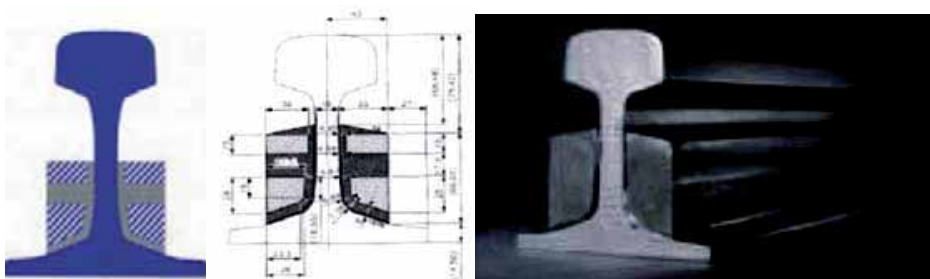


Figura 38 D - *Binario con spessori assorbitori viscoelastici* [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport” DELIVERABLE D3.9, 2006]

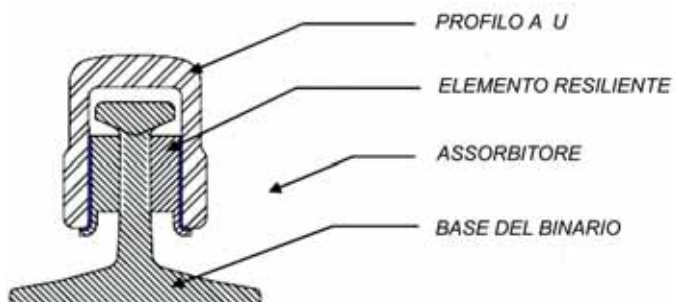


Figura 38 E, F- *Binario con spessori assorbitori elastici* [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport” DELIVERABLE D3.9, 2006]



Figura 38 G - *Binario UIC 60 annegato in profilo scatolare d'acciaio contenente materiale viscoelastico* [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport” DELIVERABLE D3.9, 2006]

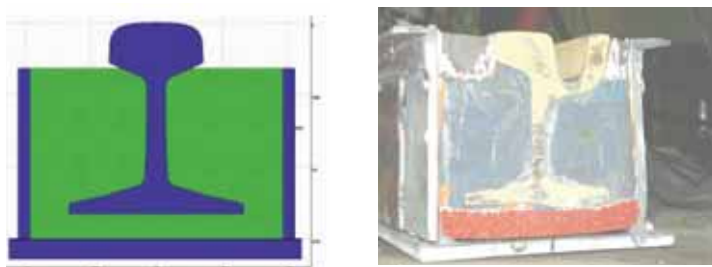


Figura 38 H - *Piatto smorzatore in acciaio sagomato e fissato tramite materiale elastico Vossloh* [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport” DELIVERABLE D3.9 “Vehicle/infrastructure interface related noise”, 2006]



Figura 38 I - Assorbitori leggeri CDM (in nero) fissati mediante piatti d'acciaio
[da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport" DELIVERABLE D3.9, 2006]



3.3.3.2.4 Suola della rotaia

Analogamente a quanto può fare lo smorzatore di cui sopra, la suola della rotaia gioca un ruolo ancora maggiore sul rumore ferroviario: può smorzare la vibrazione per dissipazione energetica interna, può trasferire la vibrazione al sottosistema, comportando comunque uno smorzamento e può influire sulla crescita o sulla riduzione del corrugamento della rotaia.

L'effetto è molto buono al di sopra dei 30 km/h, per i prodotti commercialmente già disponibili. Come per gli smorzatori classici, varia in funzione di parametri propri del sistema, come la rigidità della suola e lo spettro energetico ottenuto come somma degli spettri di ruota e rotaia. Il suo effetto sul livello equivalente può estendersi da 0 a 3 dB(A).

I costi non sono molto diversi da quelli di una suola standard.

Tabella 88 - Riduzione ipotizzata mediante schermi rigidi laterali
[da www.qcity.org/results.html]

Problema	Normale rumore da rotolamento
Soluzione	Schermi rigidi laterali
Riduzione del rumore attesa	2 – 4 dB(A)
Limitazioni	Occorre spazio per la loro collocazione
Costo	euro 20 per m di binario

Tabella 89 - *Riduzione ipotizzata mediante binari speciali*
[da www.qcity.org/results.html]

Problema	Normale rumore da rotolamento
Soluzione	Binari speciali
Riduzione del rumore attesa	1 – 3 dB(A)
Limitazioni	Ancora in fase di studio
Costo	euro 100 per m di binario

3.3.3.2.5 Rotaie in piattaforma resiliente per ponti

Poiché il rumore dei ponti ferroviari è dominato dalla vibrazione della struttura del ponte al passaggio del treno, e poiché la vibrazione si genera all'interfaccia ruota-rotaia, si adottano rotaie speciali interamente immerse in materiale resiliente che isolano meccanicamente il sistema ruota-rotaia dal ponte in acciaio; inoltre si possono aggiungere delle piastre metalliche con materiale resiliente attaccate al ponte che smorzano la vibrazione delle superfici metalliche del ponte stesso. Per velocità convenzionali, l'effetto può anche superare i 10 dB(A).

Le effettive misure di riduzione del rumore, sui ponti d'acciaio, sono elencabili in:

- una riduzione della rigidità dei supporti;
- nella fissazione elastica dei i binari;
- nell'incremento della massa dei supporti;
- nella levigatura dei binari;
- nell'eliminazione delle discontinuità delle rotaie tra il ponte e i tratti adiacenti.

Figura 39 - *Esempio di desolidarizzazione dei binari dalla struttura di un ponte, mediante inserimento di smorzatori in materiale composito*
[da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport" DELIVERABLE D3.9, 2006]



3.3.3.2.6 Interventi sui supporti del binario

L'utilizzo di massicciate con pietre più o meno grandi e con percentuali di vuoti differenti influisce sui livelli sonori propagati, in quanto il suono si diffonde nei vuoti e si smorza prima di essere riflesso verso l'esterno.

La posa in opera di binari su piastre in calcestruzzo, al contrario, è molto svantaggiosa, in quanto comporta un aumento di rumorosità da 4 a 7 dB(A) per effetto della riflessione delle piastre, rispetto alla tradizionale posa su ballast.

Per quanto riguarda le traversine, invece, si raccomanda l'uso di traversine bi-blocco.

L'adozione di traversine in cemento armato precompresso bi-blocco, al posto di quelle monoblocco, o in legno, permette l'abbattimento del rumore, migliorando le proprietà di dispersione energetica, riducendo i modi propri di vibrazione e conseguentemente la superficie radiante.

Numerosi sono i produttori di traversine in cemento armato precompresso presenti in Europa, essendo questo uno degli elementi più comuni e semplici dell'armamento ferroviario.

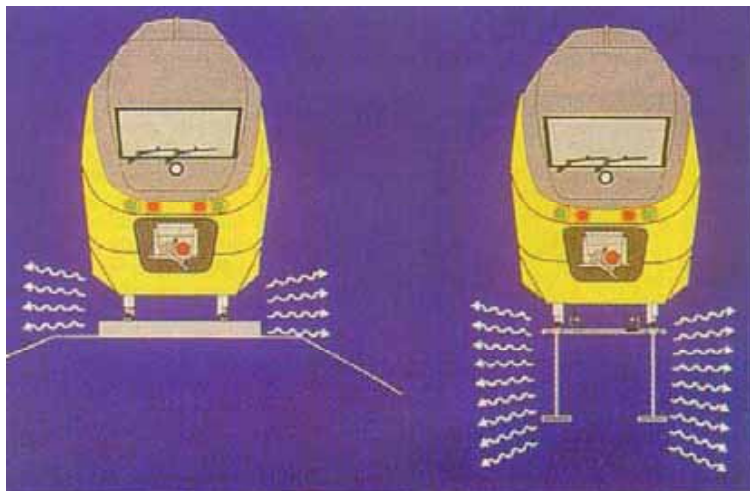
L'effetto di riduzione del livello sonoro equivalente per le traversine bi-blocco raggiunge i 2 dB(A), in funzione del tipo di armamento precedente e della velocità dei treni, che modificano lo spettro di eccitazione nello specifico sito.

I costi sono confrontabili con quelli di traverse tradizionali, visto che i materiali utilizzati e le tecniche di realizzazione sono del tutto identiche.

Figura 40 - *Smorzatori su traversine di cemento* [da Dedu I., *Light Rail Helps Solve Capacity Crisis*, 2008]



Figura 41 - *Differente propagazione del rumore su due tipi di supporti dei binari* [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport” DELIVERABLE D3.9, 2006]



3.3.3.2.7 Interventi sugli scambi

Lo scambio non è ancora un meccanismo a cui oggi si possono applicare efficienti dispositivi di riduzione del rumore. L'unica riduzione sperimentata, al 2008, è di circa 1 dB(A) (Cfr: Q-City TIP4-CT-2005-516420), ma il progetto FP-6-505592 “Turnouts” (New concepts for turnouts in urban rail transit infrastructure) sostiene che, migliorando la qualità degli scambi, si possa arrivare a decrementi delle emissioni localizzate anche maggiori.

Il rumore di tangenza agli scambi è molto fastidioso e può arrivare a superare anche di 10 dB(A), il rumore di tangenza che alla stessa velocità lo stesso convoglio produrrebbe seguendo un tracciato in assenza di scambio.

L'incrocio dello scambio (in inglese, frog) può essere prefabbricato o assemblato in opera.

Il modo più efficace di ridurre il rumore è di usare i cosiddetti *swing-frogs*, ovvero flange mobili che assecondano l'impatto con le ruote del treno, oppure di inserire delle superfici smorzanti sotto il blocco dello scambio, come in Figura 42.

Figura 42 - Esempi di scambi. A sinistra prima dell'intervento di smorzamento del rumore, a destra dopo l'intervento mediante l'inserimento di assorbitori o piastre. [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport" DELIVERABLE D3.9, 2006]



3.3.3.2.8 Riduzione del rumore in curva

Il rumore stridulo generato da un convoglio in curva dipende dal raggio di curvatura della stessa, dalla velocità del convoglio, dalla geometria e dalla rigidità dei singoli vagoni, dalle caratteristiche delle ruote e del sistema ruota-rotaia.

Solitamente si produce in presenza di un raggio di curvatura inferiore ai 100 m, ma si può avere anche con raggi maggiori, se non vengono presi opportuni accorgimenti preventivi.

Il rumore deriva dal fatto che in curva le ruote scorrono mentre rotolano, poiché la ruota esterna e quella interna, pur essendo collegate allo stesso asse, seguono un percorso diverso (quello della ruota esterna è ovviamente maggiore) ed inoltre perché i carrelli tradizionali a due assi in curva mantengono forzatamente gli assi stessi paralleli, con conseguenza che, durante la curva, si produce un piccolo slittamento laterale in direzione perpendicolare a quella di rotolamento.

In genere lo stridio in curva presenta una frequenza dominante, che corrisponde all'incirca alla frequenza naturale di risonanza della ruota quando questa non tocca la rotaia. Questo rumore è pertanto controllabile smorzando le vibrazioni delle ruote.

In ogni caso è buona norma:

- costruire curve con raggio di curvatura non inferiore ai $100 \div 150$ m;
- sostituire i carrelli tradizionali ad assi fissi con carrelli di tipo radiale, che permettono agli assi di disporsi secondo il raggio della curva
- modificare le caratteristiche superficiali delle parti che strisciano tra loro mediante gli accorgimenti citati precedentemente.

Il documento BRPR-CT97-0477, *Squeal noise reduction in urban transport by rail treatment*, indica due possibili interventi per ridurre il cigolio: il primo è quello di ridurre l'attrito sulla sommità della rotaia ed il secondo quello di introdurre dei velocizzatori laterali resilienti.

Per quanto riguarda i costi, ad esempio per 100 m di binari in curvatura, sono generalmente necessari:

- un trattamento per ridurre l'attrito superficiale che ammonta a circa euro 30.000;
- 320 cerniere laterali resilienti che costano circa euro 32.000.

3.3.3.2.9 Barriere poste direttamente sui binari

Un'ulteriore strategia antirumore può essere costituita dall'innalzamento di piccole barriere calpestabili da installare a ridosso del binario, per attenuare il rumore provocato dal contatto ruota rotaia, che si propaga in un cono di 30° intorno alla direttrice ortogonale al binario.

Occorre garantire, al momento della loro progettazione, lo spazio di manovra per le opere di manutenzione periodica dei binari.

Figura 43 - *Barriere basse calpestabili vicine al binario* [da Probst W., “Q-city: a concept for noise mapping, ranking, hot spot detection and action planning”, 2007]



3.3.4 Rumore degli impianti

Per quanto concerne il rumore generato dagli apparati ausiliari di bordo, la sperimentazione ha permesso di evidenziarne l'alto contributo alle basse velocità; situazione tipica delle aree urbane, dove questo tipo di rumore diventa protagonista rispetto al rumore di rotolamento.

Per ovviare a questo problema, si ipotizza la possibilità di variare la potenza dei ventilatori in funzione della velocità del convoglio e di eliminare qualsiasi ostacolo in grado di vibrare, nei pressi nei condotti di ventilazione.

3.3.5 Rumore aerodinamico

Questa componente di emissione risulta molto significativa per velocità molto alte, in genere superiori a 280 km/h.

Allo stato attuale, considerato che la massima velocità dell'ETR 500, il treno attualmente più veloce in Italia, non supera i 300 km/h, non è stata intrapresa alcuna attività per ridurre il rumore aerodinamico, né per quanto concerne la migliore distribuzione lineare dei volumi, né per risolvere lo strisciamento del pantografo.

Sull'esempio di ciò che viene effettuato in altre nazioni, i principali accorgimenti tecnici per ridurre il rumore aerodinamico potrebbero essere:

- l'implementazione di schermi aerodinamici da montare sulle ruote;
- il posizionamento di schermi che eliminino le cavità lungo il treno (come gli spazi tra vagone e vagone);
- la carenatura del pantografo e la copertura del suo vano di alloggiamento;
- la carenatura del "muso" del veicolo.

Se le soluzioni illustrate volte ad abbattere il rumore da rotolamento dovessero portare al risultato di un livello di emissione sonora massimo, al verificarsi dell'evento, in situazione standard di esercizio, non superiore ai 86-88 dB(A), contro gli attuali 88-91 dB(A), allora secondariamente si potrebbe mitigare anche la componente aerodinamica del suono, studiando anche gli effetti del vento sulle varie parti del convoglio.

A tale scopo vale la pena citare il risultato di uno studio tecnico eseguito dalla compagnia ferrovia giapponese, che ha portato alla modifica di tutti i pantografi dei treni ad alta velocità della prima generazione, poiché producevano un rumore tonale particolarmente fastidioso. La sola modifica del design di tale elemento ha permesso di eliminare l'inconveniente. Questi accorgimenti sono stati adottati sulla rete ferroviaria giapponese di treni ad alta velocità, ove viaggiano i cosiddetti 'treni proiettile', la cui velocità ammonta fino a 360 km/h. Tali treni sono estremamente aerodinamici, con un muso molto affusolato e senza interruzioni significative tra i vagoni, in modo di evitare il "risucchio" dell'aria tra una carrozza e l'altra.

Figura 44 - *I treni del progetto giapponese Shinkansen*
[da Wikipedia, commons.wikimedia.org/wiki/File:Shinkansen.jpg]



3.3.6 Altre sorgenti di emissione

3.3.6.1 I sistemi di segnalazione

Questo tipo di rumore, più noto come ‘fischio’ del treno, è un tono puro ad alta frequenza e ad elevato contenuto energetico. Tale rumore è legato principalmente alla necessità operativa di segnalare la presenza del convoglio. Esso non può essere eliminato, ma soltanto controllato attraverso una sensibilizzazione ai problemi dell’inquinamento acustico ambientale.

3.3.6.2 Le operazioni nei piazzali

Considerazioni analoghe valgono per il rumore nei piazzali di manovra e negli scali merci, dove la varietà di rumori (da quelli prodotti dai freni, agli urti fra vagoni in fase di parcheggio...) possono solo essere attenuati solo attraverso un’oculata programmazione, anche temporale, delle operazioni di smistamento dei mezzi.

Nei piazzali per l’assemblaggio dei vagoni per la formazione dei treni, le locomotive e i vagoni vengono parcheggiati e successivamente movimentati a seconda delle esigenze. La formazione del treno, il parcheggio e le operazioni di manutenzione, producono una grande varietà di rumori differenti per intensità, frequenza e durata, che dipendono dalla progettazione del piazzale e dal tipo di operazioni che vengono eseguite in ogni sua parte.

3.3.7 L'effetto della corretta manutenzione

Una serie di studi, in fase di esecuzione, verte sul monitoraggio, per un periodo prolungato, degli effetti sonori generati dai vari sistemi di frenatura e da combinazioni diverse degli stessi, allo scopo di determinare il chilometraggio ottimale, oltre il quale sottoporre i treni in servizio ad operazioni di controllo e verifica dei carrelli. La determinazione di corti e regolari cicli di manutenzione incontra le esigenze di mantenimento di bassi livelli di emissione sonora ed elevati livelli di sicurezza.

3.3.8 Conclusioni

Gli studi sul rumore ferroviario, in particolare, i progetti europei SILENCE, Q-CITY, STAIRSS e METARAIL, hanno portato a conclusioni, riassumibili come segue:

- le misure di mitigazione della sorgente, unite ad altre precauzioni costituiscono la soluzione migliore;
- occorre investire sul retro-fitting, sostituendo i vecchi freni a ceppo o in ghisa con i nuovi freni compositi, di tipo LL-Block o K-Block;
- l'innalzamento delle barriere da 2 m a 4 m non porta benefici significativi, impattando, invece, in modo sensibile, il paesaggio;
- le misure di mitigazione dell'emissione del binario sono poco efficaci se utilizzate senza altre misure addizionali;
- per ridurre di 10 dB il rumore prodotto dall'infrastruttura è necessario, sia schermare le ruote, che applicare smorzatori sia sulle ruote che sulla rotaia. In aggiunta, è spesso necessario montare le barriere lungo la linea.

Figura 45 - I risultati più importanti del progetto STAIRRS. Le soluzioni che comprendono un retro-fitting con soles K sono più favorevoli di quelle che prevedono solamente barriere antirumore. [da Öertli J., Hübner P., Redaction du bruit des wagons de marchandises - Report Périodique, 2006]

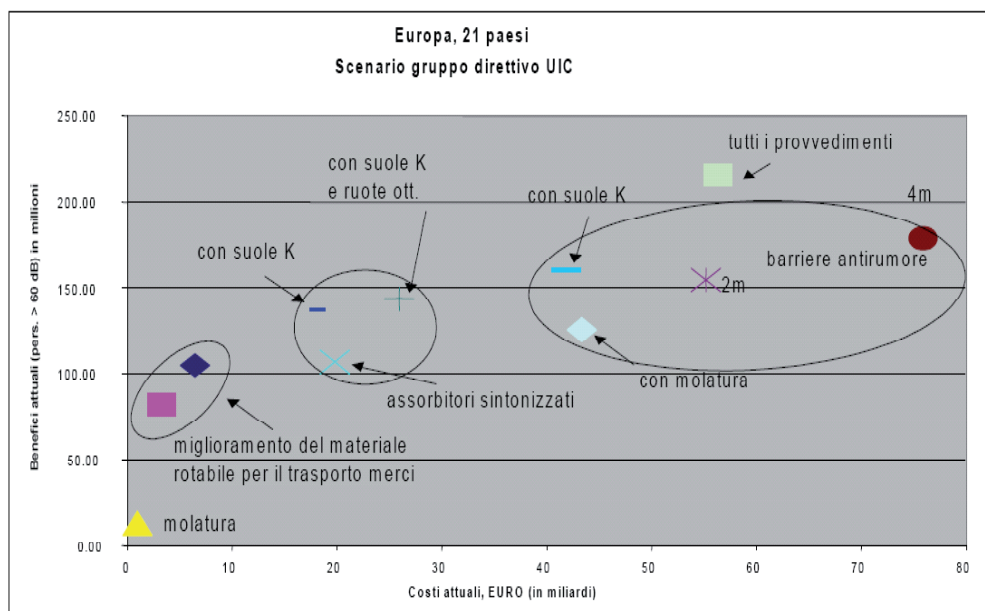


Tabella 90 - *Misure di riduzione del rumore ferroviario e relativi effetti, in dB* [da Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M. *et al.*, *EffNoise, Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures*, Final Report - Volume I, 2004]

TRENI						
N.	MISURA DI RISANAMENTO	EFFETTO IN dB(A)				
		Treno alta velocità, freni a disco	Treno locale veloce, freni a disco	Treno locale lento freni a ceppo	Treno locale lento, freni a disco	Treno merci, freni a ceppo
1	Molatura	3	3	1	3	1
2	Nuovi freni a ceppo	-	-	5	-	5
3	Assorbitori sulle ruote	-	4	-	4	-
4	Nuove ruote dotate di assorbitori	2	6	-	6	-
5	Sistema "Bogie shrouds" sui vagoni e barriere basse ai lati della rotaia	-	-	-	-	3
6	Sistema "Bogie shrouds" sui vagoni e barriere di media altezza ai lati della rotaia	-	-	-	-	5
1+2	Molatura e nuovi freni a ceppo	3	3	8	3	8
1+3	Molatura e assorbitori sulle ruote	3	7	1	7	1
1+4	Molatura e sostituzione delle ruote con nuove dotate di assorbitori	5	9	1	9	1
1+2+3	Molatura, nuovi freni a ceppo e assorbitori sulle ruote	3	7	12	7	12
1+2+4	Molatura, nuovi freni a ceppo e sostituzione con nuove ruote dotate di assorbitori	5	9	14	9	14
1+2+5	Molatura, nuovi freni a ceppo e sistema "Bogie shrouds" sui vagoni e barriere basse ai lati della rotaia	3	3	11	3	11
1+2+6	Molatura, nuovi freni a ceppo e sistema "Bogie shrouds" sui vagoni e barriere di media altezza ai lati della rotaia	3	3	15	3	15

segue...

...segue

A1	Applicazione delle misure su tutti i treni, riduzione media	3	3	8	3	8
A2	Applicazione delle misure su tutti i treni, riduzione massima realistica	5	7	12	7	11
A3	Applicazione delle misure su tutti i treni, riduzione massima ideale	5	9	14	9	15
B1	Applicazione delle misure sui treni merci, riduzione media	3	3	1	3	8
B2	Applicazione delle misure sui treni merci, riduzione massima realistica	3	3	1	3	11
B3	Applicazione delle misure sui treni merci, riduzione massima ideale	3	3	1	3	15
C1	Applicazione delle misure sui treni merci e sui treni passeggeri lenti, riduzione media	3	3	8	3	8
C2	Applicazione delle misure sui treni merci e sui treni passeggeri lenti, riduzione massima realistica	3	7	12	7	11
C3	Applicazione delle misure sui treni merci e sui treni passeggeri lenti, riduzione massima ideale	3	9	14	9	15
D1	Applicazione delle misure sui treni merci e sui treni passeggeri ad alta velocità, riduzione media	3	3	1	3	8
D2	Applicazione delle misure sui treni merci e sui treni passeggeri ad alta velocità, riduzione massima realistica	5	3	1	3	11
D3	Applicazione delle misure sui treni merci e sui treni passeggeri ad alta velocità, riduzione massima ideale	5	3	1	3	15

Tabella 91 - *Rumore ferroviario: 4 passi per ridurre il rumore* [da Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M. *et al.*, *EffNoise, Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures*, Final Report - Volume I, 2004]

Step	Linee merci	Linee miste	Linee passeggeri
1	Freni in materiale composito (nuovi e retro-fitting)		
2	Molatura dei binari		
3		Nuovi assorbitori per ruote	
4	Assorbitori lungo i binari e barriere basse		
Ogni passo include l'esecuzione dei precedenti			

Tabella 92 - *Modello CRN: previsione dei benefici* [da Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M. *et al.*, *EffNoise, Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures*, Final Report - Volume I, 2004]

CRN				
Step	Linee merci dB(A)	Linee miste dB(A)	Linee passeggeri dB(A)	Misure
1	- 5,00	- 3,7	- 1,95	Freni in materiale composito
2	- 8,00	- 5,98	- 4,37	Molatura dei binari
3	\	- 9,76	- 7,40	Assorbitori per ruote
4	-15,00	- 9,95	\	Assorbitori lungo i binari e barriere basse

Tabella 93 - *Modello Schal l03: previsione dei benefici* [da Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M. *et al.*, *EffNoise, Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures*, Final Report - Volume I, 2004]

Schall 03				
Step	Linee merci dB(A)	Linee miste dB(A)	Linee passeggeri dB(A)	Misure
1	- 5,00	- 2,91	- 2,03	Freni in materiale composito
2	- 8,00	- 5,91	- 4,51	Molatura dei binari
3	\	- 10,23	- 8,25	Assorbitori per ruote
4	-15,00	- 10,42	\	Assorbitori lungo i binari e barriere basse

Tabella 94 - *Questionario posto nel 2006 alle famiglie lungo una tratta ferroviaria*, [da Gerola F., Mattevi L., Tiso G., *Alcune problematiche nell'impiego di barriere antirumore in ambito ferroviario, a seguito dell'utilizzo di due tipologie di barriere ferroviarie, A e B*, 34° Convegno AIA 2007]

Caratteristiche intervento di mitigazione del rumore	Intervento (A)	Intervento (B)
Altezza della barriera	4 – 6 m	6 – 8 m
Riduzione del disturbo e del rumore	9 – 11 dB(A)	12 – 14 dB(A)
Tipo di tecnologia	Come oggi, nessun cambio tecnologico	Innovazione nella tecnologia dei binari (circa -2dBA)
Interventi estetici sulla barriera	Nessuno	Nessuno
Costo per famiglia (2006)	35 euro una tantum	37,5 euro una tantum
Modalità di finanziamento	Riduzione del budget provinciale relativo al 2006 destinato al potenziamento dei trasporti pubblici, senza nessuna tassa aggiuntiva	Riduzione del budget provinciale relativo al 2006 destinato al potenziamento dei trasporti pubblici, senza nessuna tassa aggiuntiva
Preferisco l'intervento	A	B

L'esempio svizzero

In Svizzera la lotta all'inquinamento acustico, attiva sin dagli anni '80, è stata resa più efficiente da un regolamento specifico avente per oggetto le ferrovie.

Il risanamento acustico del traffico pubblico, approvato a seguito di votazione popolare, è stato finanziato con imposte sui carburanti, tasse sul traffico pesante e aumento dell'IVA.

La metodologia di risanamento adottata si basa sui seguenti punti.

- analisi costo/beneficio sia di vari tipi di interventi che delle loro possibili combinazioni;
- retro-fitting con suole K;
- barriere antirumore;
- adozione di finestre fono isolanti nel caso di superamento dei valori limite anche dopo gli interventi precedenti.

Il programma svizzero di finanziamenti prevede che entro il 2015 siano ultimate tutte le operazioni, sia di retro-fitting che di installazione delle barriere antirumore che di

sostituzione delle vecchie finestre con altre fono isolanti.

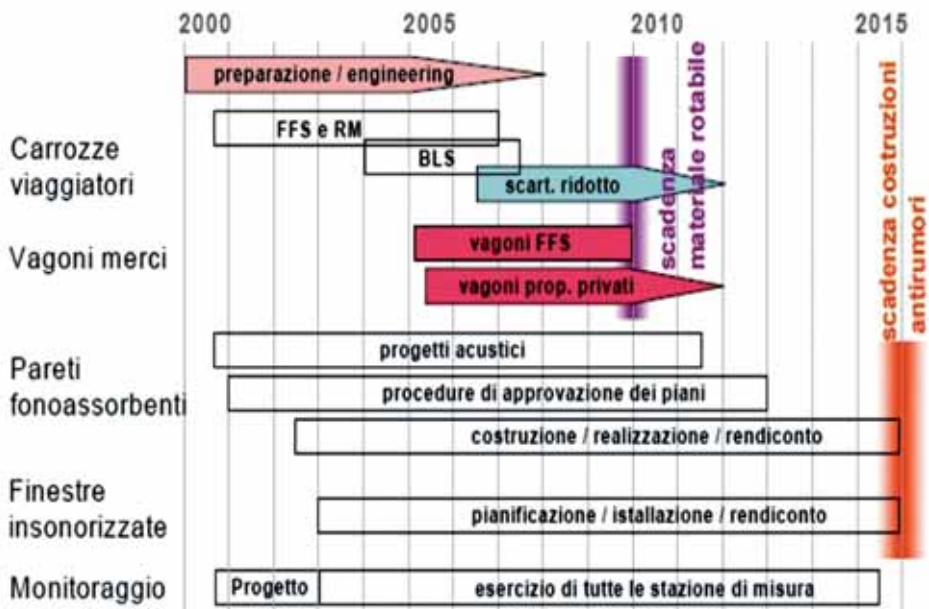
Di questa sensibile riduzione del livello del rumore beneficeranno, secondo le stime, circa 250.000 persone.

Per incentivare anche i partner europei, le autorità svizzere hanno previsto tariffe ridotte per i veicoli silenziosi che circolino sulle tratte svizzere.

Per ogni linea ferroviaria è stato definito il livello di rumore massimo ammesso.

È previsto il monitoraggio del livello di rumore in cinque diversi punti della rete ferroviaria per il controllo nel tempo dell'osservanza dei parametri stabiliti.

Figura 46 - *Cronoprogramma del risanamento acustico del trasporto merci sulle ferrovie svizzere* [da Öertli J., Hübner P., *Redaction du bruit des wagons de marchandises* - Report Périodique, 2006]



3.4 Riduzione del rumore alla sorgente: infrastrutture aeroportuali

3.4.1 Caratterizzazione della sorgente sonora

L'infrastruttura aeroportuale, nell'arco della giornata, produce un numero limitato di eventi, ma con elevati valori massimi di pressione sonora. Per quanto di breve durata, il rumore prodotto da un aeromobile è facilmente riconoscibile e ciò ne accresce l'effetto disturbante, che varia con il tipo di veicolo, la quota e la rotta.

A causa della soggettività individuale, da un punto di vista psico-acustico il fastidio legato al rumore prodotto dagli aeromobili può generare nelle persone risposte assai differenti. Esso, inoltre, è percepito tanto più pesantemente quanto più si manifesta, in modo improvviso, soprattutto nelle zone che godono di un buon clima acustico.

L'adozione di misure di mitigazione ha permesso di ridurre considerevolmente la pressione acustica della sorgente in questione, migliorando l'emissione acustica degli aeromobili e ottimizzando le movimentazioni a terra, ma ciò viene purtroppo vanificato dalla sempre crescente richiesta di servizi aerei.

I momenti di maggior produzione di rumore sono quelli delle fasi di atterraggio e di decollo.

L'area di impatto acustico viene rappresentata nei documenti tecnici mediante delle curve di isolivello, ovvero dei contorni che delimitano zone ad uguale valore di *livello di rumore aeroportuale* (L_{VA}) intorno agli aeroporti.

Le popolazioni residenti all'interno delle così dette *zone di sorvolo* sono quelle maggiormente esposte all'inquinamento acustico aeroportuale.

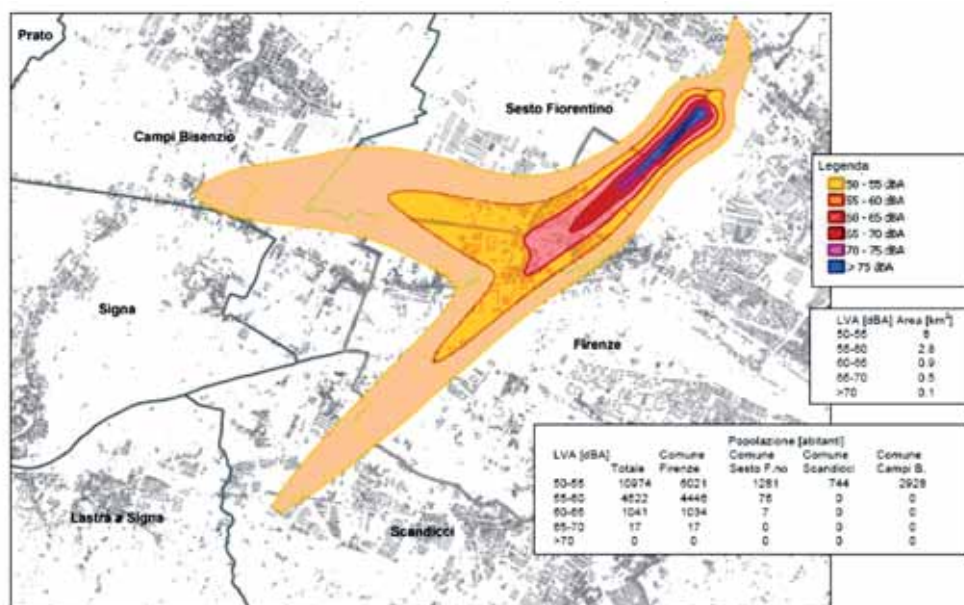
A determinare l'impatto acustico dovuto alle aviosuperfici non vi è solo la quantità di traffico aereo, ma anche le caratteristiche logistiche dell'aeroporto, come la lunghezza delle piste e la loro pavimentazione: piste lunghe e manto erboso generano maggiore pressione acustica. L'entità e la distribuzione del rumore generato dagli aeromobili dipende da diversi fattori, tra i quali i principali sono l'architettura dello spazio aereo (la rete di rotte di ingresso ed uscita che servono uno specifico aeroporto), le procedure operative adottate per percorrere la rotta assegnata, le direzioni della pista utilizzate per il decollo e l'atterraggio, la distribuzione del traffico sulle varie rotte, i tipi di aeromobile che operano, e così via.

Influiscono, inoltre, il tipo di velivolo (gli elicotteri ed idrovolanti generano minor impatto acustico degli aeroplani) e la densità di aviosuperfici su quel determinato territorio; vi sono zone, infatti, che ospitano più aeroporti nel raggio di poche centinaia di chilometri.

La pressione acustica totale generata sul territorio da un impianto aeroportuale dipende, ovviamente, anche dalle operazioni di terra come da quelle di volo. Le maggiori pressioni sul clima acustico e sulla qualità dell'aria sono esercitate dalle emissioni dei motori degli aerei, mentre minore, ma non trascurabile, è il contributo fornito dagli impianti aeroportuali fissi e mobili, dai mezzi di collegamento e dal traffico stradale indotto.

È evidente, quindi, come sia stato necessario stabilire criteri oggettivi e basate su rilievi fonometrici, per definire il clima acustico ammesso nelle aree circostanti l'aeroporto, ed individuare le zone in cui è consentita l'attività abitativa.

Figura 47 - La mappa acustica dell'aeroporto di Firenze (FI) e l'impatto sulle aree circostanti [da ARPAT - Dipartimento di Firenze, e Regione Toscana, 2009]



Il rumore generato dagli aeromobili in volo fa capo a due distinte sorgenti:

- il propulsore (rumore del motore);
- l'impatto dell'aria sulle varie superfici esterne del velivolo (rumore aerodinamico).

Il primo è preponderante, ma anche il secondo porta un contributo importante, soprattutto durante la fase di avvicinamento alla pista.

Se i velivoli sono elicotteri occorre considerare anche il rumore dei rotori.

3.4.2 Misure di mitigazione del rumore aeroportuale

Le possibili misure che possono essere prese in considerazione per mitigare il rumore aeroportuale sono:

3.4.2.1 La riduzione alla fonte del rumore degli aeromobili

La riduzione del rumore alla sorgente viene generalmente associata all'introduzione di velivoli nuovi e meno rumorosi nelle flotte degli operatori che utilizzano un determinato aeroporto. In realtà, essa è anche il risultato di costanti miglioramenti tecnologici introdotti nel corso del ciclo di vita di un tipo di velivolo non di nuova generazione, che ne migliorano le prestazioni acustiche.

Ogni aeromobile ha l'obbligo di possedere un'apposita certificazione acustica, che viene rilasciata a seguito di controlli diretti al momento dei test effettuati per il rilascio del Certificato di Idoneità alla Navigazione Aerea. Il documento prova che quel velivolo possiede i requisiti previsti per la protezione acustica ambientale. I tipi di prove richieste per ottenere tale certificato ed i limiti di accettabilità dei risultati dei controlli acustici devono essere conformi alle norme internazionali ed alle raccomandazioni espresse nell'Annesso 16, Vol. I alla Convenzione sulla Aviazione Civile Internazionale.

L'attuazione della riduzione del rumore alla fonte è ovviamente legata a fattori economici. Tuttavia un notevole impegno è in atto a livello internazionale per:

- sollecitare gli operatori aerei a rinnovare le flotte con aeromobili di nuova generazione;
- incentivare le industrie ed i centri di ricerca a individuare e sviluppare nuove tecnologie silenziose;
- migliorare gli standard di certificazione acustica degli aeromobili.

3.4.2.2 La pianificazione e la gestione del territorio

Una corretta gestione del territorio assicura la compatibilità tra le attività delle aree, circostanti l'aeroporto, e il flusso di traffico sullo scalo aereo. Le Autorità comunali sono responsabili del contenimento dell'attività urbanistica in tali aree, in quanto protette.

Il quadro normativo nazionale vigente disciplina, in modo puntuale, la pianificazione e l'uso del territorio intorno all'aeroporto, specificando in modo chiaro le responsabilità delle Amministrazioni locali. Il principale strumento di pianificazione nelle aree circostanti l'aeroporto, previsto dalle norme vigenti, è la definizione delle *zone di rispetto dell'intorno aeroportuale* come riportate nel DMA del 31/10/1997 [Cfr. 2.1.7.3 – Traffico aereo].

Al fine di ridurre il numero di persone interessate dal disturbo generalizzato da rumore, le competenti Amministrazioni devono governare il territorio in modo da non consentire insediamenti e usi non compatibili con l'attività dell'aeroporto e con le previsioni di futuro sviluppo.

3.4.2.3 Le procedure operative di abbattimento del rumore

L'ampiezza ed il profilo delle impronte acustiche rappresentative dello scenario di traffico di un aeroporto sono influenzate, in particolare, dalle procedure operative in volo e da quelle a terra.

Il rumore prodotto, durante le fasi di decollo e di atterraggio, sono influenzate dalla scelta dei parametri di volo. Le variazioni di regime del motore, la configurazione dei *flaps*, la pendenza del sentiero di avvicinamento, influenzano il livello di rumore, durante il decollo e l'atterraggio: il corretto orientamento delle piste consente, insieme ad una appropriata scelta dei parametri di volo, di ridurre le emissioni acustiche del velivolo.

La minimizzazione dell'impatto acustico è condizionata soprattutto dalle necessità della sicurezza del volo, infatti alcuni velivoli non possono cambiare i parametri di volo, pena il mancato rispetto delle procedure di sicurezza. Moderne tecniche di avvicinamento e discesa, quali il *continuous descent approach* o il *reduced power/reduced drag* ecc. consentono nuove possibilità di abbattimento del rumore.

La loro applicazione non è sempre possibile perché dipende, oltre che dal rispetto dei criteri di sicurezza, anche dalle caratteristiche dell'aeromobile, da quelle ambientali e dall'addestramento dell'equipaggio.

3.4.3 Conclusioni

La riduzione del rumore prodotto dall'infrastruttura aeroportuale può avvenire seguendo semplicemente delle linee di buona prassi, come di seguito descritto.

- Scegliere opportunamente la direzione e il verso dei decolli e delle rotte.
- Allontanare il punto di decollo dalle zone abitate.
- Sorvolare la città a quote più alte.
- Effettuare un'ascesa più rapida possibile.
- Introdurre barriere acustiche nei luoghi più severamente colpiti dal rumore.
- Adottare procedure antirumore per l'esecuzione delle attività aeroportuali (nelle fasi di decollo e di atterraggio, nella localizzazione delle procedure di manutenzione e revisione e prove motori degli aeromobili).
- Migliorare gli *standard* degli aeromobili.
- Pianificare una corretta gestione del territorio circostante.

3.5 Bibliografia

Abbott P. *et al.*, *Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces*, FEHRL (Forum of European National Highway Research Laboratories) Report 2006/02, ISBN 90-9020404-0 / 978-90-9020404-8, 2002.

Affenzeller J. *et al.*, *Research Priorities for Noise Mitigation in Urban Areas*, CALM network Conference 2005.

Alberici A., Bassanino B., Mussin M., *Verifying Noise Monitoring System: an Operative Procedure*, 10th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference 2004.

Amundsen A.H., Klaebe R., *A Nordic Perspective on Noise Reduction at the Source*, TOI (Institute of transport Economics of Norway), Report 806/2005, 2005.

Autostrade S.p.A., *Sintesi non tecnica del Piano di Azione per le autostrade A4, A5 ai sensi del D. Lgs. 194/05*, 2008.

Benton D., *Engineering aspects of rail damper design and installation*, Atti del congresso "Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures", Pisa 2006.

Bertellino F., G. Licitra G., *I modelli previsionali per il rumore da traffico stradale*. Atti del convegno "Traffico e Ambiente", Trento 2000.

Bracciali, A., Mingozi, E., Scepi M., *Riduzione del rumore ferroviario mediante l'impiego di ruote a bassa emissione acustica*, Atti del Convegno del Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (CIFI) 2003, Napoli, vol. 2, 83-88.

Casini D., Casini M., Cerchiai M. *et al.*, *Il risanamento acustico delle grandi infrastrutture di trasporto stradale e ferroviario in Toscana*, 29° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana d'Acustica, Ferrara 2002.

Cirillo E., *Criteri per la progettazione degli interventi di bonifica acustica*, Collana tecnico scientifica CIRIAF-Ministero dell'Ambiente, volume n. 5, 2000.

Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio - Comunicazione *Misure antirumore per il parco rotabile esistente*, COM(2008) 432, Bruxelles 2008.

Dedu I., *Light Rail Helps Solve Capacity Crisis*, Bucarest 2008.

Desanghere G., Project n° FP6-516420, *Transport - Consolidations, Actions Plans, Disseminations, Part 1: General measures for noise mitigation*. Deliverable 6.2 – Part 1, 2007.

Ellebjerg L., *The Role of Traffic Flow and Traffic Calming Measures, Results of SILENCE*, Danish Road Institute, 2007.

EU Commission, *A study of European priorities and strategies for railway noise*

abatement, EU Commission - Directorate General for Energy and Transport, Report 01.921, 2001.

EU Commission, *Guidelines for road traffic noise abatement*, SMILE Project (Sustainable Mobility Initiatives for Local Environment), Madrid 2004.

EU Commission, *Sustainable urban transport plans, preparatory document in relation to the follow-up of the thematic strategy on the urban environment*, European Commission DG Environment Technical Report - 2007/018 ISBN 978-92-79-06955-0, 2007.

EU Commission Environment DG W.G. Railway Noise, *Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement*, 2003.

EU Commission Working Group Health & Socio-Economic Aspects (WGHSEA), *Working paper on the effectiveness of noise measures*, 2005.

EU Commission W.G.5 abatement, *Inventory of noise mitigation method*, Directorate-General: Environment, Policy area: Noise, 2002.

Favre B., Pariset E., *L'acoustique des véhicules routiers*, Acoustique & Techniques. Vol 42, 2006.

FEHRL -Forum of European National Highway Research Laboratories, *Report Tyre/road noise*, volume 1, Study SI2.408210, 2006.

Gautier P.E., *Combined reduction of noise from vehicle and infrastructure*, Atti del congresso "Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures", Pisa 2006.

Gerola F., Mattevi L., Tiso G., *Alcune problematiche nell'impiego di barriere antirumore in ambito ferroviario*, Atti del 34° Convegno AIA, Firenze 2007

Griefahn B., Wurzel D., *Quiet traffic, a German initiative to reduce traffic noise*, 9th International Congress on Sound and Vibration, Orlando 2002.

Hemsworth B., *Results of STAIRRS project*, in "Railway Noise Abatement in Europe" congresso, Brussels 2003.

Hemsworth B., *Implemented solutions for railway noise reduction at the source* Atti del congresso "Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures", Pisa 2006.

IPG - Dutch Innovation Programme, *Inventory study of basic knowledg on tyre/road noise*, DWW-2005-022, 2005.

Jaecker-Cueppers M., *Global and Integrated Strategies for Urban Noise Protection*, CALM workshop "Research priorities for noise mitigation in urban areas", Brussels 2005.

Kathmenn T., Cannon R., *Speed limits as noise reducing measure in Germany*.

Highway & Transportation, pp 8-11, settembre 1999.

Lancieri F., Licitra G., Losa M., Cerchiai M., Berengier M., *Field and laboratory testing on different porous asphalt pavements*, Atti del convegno internazionale SURF 2000, Nantes 2000.

Larivé J., *La politique des points noirs du bruit - Résorber les points noirs dus au bruit des transports terrestres*, Ministère de l'écologie et du développement durable, Parigi 2003.

Latrofa E. M., Latrofa R., *Criteri per la valutazione degli interventi di bonifica acustica*, Collana tecnico scientifica CIRIAF-Ministero dell'Ambiente, Volume n. 7, 2000.

Licitra G., Giusti G., Boccini L. et al., *Misura e modellizzazione del rumore da traffico ferroviario*, Atti della conferenza internazionale italo-francese sul rumore ambientale, Roma 1997.

Licitra G., *Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures*, Atti del congresso "Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures", Pisa 2006.

Licitra G., Francia F., Boccini L., *Rumore da traffico ferroviario nell'attraversamento di aree urbane*, Atti della Conferenza Regionale "Lo stato dell'ambiente in Toscana" Vol. 3, Regione Toscana, Firenze 1995.

Licitra G., Iaconi A., D'Ambra A., Zari A., *Caratterizzazione del rumore emesso dai mezzi di trasporto pubblici in ambito urbano*, Atti del 28° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica, Trani 2000.

Licitra G., Bertellino F., *Modelli di previsione del rumore determinato dalle attività produttive e dal traffico veicolare, aeroportuale e ferroviario*, Atti del seminario "Noise mapping" dell'Associazione Italiana di Acustica, Bologna 2001.

Licitra G., Carpinello S., *L'effetto delle caratteristiche delle superfici stradali sul rumore ambientale*, Atti del convegno "Dal monitoraggio degli agenti fisici sul territorio alla valutazione dell'esposizione ambientale", Torino 2003.

Licitra G., *The Italian legislation on environmental noise and the challenges of the new EU directive 2002/49/EC*, Atti del Convegno Euronoise, Napoli 2003.

Licitra G., Simonetti D., Balsini F., *Potenzialità del sistema di monitoraggio aeroportuale e suo utilizzo per la determinazione e la verifica di procedure antirumore*, Atti del convegno "Dal monitoraggio degli agenti fisici sul territorio alla valutazione dell'esposizione ambientale", Torino 2003.

Licitra G., Simonetti D., Reggiani M., Balsini F., *Modellizzazione del rumore aeroportuale dovuto alle operazioni a terra: dimensionamento e verifica dell'intervento di bonifica*, Atti del 31° Convegno Nazionale AIA, Venezia 2004.

Licitra G., Losa M., Alfinito L., Cerchiai M., *Frequency dependence in tyre-road emissions using the close proximity method*, 14° Convegno ICSV, Cairns 2007.

Licitra G., Palazzuoli D., *Railnoise 2006: le politiche e le soluzioni tecniche per la mitigazione del rumore ferroviario*, Rivista Ingegneria Ferroviaria 7-8/2007.

Licitra G., Alfinito L., Magni L., Cerchiai M., *Determinazione delle prestazioni acustiche delle pavimentazioni stradali tramite adattamento del modello harmonoise*, Atti del 35° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica, Milano 2008.

Licitra G., Alfinito L., Cerchiai M. *et al.*, *Prestazioni acustiche di pavimentazioni innovative di strade regionali in Toscana: primi risultati del progetto LEOPOLDO*, Atti del 36° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica, Torino 2009.

Licitra G., Alfinito L., Cerchiai M. *et al.*, *Characterization of CPX Method Results on Extraurban and Urban Sites by Means of a New Computing Technique*, Atti del congresso Internoise'08, Shangay 2008.

Licitra G., Cerchiai M., Teti L. *et al.*, *Road pavement description by psycho-acoustical parameters from CPX data*, Atti del convegno Internoise'09, Ottawa 2009.

Losa M., Licitra G., Berengier M., Cerchiai M., *Physical characteristics of road pavements and noise emissions*, Inter noise 2001, The Hague, Olanda 2001.

Marangon F., *La valutazione dell'impatto acustico negli aeroporti. Aspetti socio-economici*, Università di Udine, Working Paper No. 03-03-eco, 2003.

Miedema H., Passchier-Vermeer W., Vos H., *Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance*, TNO Inro report 2002-59, ISBN 90-6743-981-9, Delf 2003.

Morgan P. A., Nelson P. M., Steven H., *Integrated assessment of noise reduction measures in the road transport sector* ETD/FIF.20020051 - Noise reduction measures in the road transport sector, Enterprise DG, European Commission, 2003.

Öertli J., Hübner P., *Risanamento acustico del trasporto merci su ferrovia*, SBB Swiss Federal Railways, UIC International Union of Railways, 2006.

Ögren M., *Noise Emission from Railway Traffic*, VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute), Report 559A, ISSN 0347-6030, 2006.

Ohm A., Jensen M., *Strategi for begrænsning af vejtrafikstøj: Delrapport 3. Virkemidler og samfundsøkonomiske beregninger (Strategy for limiting road traffic noise: Report 2. Means of abatement and socio-economic assessment*, Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen 2003.

Pasquali F., *La riduzione dell'inquinamento acustico lungo l'Autostrada e le Infrastrutture Ferroviarie*, Atti del 3° convegno di medicina ambientale, Alto Adige 2007.

Peeters B., Van Blokland G., *The Noise Emission Model For European Road Traffic*, IMAGINE Project, 2007.

Phillips S.M., Kollamthodi S. *et al.*, *Study of medium and high speed tyre/road noise*, TRL Project Report PR/SE/272/01, 2001.

Popp C., Heidebrunn C., Bonacker M., *et al.*, *EffNoise. Service contract relating to the effectiveness of noise mitigation measures*, Final Report - Volume I, 2004.

Probst W., *Qcity - A concept for noise mapping, ranking, hot spot detection and action planning*, in "19th International Congress on Acoustics", Madrid 2007

Van Honacker P., *Squeal Noise Reduction in Urban Transport by Rail Treatment*, CALM network Conference, 2000.

Van Keulen W., Duskov M., *Inventory study of basic knowledge on tyre/road noise* IPG1, Road and Hydraulic Engineering Division of Rijkswaterstaat, 2005.

Vancluysen K., *Local Noise Abatement Policy, where to start?*, SILENCE Project, 2007. European Commission W.G.5 abatement, *Inventory of noise mitigation method*, Directorate-General: Environment, Policy area: Noise 2002.

WG Railway Noise of the European Commission, *Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement*, 1999

Principali siti consultati

<http://circa.europa.eu/Public/irc/env/Home/main>, portale CIRCA: (Collaborative Workspace with partners of the European Institutions about Environment – Communication & Information - Resource Centre Administration).

<http://ec.europa.eu/environment/noise/>, portale della Commissione Europea - Finestra Ambiente/Rumore.

<http://leopoldo.pjxp.com>, progetto LEOPOLDO (Predisposizione delle linee guida per la progettazione ed il controllo delle pavimentazioni stradali per la viabilità ordinaria).

<http://silviaproject.com>, progetto SILVIA: (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control).

<http://www.altracustica.org>, portale dedicato all'acustica promosso da diversi sponsors italiani che operano nel settore.

<http://www.arpat.toscana.it>, sito Web di ARPAT, Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana.

<http://www.autostrade.it>, portale di Autostrade per l'Italia.

<http://www.calm-network.com>, progetto CALM: (Coordination of European Research for Advanced Transport Noise Mitigation).

<http://www.ciriaf.it>, portale del Centro Interuniversitario di Ricerca sull’Inquinamento da Agenti Fisici.

<http://www.eea.europa.eu/themes/noise>, portale dell’Agenzia Europea per l’Ambiente – Tematica: Rumore.

<http://www.enac-italia.it>, portale dell’Ente Nazionale dell’Aviazione Civile.

<http://www.euro.who.int/Noise>, portale dell’Organizzazione Mondiale della Sanità, ufficio regionale europeo – Finestra Rumore.

<http://www.defra.gov.uk>, Department for policy and regulations on the environment, food and rural affairs – UK Government.

<http://www.fehrl.org>, forum FEHRL, Forum of European National Highway Research Laboratories.

<http://www.imagine-project.org>, progetto IMAGINE: (Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment).

<http://www.lucchini.it>, portale del Gruppo Lucchini produttore italiano di acciaio e global player del settore.

<http://www.nlr.nl>, portale del National Aerospace Laboratory dei Paesi Bassi.

<http://www.noiseinthecity.eu>, atti del convegno “Noise in the City” tenutosi ad Amsterdam, (Netherlands) il 14.03.2008.

<http://www.qcity.org>, progetto Q-City: (Quiet City Transport).

<http://www.rfi.it>, portale della Rete Ferroviaria Italiana.

<http://www.silence-ip.org>, progetto SILENCE: (Quieter Surface Transport in Urban Areas).

<http://www.stairrs.org>, progetto STAIRRS: (Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing measures for Railway Systems).

<http://www.stradeanas.it>, portale dell’Azienda Nazionale Autonoma delle Strade Statali.

<http://www.teria.itc.cnr.it>, progetto TERIA: (Territorial Insert of Airport) identification of solutions aiming at protecting against airport noise.

<http://www.tubosider.it>, portale di TUBOSIDER S.p.A., società operativa della holding Gruppo Ruscilla S.p.A., produttrice di prodotti in acciaio per usi stradali.

<http://www.workinggroupnoise.web-log.nl>, weblog del Working Group Noise EUROCITIES (network of major European cities).

4 RIDUZIONE DEL RUMORE LUNGO LA VIA DI PROPAGAZIONE

4.1 Barriere acustiche

Le barriere acustiche sono ostacoli alla propagazione del suono diretto, posti tra la sorgente ed il ricevitore. Il livello sonoro percepito è ridotto nella zona d'ombra, ovvero in quella zona che sta al disotto del piano congiungente la sorgente e la sommità della barriera nella parte di territorio da essa schermato. In tale zona non arriva il suono diretto, ma solo quello diffratto dai bordi.

Nei paragrafi che seguono, si definiranno le diverse tipologie di barriera evidenziando le caratteristiche costruttive e gli accorgimenti in fase progettuale che permettono di garantire adeguate prestazioni acustiche.

Dal punto di vista esecutivo, le barriere antirumore possono essere classificate in due tipologie principali:

- 1) le *barriere a pannello*, o *artificiali*, caratterizzate dall'esiguo spazio occupato in larghezza e dalla relativa leggerezza; il carattere artificiale dell'opera ne impone uno studio architettonico per consentire un corretto inserimento paesaggistico. Le barriere artificiali presentano sempre dei pannelli, composti o a lastra, sostenuti da una struttura portante, che trasmette al terreno o all'opera d'arte le sollecitazioni cui è sottoposta, mediante opportune fondazioni o collegamenti.
- 2) le *barriere a terrapieno*, o *naturali*, che richiedono maggiore disponibilità di spazio, con un facile inserimento nel paesaggio naturale; le barriere naturali presentano un riempimento in terreno vegetale piantumato con essenze, sostenuto da una struttura portante, che trasmette al terreno le sollecitazioni cui è sottoposta, mediante opportune fondazioni. Questo tipo di barriere necessita anche di un impianto d'irrigazione.

Le *barriere artificiali* si dividono in:

- *barriere prevalentemente fonoisolanti*: sono caratterizzate da un indice di isolamento acustico D_{LR} , misurato secondo le norme ISO 140/3/78, ISO 717/1/82, prEN1793/2, maggiore di 25 dB;

- *barriere fonoisolanti e fonoassorbenti*: sono caratterizzate da un indice isolamento acustico per via aerea D_{LR} , misurato secondo le norme ISO 140/3/78, ISO 717/1/82, prEN1793/2, maggiore di 25 dB e da un coefficiente di assorbimento α_s , misurato

secondo le norme ISO 354/1985 e secondo la pr EN 1793/1, alle frequenze centrali di banda 1/3 d'ottava da 125 a 4000 Hz, non inferiore ai valori riportati in Tabella 95A.

- *barriera di sicurezza in calcestruzzo*: incorpora dei dispositivi fonoassorbenti selettivi per vari campi di frequenze; in alcuni casi sono integrate nella parte superiore schermature fonoisolanti e/o fonoassorbenti. La barriera in calcestruzzo deve possedere un coefficiente di assorbimento α_s , misurato con il metodo ad onde stazionarie (tubo di Kundt), riportati in Tabella 95B.

Tabella 95A

Frequenza (Hz)	α_s
125	0,20
250	0,50
500	0,65
1000	0,80
2000	0,75
4000	0,5

Tabella 95B

Frequenza (Hz)	α_s
100 - 160	0,35
200 - 315	0,50
400 - 630	0,25

Le principali esperienze maturate sulle *barriere naturali* riguardano la realizzazione di *biomuri*, ottenuti con elementi portanti in legno, in calcestruzzo o in acciaio, predisposti per contenere terra ed essenze vegetali.

Le piante in essi contenute sono generalmente scelte in base sia al contesto ambientale nel quale si inseriscono (patrimonio botanico locale, caratteristiche del terreno, latitudine, quota s.l.m., clima, contesto urbano o extra-urbano sia antropico che paesaggistico, tipologia del tracciato se a sezione a raso, in rilevato, ecc.) che a specifiche caratteristiche di adattabilità e durata delle essenze (sempreverdi, ad alta densità fogliare, con totale assenza di agenti patogeni, a rapida crescita).

Per l'impiego di barriere acustiche è comunque necessario uno studio di impatto già in fase di progettazione di massima, in modo da considerare sia l'effetto sull'ambiente che sull'utente dell'infrastruttura stradale. Occorre inoltre valutare gli effetti psicologici sulla popolazione nel caso di barriere molto vicine alle abitazioni, nonché il disagio sugli automobilisti provocato da tratti di considerevole lunghezza senza visibilità sull'ambiente circostante (effetto-tunnel).

4.1.1 Posizionamento

Le barriere dovranno essere poste ad una opportuna distanza dalla più vicina infrastruttura, in modo tale da consentirne l'accesso e da ottimizzare l'abbattimento di energia sonora garantendo la possibilità di una manutenzione in sicurezza senza pregiudicare il traffico lungo l'infrastruttura. Le *barriere stradali* posizionate sull'esterno del guard-rail, dato che nella maggior parte dei casi la barriera antiurto e quella antirumore non coincidono. Possono coincidere nel caso di barriere miste, nella parte inferiore in calcestruzzo, oppure quelle acustiche possono essere montate direttamente sul new-jersey. Le *barriere ferroviarie* sono collocate esternamente al sentiero pedonale in modo da assicurare il libero accesso dal binario. La distanza dell'asse del sentiero pedonale dal bordo interno della più vicina rotaia è prescritta dal Regolamento di attuazione della *L. n.191 del 26/04/1974* sulla prevenzione degli infortuni sul lavoro. Eventuali deroghe a tale disposizione devono essere sottoposte all'approvazione del Committente.

Nel caso in cui si rendano necessarie interruzioni di barriera, ogni interruzione deve essere protetta da uno schermo opportunamente arretrato e di lunghezza almeno pari all'interruzione più due volte la distanza fra la barriera principale e la barriera arretrata. Ovviamente tali interruzioni sono da adottare solo se strettamente necessarie per non inficiare le prestazioni di isolamento delle barriere stesse.

4.1.2 Caratteristiche costruttive

I parametri principali da tenere in considerazione nella fase della progettazione esecutiva sono:

- la scelta dei materiali, sulla base delle prestazioni acustiche richieste e dell'estetica (materiali metallici, legno, calcestruzzo e argilla espansa, barriere trasparenti in plexiglass o altri materiali plastici, barriere vegetative);
- il dimensionamento e il calcolo strutturale, che debbono tener conto delle normative internazionali, in base alle sollecitazioni di tipo statico (il peso proprio della struttura, il peso proprio degli elementi, il carico della neve) e di tipo dinamico (il vento, la pressione d'aria generata dal passaggio dei veicoli, l'urto di veicoli);
- la sicurezza, correlata alle qualità dei materiali utilizzati, sia nella fase di cantiere che di esercizio dell'opera;
- l'accessibilità alla barriera e alle sue parti, anche in presenza di traffico;
- la modularità dei componenti della barriera, in modo da rendere possibili eventuali sostituzioni e comunque da garantire adeguate scorte di magazzino;
- la prevenzione, per quanto possibile, degli atti di vandalismo;

- le attività di manutenzione ordinaria e straordinaria, classificate in programmi con indicazione del tipo di attività manutentoria, dell'ingombro previsto della sede stradale e del personale necessario;
- la durabilità, sia dei materiali strutturali che dei rivestimenti protettivi, considerando che l'ambiente stradale è altamente aggressivo;
- l'analisi dei costi.

Per poter garantire in opera le prestazioni acustiche di progetto è necessario prevedere guarnizioni acusticamente ermetiche fra i montanti e i pannelli e tra pannello e pannello, mentre tra pannelli e fondazioni in calcestruzzo devono essere inseriti elementi sigillanti. Inoltre tutta la barriera deve essere costruita in modo da evitare in ogni punto il ristagno dell'acqua. Per potere procedere alle fasi di manutenzione ordinaria e straordinaria dovranno essere adottate soluzioni costruttive tali da poter rimuovere i montanti senza demolire la relativa fondazione, nel contempo il materiale fonoassorbente deve essere assicurato in modo tale da evitarne spostamenti e piegature e deve essere protetto in modo che non possa impregnarsi d'acqua ed essere facilmente danneggiato. È buona norma prevedere anche dispositivi atti a impedire l'asportazione dei pannelli.

Le *barriere antirumore composite* sono formate da pannelli che possono avere diverse caratteristiche sia per quanto riguarda i materiali (calcestruzzo, metallo, legno ecc.), sia per quanto riguarda la forma o i colori, e vengono utilizzate per soddisfare particolari esigenze formali (inserimento ambientale, interruzione della monotonia dovuta ad eccessiva lunghezza della barriera ecc.).

4.1.3 Barriere acustiche stradali fotovoltaiche

Si tratta di un modo per affrontare contemporaneamente il problema dell'inquinamento acustico e la creazione di energia pulita. Un interessante esempio è fornito dalla strada Tullamarine Calder Interchange, a nord di Melbourne, in Australia, dove sono stati installati circa 500 metri di barriera acustica stradale fotovoltaica. Tale barriera, progettata e installata dalla *Going Solar*, è in grado di erogare una potenza complessiva di 25 kWp permettendo inoltre di far funzionare in autonomia i dispositivi elettronici (cartelloni e luci) lungo la strada stessa.

Dal punto di vista dell'informazione alla popolazione, l'installazione è stata completata con l'implementazione di un sistema di monitoraggio dei dati, che consente di visualizzare la capacità produttiva dell'impianto su uno schermo pubblico, sistemato ad 1 km di distanza.

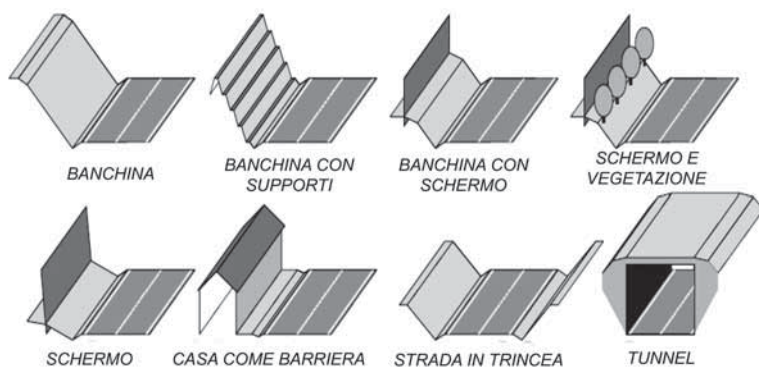
4.2 Altri tipi di schermi al rumore

Le barriere fonoisolanti non esauriscono le possibili tipologie di schermi al rumore realizzabili lungo le infrastrutture di trasporto. Alcuni interventi alternativi alle barriere possono essere la realizzazione di tunnel (chiusi o semiaperti), l'interposizione di edifici non sensibili (centri commerciali, rimesse...) tra la sorgente di rumore e le aree residenziali, lo sfruttamento di rilievi o depressioni naturali o l'impiego di vegetazione (anche se più efficace da un punto di vista psicologico piuttosto che acustico). Alcune delle soluzioni elencate consentono oltre che un buon abbattimento del rumore anche un sensibile miglioramento della qualità dell'aria e sono caratterizzati da una vasta scelta di materiali e modelli realizzativi. D'altro canto, tali interventi non sono esenti da aspetti negativi quali, ad esempio nel caso della realizzazione di tunnel semiaperti, una relativamente bassa compatibilità ambientale, la riduzione della facilità di attraversamento della strada dove sono implementate e costi elevati.

In generale, a parità di altre condizioni, le infrastrutture di trasporto che producono la maggior rumorosità sono, in ordine decrescente, quelle realizzate su viadotti, quelle realizzate sui rilevati, quelle su terreni senza particolari movimenti di terra ovvero senza la costruzione di banchine o terrapieni, quelle in trincea, quelle in galleria.

In città la soluzione più radicale e definitiva, ma anche più costosa, per la riduzione del rumore da infrastrutture stradali e ferroviarie è la creazione di gallerie anche se la realizzazione di strade in trincea può essere valutata positivamente, specie se queste sono dotate di pannelli fonoassorbenti sospesi sopra le auto, disposti in file longitudinali parallele.

Figura 48 - *Principali tipi di schermi al rumore* [da *Inventory of noise mitigation methods*, European Commission WG5 abatement, 2002]



Per la riduzione del rumore emesso dagli accessi ai tunnel è rivestimento necessario rivestire con materiale fonoassorbente le pareti e del soffitto della galleria, in aggiunta alla stesura di pavimentazioni stradali fonoassorbenti.

In questo modo la galleria diventa un vero e proprio silenziatore dissipativo, che consente di attenuare notevolmente la sorgente sonora lineare rappresentata dal traffico.

Figura 49 - *Bruxelles, the Roi Baudoin Park, esempio di vegetazione e banchine naturali usati come schermo* [da Progetto SILENCE Deliverable I.D6_GRECAU_08.02.2007-2, 2007]



Tabella 96 - *Filtri al rumore* [da *Inventory of noise mitigations methods*, European Commission WG5 abatement]

Misura	Effetto locale in dB(A)
Barriere	0 - 15
Strade in trincea	0 - 5
Edifici usati come barriere	0 - 20
Combinazione di edifici e barriere	0 - 20
Tunnels	0 - 30
Vegetazione	0 - 1

4.3 Bibliografia

European Commission W.G.5 abatement, *Inventory of noise mitigation method*, Directorate-General: Environment, Policy area: Noise, 2002.

Garai M., Berengier M., *Propagazione del rumore in ambiente esterno*, Seminario sul “Noise Mapping”, Bologna 2001.

Gerola F., Mattevi L., Tiso C., *Alcune problematiche nell’impiego di barriere anti-rumore in ambito ferroviario*, Atti del 34° congresso nazionale AIA, Firenze 2007.

Mino G., Di Liberto C.M., *Stato dell’arte degli interventi sul mezzo ricettore e di propagazione per la mitigazione delle vibrazioni generate da sistemi di trasporto su ferro*, Atti del 17° convegno nazionale SIIV, Enna, settembre 2008.

Vancluyssen K., *State of the art on barriers and solutions to implementing noise scenarios*, SILENCE Project, 2006.

Principali siti consultati

<http://circa.europa.eu/Public/irc/env/Home/main>, portale CIRCA: (Collaborative Workspace with partners of the European Institutions about Environment – Communication & Information - Resource Centre Administration)

<http://silviaproject.com>, progetto SILVIA: (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control).

<http://www.calm-network.com>, progetto CALM: (Coordination of European Research for Advanced Transport Noise Mitigation).

<http://www.defra.gov.uk> Department for policy and regulations on the environment, food and rural affairs – UK Government.

<http://www.imagine-project.org>, progetto IMAGINE: (Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment).

<http://www.noiseinthecity.eu>, atti del convegno “Noise in the City” tenutosi ad Amsterdam, (Netherlands) il 14.03.2008.

<http://www.qcity.org>, progetto Q-City: (Quiet City Transport).

<http://www.silence-ip.org>, progetto SILENCE: (Quieter Surface Transport in Urban Areas).

<http://www.stairrs.org>, progetto STAIRRS: (Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing measures for Railway Systems).

<http://www.workinggroupnoise.web-log.nl>, weblog of the Working Group Noise EUROCITIES (network of major European cities).

5 RIDUZIONE DEL RUMORE AL RECETTORE

5.1 Isolamento acustico

Come già richiamato nei paragrafi precedenti, il D.M. 29/11/2000, all'Art. 5, elenca in ordine di priorità i diversi tipi di intervento per il contenimento e l'abbattimento del rumore generato da infrastrutture. Il legislatore ha assegnato alle misure di incremento del potere fonoisolante delle partizioni esterne (infissi e muri perimetrali) la priorità più bassa rispetto agli interventi alla sorgente e sulla via di propagazione.

In Italia, il comfort acustico degli edifici è legato principalmente al rispetto della *Legge Quadro* sull'inquinamento acustico n. 447 del 26/10/95 ed in particolare ad un suo decreto attuativo: il *D.P.C.M. del 05/12/97, Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*.

Le grandezze di riferimento, adottate nella normativa italiana, per caratterizzare l'isolamento acustico degli ambienti interni sono:

- il potere fonoisolante apparente R'_w ;
- l'isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$;
- il livello di calpestio di solaio normalizzato $L'_{n,w}$;
- il livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo *slow* L_{ASmax} per gli impianti;
- il livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A, L_{Aeq} per gli impianti.

Tutti i valori delle grandezze elencate sono da misurarsi in opera.

R'_w misura, in opera, il potere fonoisolante apparente degli elementi di separazione tra unità immobiliari distinte. Tiene quindi conto sia del *rumore diretto* che attraversa la partizione che delle *trasmissioni laterali di fiancheggiamento*.

$L'_{n,w}$ rappresenta il livello di rumore da calpestio che attraversa il solaio, propagandosi fra due ambienti sovrapposti.

Tabella 97 - I valori limite in opera per le differenti categorie di edifici, in base al D.P.C.M. 05/12/97 (le ultime due colonne si riferiscono agli impianti)

Categoria	Parametri				
	R'_w	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$	L_{ASmax}	L_{Aeq}
1. D	55	45	58	35	25
2. A,C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B,F,G	50	42	55	35	35

Le categorie sopra citate sono le seguenti:

- categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili;
- categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili;
- categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni e attività assimilabili;
- categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili;
- categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;
- categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili;
- categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili.

Riportiamo a seguire, quelle che sono le indicazioni dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (Tabella 98), relative ai livelli consigliati e i livelli massimi di rumore nei vari ambienti, abitativi e non.

Tabella 98 - Stralcio delle linee guida OMS per i livelli sonori consigliati in differenti ambienti

Linee guida OMS basate sugli effetti sanitari per i livelli di rumore		
	<i>Livello equivalente in dB</i>	<i>Livello massimo in dB</i>
Interni	35	
Camera da letto	30	45
Esterni		
Livello esterno alla camera da letto	50	60
Livello esterno a scuole ed ospedali	45	
Aula scolastica	35	
Cortile scolastico	55	
Ospedali	30	40
Industria	70	110
Parchi, aree ricreative	Mantenimento dello stesso livello di background che caratterizza le aree in questione	

Il D.M. 29/11/2000 stabilisce (Art. 5) che *gli oneri dell'attività di risanamento siano a carico delle società e degli enti gestori delle infrastrutture dei trasporti* che vi provvedono in conformità alle disposizioni vigenti. D'altra parte, relativamente alle infrastrutture stradali, il D.P.R. n. 142 del 30/03/04 (Art. 8) stabilisce che gli interventi per il rispetto dei limiti nel caso di infrastrutture esistenti siano a carico dei titolari della concessione edilizia o del permesso di costruire, se rilasciata dopo la data di entrata in vigore del decreto stesso.

Molto spesso ad un incremento del potere fonoisolante delle partizioni esterne (muri e infissi) corrisponde anche un aumento dell'isolamento termico dell'ambiente abitativo, con conseguenti risparmi energetici.

Anche se ad oggi non sono previsti incentivi statali per l'incremento del potere fonoisolante degli edifici esposti e, quindi, per gli interventi di mitigazione del rumore al ricettore, sia nella Finanziaria del 2007 che in quella del 2008 sono stati inseriti provvedimenti sul risparmio energetico. Tali provvedimenti, che valgono principalmente per abbattere la dispersione termica, consentono anche un miglioramento dell'isolamento acustico delle partizioni esterne.

In particolare sono previsti sgravi fiscali per i *serramenti* e gli *infissi* che garantiscono un'ottima tenuta, sono anche molto buoni dal punto di vista dell'isolamento acustico.

Per quanto riguarda la sostituzione di infissi, le spese che possono essere soggette a detrazione riguardano:

- la fornitura e posa in opera dell'infisso;
- le integrazioni e sostituzioni dei componenti vetrati esistenti.

Ad oggi, il limite massimo di beneficio previsto è di euro 60.000, da intendersi riferito all'unità immobiliare oggetto dell'intervento, e deve essere suddiviso tra i soggetti detentori o possessori dell'immobile che partecipano alla spesa.

La certificazione della capacità isolante degli infissi (eseguita dal produttore che attesti il rispetto dei requisiti minimi, corredata da certificazione di conformità dei singoli componenti) consente di poter accedere agli *eco-incentivi* previsti dalla Finanziaria 2008: ovvero ad agevolazioni fiscali IRPEF, pari al 55% dell'investimento sostenuto per la sostituzione dei vecchi serramenti.

Gli elementi acusticamente critici per quanto riguarda gli infissi sono rappresentati generalmente dai commenti tra l'infisso stesso e il muro o dal sistema di guarnizioni del serramento.

A tale problema, si può ovviare installando serramenti con elevata tenuta all'aria anche se un edificio acusticamente "sigillato" dai rumori esterni può presentare notevoli inconvenienti legati sia al grado di umidità che alla ventilazione.

Per quanto riguarda i vetri, sono disponibili in commercio diverse soluzioni efficienti

a partire da quella più semplice costituita dal vetro camera. Vetri con film plastico e a doppia camera riducono in modo considerevole i rumori esterni (di circa l'80%) consentendo un guadagno di circa 3 dB(A) rispetto ad un vetrocamera standard 4-12-4.

Passando a soluzioni con tripla camera e 2 film (il guadagno arriva fino a 4-5 dB(A), sempre rispetto ad un vetrocamera standard 4-12-4). Miglioramenti si possono ottenere con l'impiego di vetri di maggior spessore, o vetri laminati, oppure riempiendo la camera fra i vetri con gas fonoassorbente (SF6 - esafluoruro di zolfo).

I vetri composti da due o più lastre unite tra loro da una o più pellicole di PVB specifico per applicazioni di isolamento acustico, sono abbastanza efficienti. Il PVB, agendo come ammortizzatore tra le due lastre di vetro, impedisce la vibrazione, eliminando il problema della frequenza critica e quindi dei picchi sonori ad alta frequenza.

Un vetro semplice, anche se di forte spessore, non isola in maniera uniforme, al variare delle frequenze del rumore. Il vetro stratificato è adatto per l'isolamento acustico, dal momento che abbina all'azione del vetro (massa) anche l'azione dell'intercapedine di materiale plastico frapposto fra le lastre che ha generalmente specifiche proprietà fonoassorbenti.

Tabella 99 - *Effetti della progettazione e dislocazione dei recettori sull'abbattimento del rumore (facciate silenziose)* [da *Inventory of noise mitigations methods*, European Commission WG5 abatement]

Misure di abbattimento in sede progettuale	Effetto locale in dB(A)
Orientamento dell'edificio	0 - 20
Autoprotezione (Figure 57 e 59)	0 - 20
Protezione assistita	0 - 10

Per quanto riguarda la trattazione approfondita dell'isolamento acustico degli ambienti interni, si rimanda a pubblicazioni più specifiche sull'argomento.

5.2 La progettazione degli edifici

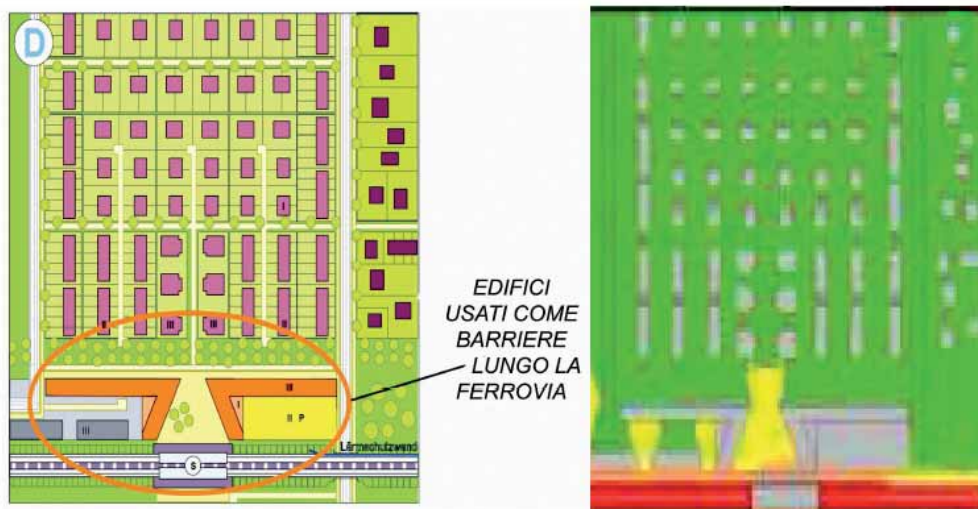
Come già accennato nel Capitolo 4, un corretto inserimento degli edifici nell'ambiente, rispetto alle sorgenti di rumore, e un'attenta progettazione e dislocazione degli ambienti interni permette, non solo una riduzione del rumore in aree sensibili, (effetto schermante di edifici non residenziali, ad esempio), ma anche dell'esposizione della popolazione all'interno degli ambienti abitativi.

Nei paragrafi che seguiranno, si esaminerà l'uso di edifici compatibili con il rumore, come barriere acustiche per aree sensibili o residenziali, richiamando nel contempo alcune buone pratiche in fase di progetto della destinazione d'uso degli ambienti di vita e di lavoro.

5.2.1 Edifici compatibili con il rumore usati come barriere

In questo caso sono altri edifici che funzionano da barriera verso altri più sensibili: gli edifici situati tra le abitazioni più sensibili e le strade, possono ospitare destinazioni d'uso commerciali o artigianali, oppure uffici.

Figura 50 - *Edifici usati come barriera al rumore. A destra la mappa dei livelli di rumore: il verde indica un basso livello sonoro, il rosso una più alta rumorosità.* [da SILENCE project, SILENCE_Handbook_Local_noise_action_plans, 2008. Fonte: LÄRMKONTOR GMBH, BPW HAMBURG, KONSALT GMBH, 2004]



Gli edifici-barriera possono anche essere aggiunti agli esistenti, come nella figura seguente:



Figura 51 - *Edifici usati come barriera al rumore, alcune ali degli edifici sono state appositamente aggiunte ai fini della mitigazione del rumore.*
[da SILENCE project SILENCE_Handbook_Local_noise_action_plans, 2008, fonte: LÄRMKONTOR GMBH, BPW HAMBURG, KONSALT GMBH, 2004]

Figura 52 - *Edifici usati come barriera al rumore: orientamento delle case a schiera nell'ottica della loro protezione da rumore; inserimento di terrapieno*
[da *Inventory of noise mitigations methods*, European Commission WG5 abatement]

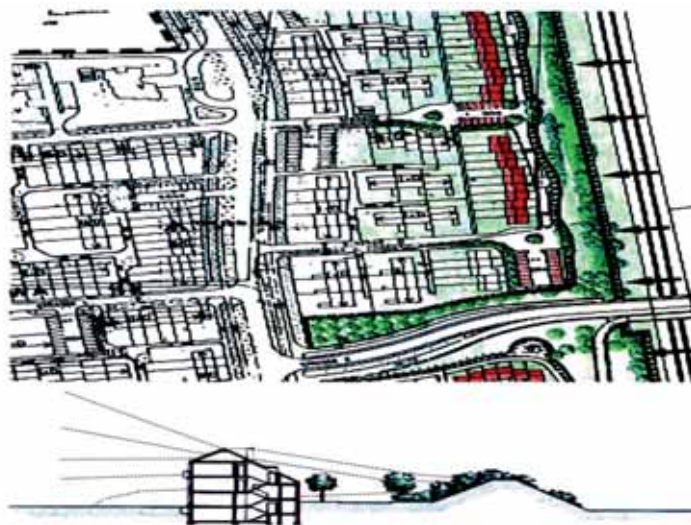


Figura 53 - *Esempio di disposizione a forma di barriera schermante dei garages*
[da *Inventory of noise mitigations methods*, European Commission WG5
abatement]



5.2.2 Struttura degli edifici e distribuzione delle funzioni

Un'altra opportunità per la riduzione dell'esposizione della popolazione al rumore ambientale è di riprogettare l'edilizia residenziale, in modo che essa stessa si funga da prima protezione al rumore.

In tal senso, è possibile intervenire sia sulla disposizione degli edifici, che sulla costruzione della singola unità: una fila di villette a schiera, ad esempio, può proteggere le successive file di villette a semi-schiera.

Figura 54 - *Edifici a terrazza di fronte all'autostrada usati come barriera al rumore per i retrostanti edifici più alti, con tetto a falde* [da SILENCE project, SILENCE_Handbook_Local_noise_action_plans, 2008]



Si può agire inoltre anche sulla quantità e sulla qualità delle aperture e degli infissi, oltre che sui materiali, sulla forma dell'edificio, così come sulla distribuzione interna degli ambienti. Zone lucernario, locali tecnici e garage possono essere usati come schermi al rumore. È possibile inoltre usare i balconi allo stesso scopo.

In molte occasioni ci troviamo a dover far fronte a scelte urbanistiche errate che consentono la costruzione di edifici in luoghi troppo vicini alle sorgenti di rumore o in posizione non sufficientemente schermata.

In questi casi il progettista è chiamato a mettere in atto degli accorgimenti che garantiscano un'adeguata protezione degli spazi destinati alle attività antropiche.

Al riguardo, si riportano di seguito alcune indicazioni particolarmente utili per un'efficace tecnica di costruzione:

- valutare attentamente l'orientamento dell'edificio;
- le facciate rivolte verso la sorgente di rumore dovrebbero essere di elevato spessore e prive di aperture e di balconi (compatibilmente con l'orientamento geografico);

- se è inevitabile collocare finestre rivolte verso la sorgente di rumore, è necessario dotarle di serramenti ad elevato isolamento, garantendo altresì la corretta ventilazione e l'eventuale condizionamento, in modo che non sia necessario aprirle per cambiare l'aria o rinfrescare l'ambiente;
- è bene che gli edifici prossimi alla strada formino uno schermo continuo, in grado di proteggere l'area cortilizia interna;
- le tipologie di disposizione delle unità abitative: a corte o a schiera, sono più adatte delle casette isolate, per realizzare giardini protetti dal rumore della strada;
- le recinzioni murarie sono molto più efficienti delle cancellate, seppure di diverso impatto;
- la disposizione dei locali negli appartamenti deve tenere conto delle esigenze di quiete richieste da camere da letto e soggiorni, evitando di porli direttamente sulla facciata più esposta al rumore, che invece può ospitare le attività meno sensibili, come bagni, guardaroba, corridoi o vani scale;
- anche zone-lucernario, locali tecnici e garage possono essere usati come schermi al rumore e si possono mettere sul lato più esposto dell'edificio;
- nella costruzione dei balconi, il parapetto in muratura piena è da preferire a quelli metallici aperti;
- è necessario prevedere dispositivi per il contenimento delle vibrazioni trasmesse alle fondazioni dell'edificio e generate da strade percorse da traffico pesante.

Figura 55 - Box e garage usati come barriera al rumore e corti tranquille per gli edifici retrostanti A destra la mappa dei livelli di rumore: il verde indica un livello basso di rumore mentre il rosso una più alta rumorosità [da SILENCE project, SILENCE_Handbook_Local_noise_action_plans, 2008]



Figura 56 - *Schema distributivo interno dei vani compatibile col rumore della strada* [da *Inventory of noise mitigations methods*, European Commission WG5 abatement, 2002]

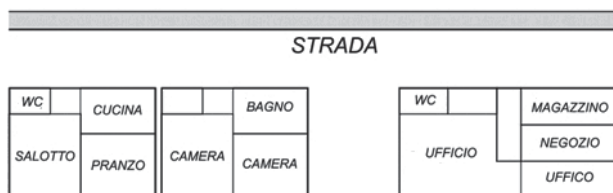
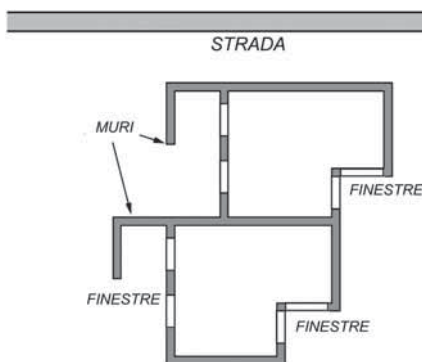


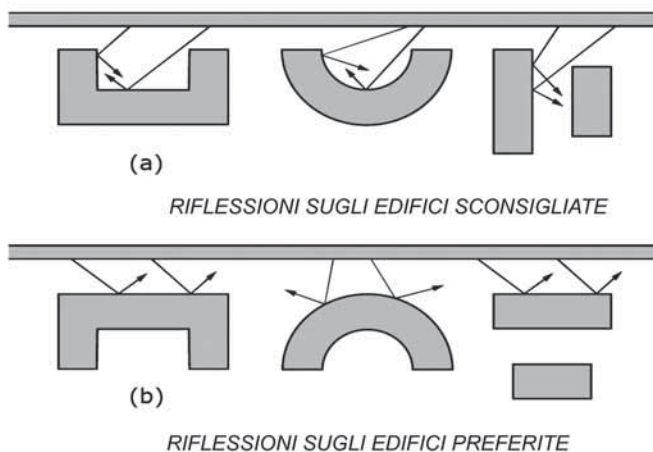
Figura 57 - *Possibili collocazioni di cortine murarie compatibili col rumore* [da *Inventory of noise mitigation methods*, European Commission WG5 abatement, 2002]



I balconi possono funzionare come barriere al rumore, se costruiti oltretutto con materiale assorbente, possono abbattere dai 5 ai 14 dB(A) in funzione di materiali, dell'angolo di incidenza, dell'ampiezza delle finestre, della profondità del balcone e dell'altezza del parapetto.

Un ruolo importante giocano le riflessioni del rumore nell'innalzamento della rumorosità locale. Spesso infatti tali riflessioni si concentrano in particolari parti dell'edificio, che diventano molto rumorose; una corretta progettazione deve evitare questo fenomeno di convoglio dei raggi sonori, tenendo però sempre presenti gli aspetti climatici (soleggiamento, vento) e architettonici.

Figura 58 - *Schemi dell'orientamento dei palazzi: a) non compatibile col rumore; b) con esso compatibile* [da *Inventory of noise mitigation methods*, European Commission WG5 abatement, 2002]



Barriere e schermi possono essere usati per proteggere le aree residenziali dal rumore.

Figura 59 - *Barriere e palazzi che fungono da barriera* [da SILENCE project, *SILENCE_Handbook_Local_noise_action_plans*, 2008]

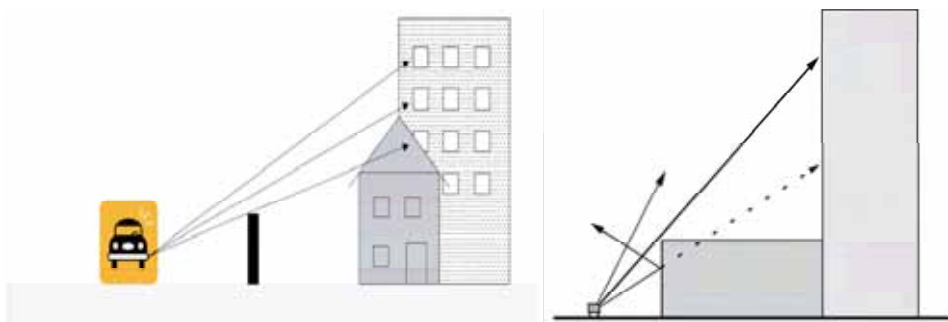
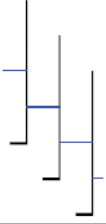


Tabella 100 - *Pianificazione e organizzazione urbana, ambiti di intervento e possibile riduzione del rumore* [da *Inventory of noise mitigations methods*, European Commission WG5 abatement]

Misura	Effetto locale, dB(A)
<i>Pianificazione e gestione del territorio</i>	
Traffico stradale e ferroviario	0 -6
Traffico aereo	0 - ?
Zonizzazione del rumore	0 - 20
Creazione di zone protette dal rumore	0 - 20

Tabella 101 - Possibili azioni di isolamento di facciata [da www.qcity.org/results.html]

Ref. GM-PROP	Localizzazione	Azione	Opzioni/esempi	Effetto, dB(A)	Specifiche o caratteristiche o limitazioni del sito
GM-PROP-4	tutti i tipi di edifici	Progettazione di edifici che presentano le stanze sensibili al rumore sulla facciata silenziosa		15-25	Miglioramento del livello sonoro interno, solo limitatamente alle stanze sensibili
GM-PROP-5	condomini elevati	Design di facciate sfalsate		2-5	L'effetto principalmente sul livello sonoro interno
GM-PROP-6	tutti i tipi di edifici	Facciate di materiale assorbitore (lato esterno)	Mattoni a tessitura aperta su fibreglass	1-3	L'effetto è presente anche in esterno sul rumore di fronte alla facciata e sul rumore interno agli edifici sul lato opposto della strada. L'effetto può essere superiore dove è dominante il suono riflesso
			Facciata di materiale fonoassorbente (lato esterno)	1-3	

segue...

....segue

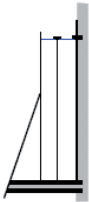


GM-PROP-7	tutti i tipi di edifici	Materiale fonoassorbente collocato sulle pareti interne	Mattoni assorbenti, pannelli assorbenti per il soffitto	1-5	Effetto solo sul livello sonoro interno
GM-PROP-8	tutti i tipi di edifici	Facciate prive di aperture		10-20	La facciata chiusa non possiede finestre apribili. La collocazione delle facciate chiuse è preferibilmente nord, nord-ovest, nord-est o est Progetti di edifici aventi atrio, bagno e toilette, sgabuzzino, retrocucina sulla facciata chiusa
GM-PROP-9	edifici bassi/villetta a schiera	Abitazioni integrate nelle barriere antirumore		10-20	Le barriere devono essere collocate sulle pareti a nord, nordovest, nordest o est Progetti di edifici aventi atrio, bagno e toilette, sgabuzzino, retrocucina sulla facciata chiusa
GM-PROP-10	edifici a mattoni/con elementi di facciata leggeri con vetratura normale	Facciate doppie e trasparenti		10-20	Le facciate doppie devono essere collocate a nord, nordovest, nordest o est

Tabella 102 - Isolamento degli edifici [da www.qcity.org/results.html]

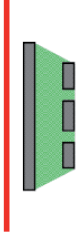

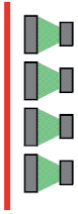
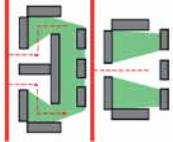
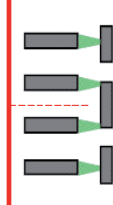
Ref. GM-PROP	Localizzazione	Azione	Opzioni o esempi	Effetto, dB(A)	Specifiche o caratteristiche o limitazioni del sito
GM-PROP-11	Area urbana normale con densità di popolazione medio-alta	Edificio con funzione di schermatura Edificio senza interruzioni collocato vicino alla strada di lunghezza sostanziale (100-1000 m)			Specifiche precauzioni per la facciata più esposta Raramente utilizzate in via temporanea, a seconda delle regolamentazioni sulla sicurezza e accessibilità degli edifici, le misure descritte possono essere combinate con un efficiente regolamentazione dei flussi di traffico e possono produrre risultati positivi ed al tempo stesso economici
		Edifici di schermatura posti vicino alla strada, con dimensione maggiore parallela alla strada e collocati vicino alle abitazioni che schermano			
		Edifici di schermatura posti vicino alla strada, con accesso a zigzag alle abitazioni			
		Edifici di schermatura posti vicino alla strada, con dimensione minore parallela alla strada (non raccomandato)			

Tabella 103 - Possibili interventi di pianificazione urbana [da www.qcity.org/results.html]


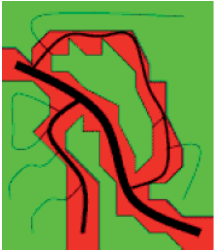

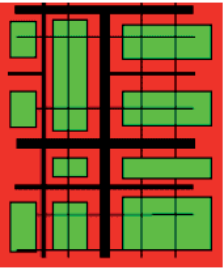
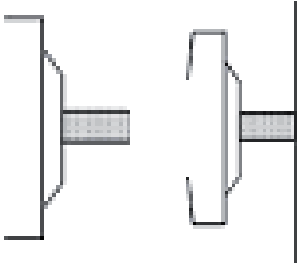

Ref. GM-PROP	Localizzazione	Azione	Opzioni o esempi	Effetto, dB(A)	Specifiche o caratteristiche o limitazioni del sito
GM-PROP-12	Area urbana normale con densità di popolazione medio-bassa	Sistema ad aree differenziate: suddivisione rigida delle aree ad alta o bassa rumorosità		Concentrato	Aree silenziose distribuite lungo le strade principali ad alta rumorosità. E' positivo anche in considerazione della divisione delle aree concordemente alla loro funzione
	Area urbana normale con densità di popolazione alta, media o bassa	Sistema stradale a "cul de sac" Combinazione di strade ad alto traffico e ad alta velocità lungo le rotte principali e strade a basso flusso e ridotta velocità			Le aree rumorose sono quelle lungo le principali arterie stradali, quelle silenziose lungo le strade a fondo chiuso
	Centro urbano/Area urbana normale con densità di popolazione medio-alta	Sistema a griglia Combinazione di strade ad alto traffico e ad alta velocità lungo le rotte principali e strade a basso flusso e ridotta velocità		Diffuso	Ogni reticolo ha una differente tipologia di traffico. Può essere utile se occorre mescolare diverse funzioni del territorio in poco spazio

Tabella 104 - Tunnel e schermi al rumore [da www.qcity.org/results.html]

Ref. GM-PROP	Situazione	Azione	Design	Effetto, dB(A)	Costo [Meuro/km]	Specifiche limitazioni o problemi
GM-PROP-14	Strade principali, autostrade o ferrovie nelle vicinanze di aree densamente popolate		Senza barriere	0-5	> 50	Per gli edifici dietro la prima fila , l'effetto può essere negativo
			Schermi assorbitori del suono di 5 m	5-12	> 50	
			Schermi riflettenti verticali e trasparenti, su di un lato alti 5 m	5-15	> 50	Aumento del suono sul lato opposto della strada o ferrovia, non ha alcuna efficacia se collocato su entrambi i lati dell'infrastruttura
			Schermi riflettenti Trasparenti Inclinati di 15° alti 5 m	5-15	> 50	Può richiedere ulteriori indagini per ottimizzarne la forma nelle specifiche situazioni.
GM-PROP-15			Schermi curvati (vedi figura)	5-20	> 50	
			Pareti verticali riflettenti	2-4	50 - 200	
			Pareti assorbitenti	4-10	50 - 200	
			Pareti inclinate di 15°	4-10	50 - 200	Richiede ulteriori indagini per ottimizzarne la forma nelle specifiche situazioni.






Ref. GM- PROP	Situazione	Azione	Design	Effetto dB(A)	Costo [Meuro/km]	Specifiche limitazioni o problemi
GM- PROP-16		Tunnel coperto		> 25	> 100	Può richiedere ulteriori indagini sull'aumento del suono nella prossimità delle aperture
GM- PROP-17			Schermi orizzontali che coprono parzial- mente la strada	5-20	100-300	Richiede ulteriori indagini per ottimizzarne la forma nelle specifiche situazioni.
			Griglia di schermi assorbenti verticali sopra la strada	15-25	100-300	La griglia deve essere alta almeno 2 m
GM- PROP-18	Strade princi- pali, autostra- de o ferrovie in aree densamente popolate	Schermi a lato della strada	Schermi assorbenti alti 5 m	2-10	1,5-4	
			Parete riflettente, trasparente e verti- cale, su di un lato, alta 5 m	2-12	1-3	Aumento del livello sonoro sul lato opposto a quello di collocamento della parete Non efficace se installata su entrambi i lati dell'infr- struttura
			Schermi riflettenti trasparenti, alti 5 m, inclinati di 15°	2-12	2-5	Può richiedere ulteriori indagini per ottimizzar- ne la forma in situazioni specifiche
			Schermi ricurvati di altezza di 5 – 10 m	5-25	10-30	Può richiedere ulteriori indagini per ottimizzar- ne la forma in situazioni specifiche
			Terrapieni di altezza di 5m	2-8	1-4	Richiede una significativa disponibilità di spazio

Tabella 105 - *Riduzione ipotizzata mediante l'utilizzo di edifici come barriera al rumore* [da www.qcity.org/results.html]

Problema	Traffico stradale vicino alle case
Soluzione	Edifici usati come barriera
Riduzione del rumore attesa	10 – 20 dB(A)
Dettagli	Parte dell'edificio stesso si addossa ad un terrapieno I vani dell'edificio da proteggere sono disposti in maniera tale per cui quelli rivolti verso la sorgente siano i meno sensibili
Costo	Non noto
Limitazioni	Attenzione alla progettazione degli infissi

Figura 60 - *Edificio addossato ad una barriera e che funziona lui stesso da barriera per i locali più sensibili* [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, Quiet City Transport DELIVERABLE 6.2 Consolidation - Action Plans – Dissemination, 2007]

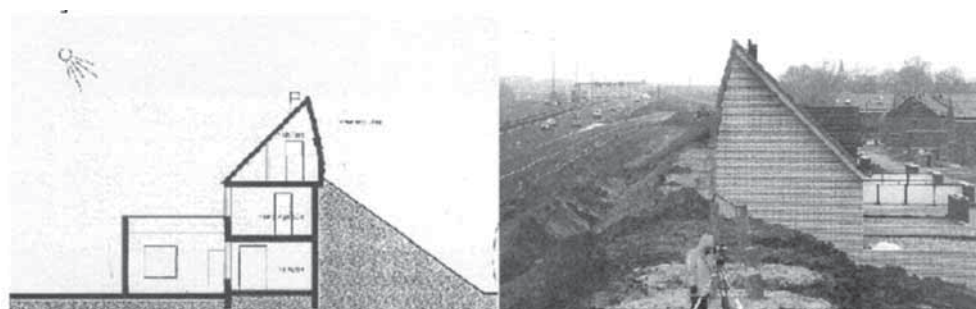


Tabella 106 - *Riduzione dell'esposizione utilizzando doppie facciate negli edifici* [da <http://www.qcity.org/results.html>]

Problema	Traffico stradale vicino alle case
Soluzione	Doppia facciata
Riduzione del rumore attesa	15 – 25 dB(A)
Dettagli	Schermo trasparente costituito da una seconda facciata a 2,5 m dalla facciata stessa. Lo schermo è dotato di pannelli fonoassorbenti.
Costo	Non noto
Limitazioni	Convieni mettere la doppia facciata verso nord, nord-ovest, nord-est, o est

Figura 61 - *Esempio di doppia facciata ad Albatros Etten-Leur in Olanda*
[da Q-City TIP4-CT-2005-516420, Quiet City Transport DELIVERABLE
6.2 Consolidation - Action Plans – Dissemination, 2007]

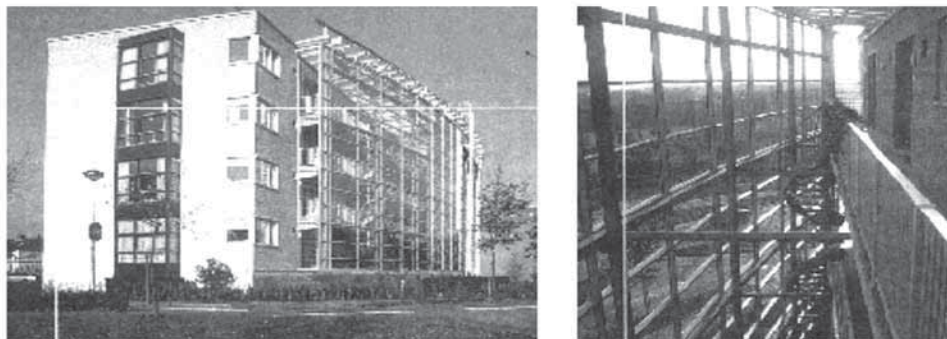


Tabella 107 - *Riduzione utilizzando tunnel parzialmente aperti*
[da www.qcity.org/results.html]

Problema	Traffico stradale vicino alle case
Soluzione	Tunnel parzialmente aperto
Riduzione del rumore attesa	15 – 25 dB(A)
Dettagli	Tunnel parzialmente aperto La copertura è una soletta spessa di cemento armato
Costo	Euro 1.000.000.000 comprensivi delle opere di finitura
Interazioni / limitazioni	Superficie superiore adibita ad area ricreativa Differenza tra i due livelli di circa 8 m

Figura 62 - *Tunnel parzialmente aperto sulla A2 Leidsche Rijn – Utrecht, in Olanda*
[da Q-City TIP4-CT-2005-516420, Quiet City Transport DELIVERABLE
6.2 Consolidation - Action Plans – Dissemination, 2007]



5.3 Il controllo attivo del rumore

Le soluzioni passive per la riduzione del rumore riguardano interventi alla sorgente, sulla via di propagazione e, al ricettore, aumentando il potere fonoisolante delle partizioni esterne e in particolare degli infissi. L'incremento del potere fonoisolante dei serramenti se da una parte riduce il livello di rumore interno, dall'altra inevitabilmente conduce ad una riduzione della ventilazione degli ambienti con un possibile incremento dell'umidità relativa. La messa in opera di infissi autoventilanti diminuisce la possibilità di ristagno di aria all'interno dei locali ma non offre un'adeguata protezione alle basse frequenze.

Una soluzione alternativa agli interventi passivi al ricettore è costituita dalle tecnologie per il controllo attivo del rumore.

A livello europeo notevoli risultati sono stati raggiunti con il progetto TERIA (<http://www.teria.itc.cnr.it/>, I.T.C. – C.N.R.) per lo studio del controllo attivo del rumore in ambito aeroportuale finanziato all'interno del programma INTERREG dell'area MEDOCC.

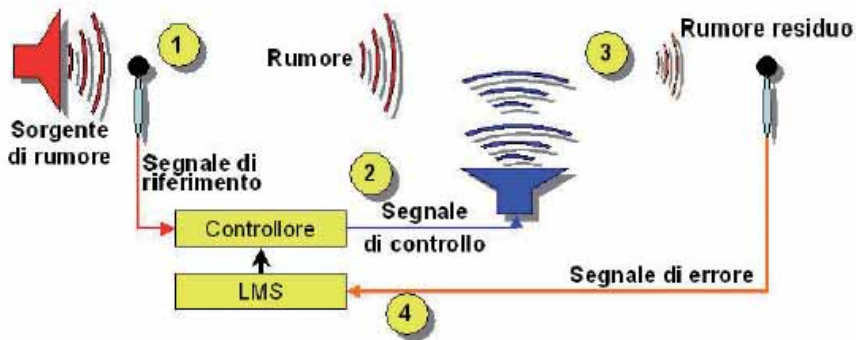
L'idea alla base del controllo attivo è quella di elidere l'onda emessa da una sorgente primaria (la fonte del disturbo) sovrapponendole un'onda generata da una sorgente pilotata, di pari ampiezza e frequenza, ma sfalsata di 180°, in modo da sfruttare l'interferenza distruttiva dei due segnali.

Schematicamente un sistema per il controllo attivo del rumore è formato da tre differenti blocchi: i sensori, la scheda e l'elettronica per la digitalizzazione e elaborazione dei segnali e gli attuatori.

Il segnale di rumore, acquisito dai sensori, è elaborato da una scheda digitale in tempo reale che ricostruisce un contro-segnale diffuso dagli attuatori per elidere il disturbo. Il segnale residuo è acquisito da altri microfoni per verificare l'efficienza del controllo (Figura 63).

La scheda digitale utilizza appositi algoritmi che permettono al sistema di adattarsi alle variazioni delle sorgenti di disturbo, alle condizioni dinamiche o allo stato di usura dei materiali.

Figura 63 - *Le fasi del controllo attivo del rumore* [da Progetto TERIA (I.T.C.-C.N.R.), <http://www.teria.itc.cnr.it/>]



Gli allestimenti sperimentali, proposti dai partner europei che hanno preso parte al progetto, sono giunti a soluzioni attuabili nel breve, medio e lungo periodo, anche in relazione alle diverse esigenze dei siti in cui sono stati compiuti gli studi.

I dispositivi messi a punto e proposti all'interno del progetto sono stati:

- *Sistema di ventilazione a controllo attivo e passivo ideato da CSTB (Francia):*

Applicazione: serramento di tipo tradizionale ma ad alto isolamento acustico passivo.

È una finestra tradizionale in legno e con vetrate isolanti sotto cui sono stati applicati tre condotti per il ricambio dell'aria; all'interno dei tre condotti si effettua il controllo attivo sul rumore proveniente dall'esterno, in occasione dei decolli dalla pista dell'aeroporto verso cui la finestra è affacciata.

Obiettivo: fornire una soluzione che combina un sufficiente ricambio d'aria (comfort termico) con un discreto livello di isolamento acustico atto a proteggere dal rumore aeroportuale (comfort acustico).

Approccio: la finestra rimane chiusa e vengono aggiunte diverse bocchette che forniscono la ventilazione, assicurando l'isolamento acustico ottenuto combinando il controllo attivo e passivo; quest'ultimo sarà aumentato ottimizzando sia il serramento che gli elementi edili circostanti.

Prestazione acustica attesa con controllo attivo: incremento dell'isolamento acustico a ricambio d'aria aperto di almeno 10 dB(A).

Raggiungimento dell'obiettivo: breve termine.

- *Finestra attiva ideata dal LEAM (Spagna):*

Applicazione: serramento di tipo tradizionale a medio isolamento acustico passivo.

Obiettivo: finestra che assicuri una sufficiente ventilazione, mantenendo contemporaneamente un sufficiente isolamento acustico.

Soluzione proposta: la ventilazione è attuata aprendo la finestra e il controllo attivo agisce sull'apertura più piccola possibile. In alluminio, dotata di apertura a ribalta e affacciata anch'essa verso la pista. Il controllo attivo è attuato tramite altoparlanti applicati all'esterno, sopra la finestra, e agisce sullo spazio determinato dall'apertura a ribalta; la stessa apertura garantisce il ricambio dell'aria.

Prestazione acustica attesa con controllo attivo in funzione: raggiungimento della prestazione migliore col minor numero possibile di sensori e con l'uso di una elettronica semplificata.

Raggiungimento dell'obiettivo: medio termine.

- *Barriera attiva ideata da LMA-CNRS (Francia):*

Applicazione: il controllo attivo su di uno spazio esterno.

Obiettivo: realizzare una barriera acustica attiva che agisca in maniera analoga a una barriera fisica tradizionale.

Soluzione proposta: la barriera attiva è costituita da una rete di 64 altoparlanti montati su una struttura di circa 5 x 5 m, orientata verso la sorgente disturbante e posta a protezione di una terrazza di un'abitazione; la struttura può essere orientata verso la pista e verso la traiettoria di decollo della pista.

Prestazione acustica attesa con controllo attivo in funzione: un abbassamento del livello sonoro esterno almeno superiore a 3 dB(A).

Raggiungimento dell'obiettivo: lungo termine.

- *Finestra attiva ideata da ITC-CNR (Italia):*

Applicazione: controllare il livello sonoro interno a una stanza, avente un serramento di tipo tradizionale, a medio isolamento acustico passivo.

Obiettivo: realizzare un controllo attivo funzionante in condizioni di finestra aperta e chiusa.

Soluzione proposta: la configurazione iniziale prevede una struttura modulare allo scopo di soddisfare un gran numero di situazioni; si prevede l'utilizzo di altoparlanti sia all'esterno del serramento sia all'interno della stanza e si prevedono diversi interventi di tipo passivo per ottimizzare l'assorbimento acustico.

La finestra è di alluminio con apertura scorrevole, affacciata verso la pista di decollo; il controllo attivo viene eseguito in condizioni di finestra aperta, agendo tramite altoparlanti esterni, posti lateralmente rispetto allo scorrevole apribile. È previsto anche un controllo supplementare all'interno della stanza, tramite un altoparlante posto in un angolo.

Raggiungimento dell'obiettivo: lungo termine. Dal punto di vista dell'attuazione pratica si tratta senz'altro del progetto più ambizioso.

5.4 Bibliografia

Berglund B., Lindvall T., Schwela D.H., *Guidelines for Community Noise*, World Health Organization, 1999

EU Commission W.G.5 abatement, *Inventory of noise mitigation method*, Directorate-General: Environment, Policy area: Noise, 2002.

EU Commission, *Sustainable urban transport plans, preparatory document in relation to the follow-up of the thematic strategy on the urban environment*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007 ISBN 978-92-79-06955-0.

Licitra G., *Il D.P.C.M. 5.12.1997: determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*, Prime Note, Anno IX, Vol. 2, 1998, pag- 255-59.

Memoli G., Paviotti M., Kephelopoulos S., Licitra G., *Testing the acoustical corrections for reflections on a façade*, Applied Acoustics, Volume 69, Issue 6, J 2008, Pages 479-495.

Mino G., Di Liberto C.M., *Stato dell'arte degli interventi sul mezzo ricettore e di propagazione per la mitigazione delle vibrazioni generate da sistemi di trasporto su ferro*, Atti del 17° convegno nazionale SIIV, Enna settembre 2008.

Regione Toscana, Direzione Generale del Diritto alla Salute e delle Politiche di Solidarietà e Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali, Gruppo di Lavoro Regionale Clima Acustico, *Linee guida per la valutazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*, Edizioni Regione Toscana, 2006.

Scamoni F., Valentini F., *Concluso il progetto TERIA sul rumore di origine aeroportuale*, dalla rivista L'Edilizia Speciale ITC, v. 147, 2006.

Principali siti consultati

<http://circa.europa.eu/Public/irc/env/Home/main>, portale CIRCA: (Collaborative Workspace with partners of the European Institutions about Environment - Communication & Information - Resource Centre Administration).

<http://ec.europa.eu/environment/noise/>, portale della Commissione Europea - Finestra Ambiente/Rumore.

<http://leopoldo.pjxp.com>, progetto LEOPOLDO (Predisposizione delle linee guida per la progettazione e il controllo delle pavimentazioni stradali per la viabilità ordinaria).

<http://silviaproject.com>, progetto SILVIA: (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control).

<http://www.arpat.toscana.it>, sito Web di ARPAT, Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana.

<http://www.calm-network.com>, progetto CALM: (Coordination of European Research for Advanced Transport Noise Mitigation).

<http://www.ciriaf.it>, Portale del Centro Interuniversitario di Ricerca sull’Inquinamento da Agenti Fisici.

<http://www.defra.gov.uk>, Department for policy and regulations on the environment, food and rural affairs - UK Government.

<http://www.eea.europa.eu/themes/noise>, portale dell’Agenzia Europea per l’Ambiente – Tematica: Rumore.

<http://www.imagine-project.org>, progetto IMAGINE: (Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment).

<http://www.noiseinthecity.eu>, atti del convegno “Noise in the City” tenutosi ad Amsterdam, (Netherlands) il 14.03.2008.

<http://www.qcity.org>, progetto Q-City: (Quiet City Transport).

<http://www.silence-ip.org>, progetto SILENCE: (Quieter Surface Transport in Urban Areas).

<http://www.stairrs.org>, progetto STAIRRS: (Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing measures for Railway Systems).

<http://www.teria.itc.cnr.it>, Progetto TERIA: (Territorial Insert of Airport) identification of solutions aiming at protecting against airport noise.

<http://www.workinggroupnoise.web-log.nl>, weblog of the Working Group Noise EUROCITIES (network of major European cities).

6 LE AREE QUIETE

6.1 Riferimenti normativi

La *Direttiva Europea 2002/49/CE* ha insistito molto sull'importanza di preservare quelle che vengono definite come *aree di quiete*: essa, infatti, richiede agli Stati Membri di sviluppare i *Piani di Azione*, anche al fine di proteggere le aree ad oggi ancora silenziose da ogni incremento dei livelli sonori futuri.

All'Art.1, dove vengono fissati gli obbiettivi della Direttiva, si cita, in particolare, la seguente azione per evitare, prevenire o ridurre l'esposizione al rumore:

c) l'adozione da parte degli Stati Membri di Piani di Azione, in base ai risultati della mappatura acustica, allo scopo di evitare e ridurre il rumore ambientale laddove necessario [...], nonché di conservare la qualità acustica dell'ambiente quando questa è buona.

Il riferimento è chiaramente rivolto alle zone silenziose, ma la definizione delle stesse viene data in seguito, all'Art.3:

l) zona silenziosa di un agglomerato: una zona, delimitata dalla competente autorità, che non sia esposta a valori di L_{DEN} o di un altro descrittore acustico appropriato, provenienti da qualsiasi sorgente, superiori a un determinato livello, fissato dallo Stato Membro;

m) zona silenziosa in aperta campagna: una zona, delimitata dalla competente autorità, che non risente del rumore.

Sono definite tali le zone non influenzate dalle emissioni sonore prodotte dalle infrastrutture principali di trasporto o da industrie. La definizione data dalla Direttiva è dunque più che altro di tipo qualitativo e non sono fornite indicazioni né sul descrittore acustico da utilizzare per caratterizzare le aree quiete, né sui valori limite da adottare, ma con riferimento al DPCM 14/04/97, le zone silenziose possono ragionevolmente ritenersi coincidenti con le aree di particolare tutela, appartenenti alla Classe I - Aree particolarmente protette.

Anche a livello di ricerca, le indicazioni su questo tema si limitano al momento ad alcuni suggerimenti e non sono condivisi criteri formali di individuazione delle zone silenziose [Cfr. 6.2.3 – Criteri europei per definire le aree quiete]. In attesa di ulteriori specificazioni, si rimanda all'Autorità competente la definizione dei criteri per l'identificazione e la delimitazione di tali aree.

All'Art.11 della Direttiva, *Riesame e relazioni*, si afferma che:

- 1. Entro il 18 luglio 2009 la Commissione presenta al Parlamento Europeo e al Consiglio una relazione sull'attuazione della presente Direttiva.*
- 2. La relazione esamina in particolare la necessità di ulteriori azioni a livello*

comunitario in materia di rumore ambientale, e, se necessario, propone strategie di attuazione su aspetti quali:

[...] c) la protezione delle zone silenziose in aperta campagna.

In Inghilterra il Ministero per le Politiche Agricole e Forestali (D.E.F.R.A.) ha richiesto al *Transport Research Laboratory* (T.R.L.) lo sviluppo di criteri appropriati per l'identificazione delle aree quiete negli agglomerati e nelle zone rurali, in accordo con gli obiettivi della END e con le altre politiche comunitarie. Ne emergono i seguenti punti.

- È riduttivo definire le aree quiete solamente in base a criteri acustici: nelle aree urbane, potrebbero essere definite tali le zone in cui il livello sonoro rimane inferiore ai 55 dB(A), tuttavia, possono intervenire ulteriori criteri, come la qualità del paesaggio e gli accessi pubblici all'area.
- Possono concorrere ulteriori criteri quantitativi legati alle distanze dalle zone rumorose.

Gli Stati Membri stanno cominciando ad inquadrare il problema, ma non esiste ancora una definizione comune: i criteri per i valori limite variano nel range dai 45 ai 55 dB(A) negli agglomerati e dai 40 ai 45 dB(A) per l'aperta campagna e sono basati su differenti indicatori di rumore, tra cui L_{DEN} e $L_{A, EQ, T}$ con T variabile.

Per identificare queste aree occorre dunque adottare una definizione più ampia di quello meramente fisico-quantitativa: sconfinando nei campi della psicologia, della psicoacustica e perfino dell'architettura.

Gli studi oggi esistenti hanno accertato che le aree quiete svolgono un importante ruolo sulla salute e sul benessere pubblico, grazie agli effetti positivi dei suoni naturali. Nel 2006, il Ministero della Salute Olandese ha pubblicato un rapporto sull'importanza delle aree quiete per la salute umana, affermando che la presenza di tali aree nelle zone urbane può, in qualche modo, parzialmente bilanciare gli effetti nocivi del rumore e delle altre sorgenti di stress nelle città.

Le aree quiete urbane hanno, dunque, il compito di agire anche sugli aspetti psicoacustici di un individuo, come dimostrato da studi svedesi, norvegesi, olandesi e italiani [Cfr. Bibliografia 6.4]. Ad esempio, si hanno notevoli benefici psicologici se si entra in un edificio da una facciata silenziosa. Gli stessi studi propongono di abbassare il limite per le aree quiete in ambito urbano fino a 50 dB(A), auspicando ulteriori riduzioni future.

Le aree quiete rurali sono quelle aree libere dai rumori antropici, in cui gli studi citati propongono di fissare un tetto massimo all'emissione sonora a 40 dB(A).

Nelle mappe acustiche strategiche relative agli agglomerati, realizzate secondo le

disposizioni della Direttiva e del D. Lgs. 194 del 19/08/05, non è prevista ad oggi una diversificazione per le zone con valori d'esposizione inferiori a 55 dB, che sarebbe invece opportuno inserire al fine di un'automatica identificazione di zone candidate ad essere *quiete*. Tale limite risulta poi eccezionalmente alto per le aree rurali, considerata la loro natura, per le quali si propone una classificazione 'traslata più in basso' rispetto alle mappe cittadine.

6.2 Identificazione delle aree quiete

Dagli studi precedentemente citati emerge anche che, sebbene sia difficile far adottare a tutti gli Stati Membri una definizione comune per le aree quiete negli aggregati urbani e in aperta campagna, occorre almeno definire procedure comuni per la loro identificazione, che si adattino con flessibilità alle varie situazioni nazionali.

Lo studio del T.R.L. ha proposto le seguenti procedure per identificare le aree quiete in Gran Bretagna:

- una *procedura a breve termine*, adatta ad identificare negli agglomerati le aree quiete che sono state presumibilmente trattate nei Piani di Azione presentati entro la prima scadenza (luglio 2008);
- una *procedura a lungo termine*, che identifichi ulteriori aree quiete urbane da proteggere, mediante la seconda fase dei Piani di Azione (luglio 2013). Questa procedura, maggiormente approfondita rispetto alla precedente, può essere anche applicata all'identificazione di aree quiete in aperta campagna. In quest'ultimo caso possono essere definite come tali, aree rurali, secondo una definizione più ampia di quella data dall'Art.3 della END.

In entrambe le procedure, ogni limite massimo deve essere basato sul livello di rumore combinato, derivante da tutte le sorgenti di rumore di cui tratta la Direttiva, che prevalgono in un determinato periodo di riferimento. In genere, quest'ultimo è quello diurno, periodo in cui si ha la fruizione delle aree in questione dalla maggior parte di persone, sebbene sia comunque importante monitorare gli indicatori acustici anche nei periodi serali e notturni.

6.2.1 La procedura a breve termine

Partendo da un database delle possibili aree, si procede alla loro scrematura in base ai seguenti filtri:

- filtro del livello sonoro: in genere viene usato l'indicatore acustico L_{DAY} che deve

rimanere al di sotto dei 55 dB;

- filtro della superficie minima: viene proposto che l'area in questione abbia una superficie minima di 9 ettari;
- filtro della minima area silenziosa: almeno il 50 % della superficie (4,5 ettari) deve presentare un livello di rumore inferiore a 55 dB L_{DAY} , per permettere ad un'area anche significativamente superiore, di almeno 9 ettari, di essere definita un'area quieta.

A questi tre importanti filtri, se ne possono aggiungere altri, creando complessivamente la seguente lista:

1. filtro geografico, (ovvero l'area di quiete dovrebbe rientrare entro i confini amministrativi di un agglomerato);
2. filtro dell'uso del suolo, (ovvero gli utilizzi concessi nell'area devono essere compatibili con la particolare silenziosità cercata);
3. filtro del livello sonoro, (ovvero si richiede il non superamento nell'area designata di 55 dB di L_{DAY});
4. filtro dell'uso del suolo dettagliato (ovvero, un filtro con maggiori specificazioni rispetto a quello del punto 2, ad esempio se al punto due venivano filtrati i parchi pubblici, al punto 4 possono essere selezionati i parchi pubblici d'interesse storico o artistico);
5. filtro dell'area minima, (vedi sopra);
6. filtro della minima area silenziosa, (vedi sopra);
7. filtro della minima area allargata, (qualora dopo l'applicazione dei filtri illustrati il numero di aree quiete non sia gestibile è possibile applicare un ultimo filtro allargando la superficie minima dell'area oltre i 9 ettari.

Si rimanda allo specifico documento per una trattazione più approfondita.

Il procedimento è il seguente:

1. Identificazione, mediante una lista, dei possibili siti candidati a divenire ufficialmente aree quiete.
2. Applicazione dei filtri al database dei luoghi candidati.
3. Gestione dei siti rimasti dopo l'applicazione dei filtri.
4. Verifica delle aree di quiete, da parte di un ente di controllo del territorio.

6.2.2 La procedura a lungo termine

I filtri sono simili a quelli della procedura precedente, ma si tiene conto anche della qualità del paesaggio, dei pubblici accessi, del piacere che si prova nell'usufruire della zona, degli usi del suolo.

Il procedimento è il seguente:

1. Identificazione, mediante una lista, dei possibili siti candidati a divenire ufficialmente aree quiete, inizialmente sulla base degli usi del suolo delle stesse e delle proposte dei soggetti coinvolti (Autorità, Enti territoriali, pubblico). Questa fase dovrebbe tener conto anche della qualità del paesaggio nelle aree candidate, del livello di accessibilità al pubblico, dell'apprezzamento dell'area da parte dei cittadini.
2. Individuazione di siti in cui i livelli di rumore registrati attualmente consentirebbero la creazione di aree quiete in ambito urbano.
3. Individuazione di tutti i siti potenzialmente candidati a divenire aree quiete.
4. Applicazione dei filtri proposti precedentemente.
5. Assegnazione di un indice di priorità di realizzazione e tutela delle aree.
6. Controllo della lista delle aree di quiete candidate, applicando gli eventuali vincoli di carattere legislativo o finanziario posti dalle Autorità locali.

Negli *agglomerati* i luoghi candidati ad essere considerati aree quiete possono essere: parchi urbani, piazze, cimiteri, i giardini degli edifici di culto, campi sportivi, le zone adiacenti al lungomare e tutti i siti collocati in classe acustica 1 dal Piano di Classificazione Acustica Comunale.

Nelle *zone rurali* sono ovvi candidati i parchi naturali e le zone naturali di particolare pregio, le zone predestinate a pic-nic, le zone adiacenti a fiumi e laghi, i parchi archeologici.

Per quanto riguarda l'*accessibilità* alle aree quiete, spesso si arriva ad affrontare l'accesso all'area come un problema per la sua stessa preservabilità; per raggiungere alcune aree naturali che di per sé sarebbero naturalmente silenziose e isolate, la popolazione ha bisogno di mezzi di locomozione, spesso a motore, e di parcheggi, portando dunque rumore proprio nelle zone in cui va per cercare tranquillità.

Occorre, pertanto, prevedere nella pianificazione delle aree quiete, delle modalità di trasporto pubblico particolarmente silenzioso per raggiungerle, e, in caso si costruiscano strade asfaltate, fare uso di pavimentazioni eufoniche, in modo da preservare il più possibile il silenzio e gli specifici *rumori naturali* dell'area in questione.

Figura 64 - *Procedura per identificare le aree quiete (solo per gli agglomerati) da usare nel breve periodo [riadattato dalla figura 3.1 delle raccomandazioni Research into quiet areas, recommendations for identification, Defra Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK, 2006]*

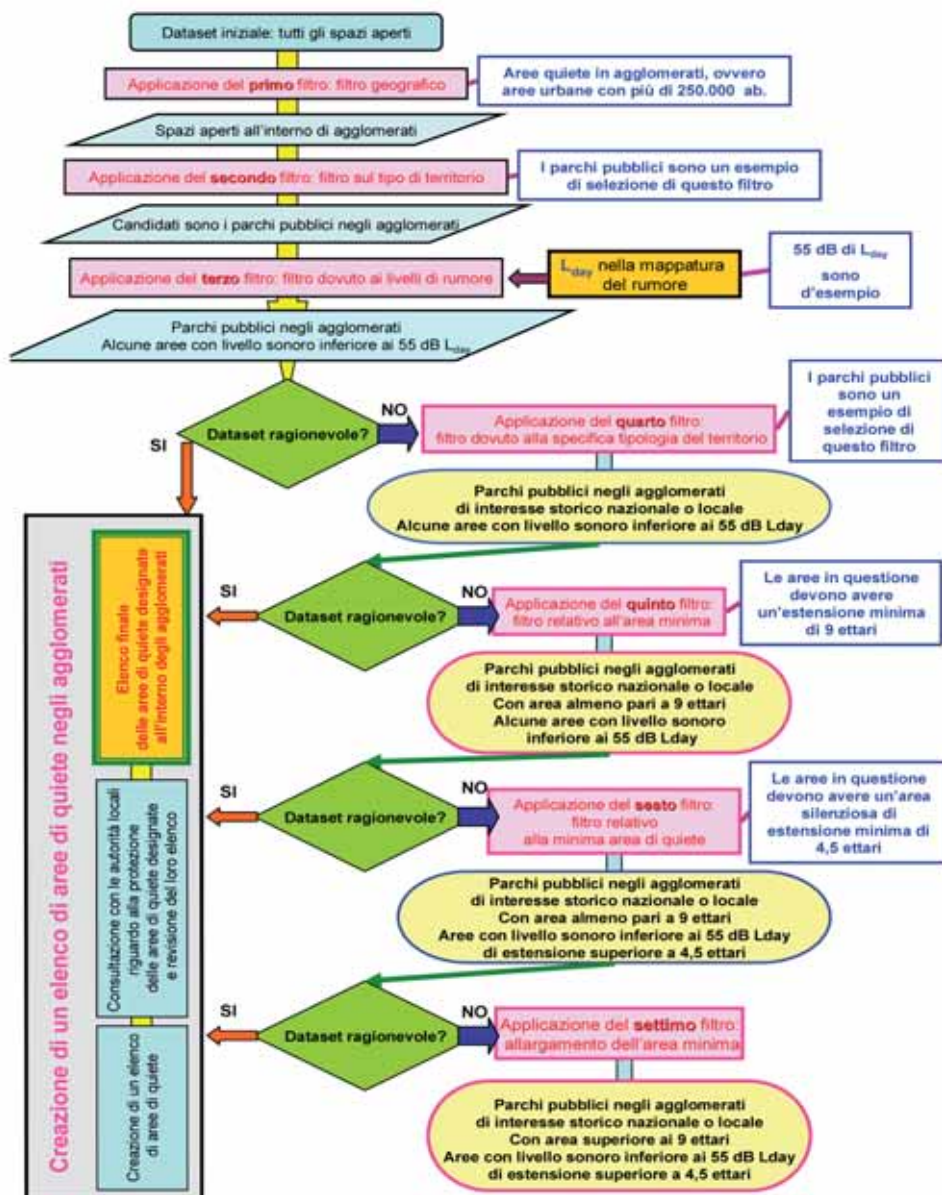
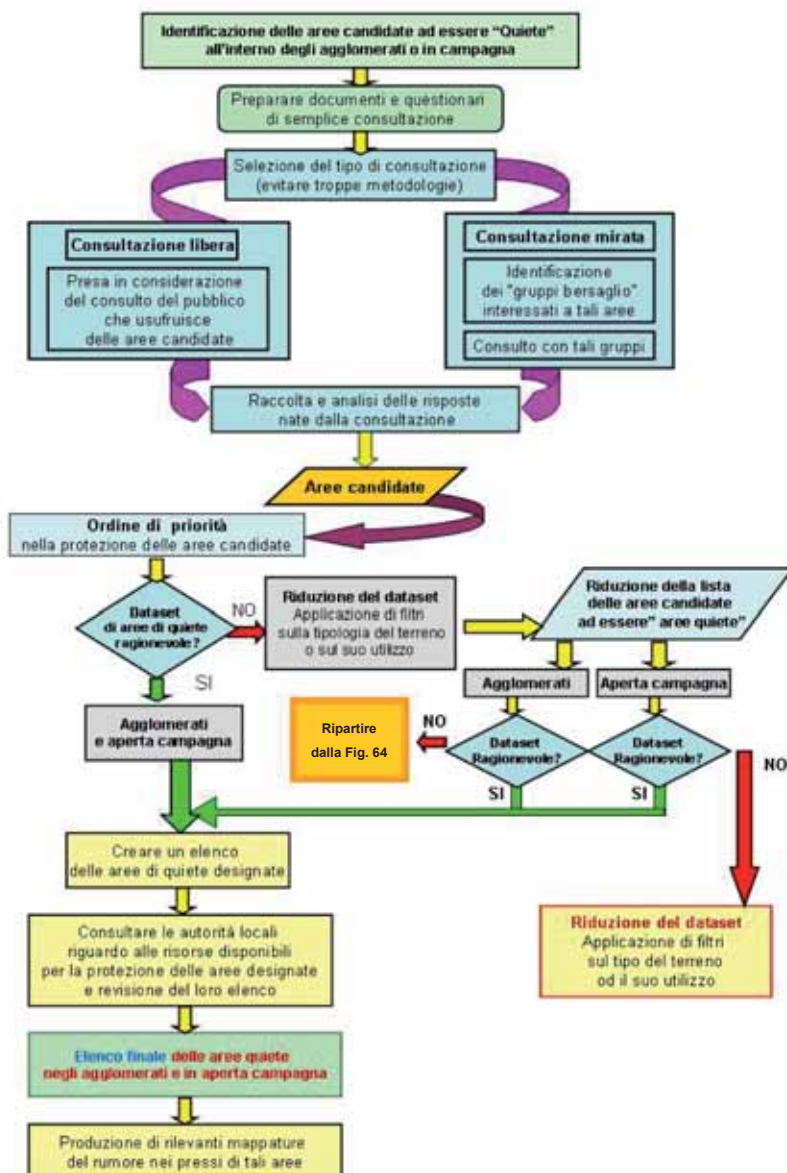


Figura 65 - *Procedura per identificare le aree quiete (per gli agglomerati e le zone rurali) da usare nel lungo periodo [riadattato dalla figura 3.3 delle raccomandazioni Research into quiet areas, recommendations for identification, Defra Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK, 2006]*



6.2.3 Criteri europei per definire le aree quiete

Segue ora una breve rassegna degli studi europei ed un breve riassunto dei criteri proposti agli Stati Membri per definire le aree quiete:

6.2.3.1 Criteri basati sui livelli sonori

Tabella 108 - *Paragone dei criteri acustici massimi raccomandati per le aree quiete in alcuni studi europei*

Ubicazione Aree quiete	Symonds Group Ltd (2003)	Waugh et al. (2003)	Karvinen & Savolaa (2004)
Agglomerati	50 dB L_{DEN}		40 dB $L_{Aeq,18h}$
Aperta campagna	40 dB $L_{Aeq,24h}$	30 dB $L_{A90,1h}$	30-35 dB $L_{Aeq,18h}$ (aree quiete naturali)
			35-40 dB $L_{Aeq,18h}$ (aree quiete rurali)

Tabella 109 - *Paragone dei criteri acustici massimi raccomandati per le aree quiete in alcuni studi europei*

Ubicazione Aree Quietie	END (2002)	Norvegia (Miljovern 2004)	Danimarca (Bendtsenn 2005)	Olanda (RIVM & CBS 2001)	Finlandia (Decision 993/1992)	Italia (Poli & Callegari 2003)
Agglomerati	55 dB L_{DEN}^1	50 dB L_{DEN}	45 dB L_{Aeq}^2	----	55 dB $L_{Aeq,18h}^4$	50 dB $L_{Aeq,06:00-22:00}$
						40 dB $L_{Aeq,22:00-06:00}$
Aperta campagna	---	40 dB L_{DEN}	---	40 dB $L_{Aeq,18h}^3$	45 dB $L_{Aeq,18h}^5$	----

Note: ¹Limite inferiore per le mappe acustiche. ²Questo valore è solo una proposta degli autori. ³E' implicito che il limite sia solo per l'aperta campagna. ⁴Aree ricreative negli agglomerati. ⁵Aree ricreative e aree naturali.

6.2.3.2 Criteri basati sulla distanza

Tabella 110 - *Paragone dei criteri basati sulla distanza delle aree quiete da vicine infrastrutture riportati in alcuni studi europei*

Sorgente di rumore	Aree Quiete		
	Waugh <i>et al.</i> (2003)	Karvinen & Savola (2004)	CPRE (non datato)
Autostrade	7,5 km	7,5 km	4 km / 2km
Superstrade	5 km	7,5 km	1 km
Strade regionali	----	7,5 km	1 km
Strade locali	----	7,5 km	----
Linee ferroviarie	----	7,5 km	1 km
Trasporti aerei	----	7,5 km	----
Circuiti	----	7,5 km	----
Aree urbane > 10.000 persone	15 km	----	4 km
Aree urbane > 5.000 persone	10 km	----	2 km
Aree urbane > 1.000 persone	3 km	----	----
Industrie principali	10 km	----	----
Industrie locali	3 km	----	----
Centrali elettriche	----	----	3 km

Il criterio della distanza non tiene conto dell'orografia del sito; al contrario, questo aspetto è molto importante, dato degli ostacoli naturali come colline e rilievi possono influenzare molto la propagazione sonora. Anche il tipo di suolo (terreno erboso o roccioso, specchi d'acqua) ha una rilevante influenza.

Si ritiene pertanto che i dati contenuti nella tabella 110 siano soltanto indicativi.

6.3 La qualità del paesaggio sonoro

Le maggior parte delle aree quiete coincidono formalmente con quelle zone dove, in genere, una persona può andare a ristorare il corpo e lo spirito. In particolare parchi urbani e aree verdi sono luoghi adatti agli esercizi fisici o al riposo mentale e quindi la loro frequentazione può costituire una misura salutistica contro lo stress quotidiano e le varie forme di inquinamento, da quello acustico a quello dell'aria.

È dunque doveroso preservare la qualità sonora di queste aree, dove il cinguettio degli uccellini o il suono generato da una fontana prendono il posto dei rumori del traffico. Ma queste aree, con il loro silenzio e i loro suoni naturali, non sono le uniche da preservare.

Estendendo il discorso ad un livello più generale, possiamo dire che abbiamo inquinamento sonoro quando non ascoltiamo più con attenzione, non facendo più caso a quei suoni sgradevoli che sono i rumori, ai quali ormai siamo abituati. In questa ottica, siamo portati a identificare la qualità del paesaggio sonoro con la riduzione del rumore. Questo aspetto però non è esaustivo: manca la componente positiva dei suoni, ovvero il preservare i suoni 'buoni', suoni da salvare, privilegiare e magari moltiplicare.

Occorre dunque studiare i suoni/i rumori in una maniera più approfondita, per capire quali sono gli uni e gli altri, per creare e progettare il *paesaggio sonoro*. Il design acustico diventa dunque una materia interdisciplinare, punto d'incontro tra ricerca scientifica, scienze sociali e produzione artistica.

Uno studio eseguito su sedici aree quiete a Stoccolma dall'Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institutet, Department of Psychology of Stockholm University e dal Department of Information Technology of Ghent University, presentato all'International Congress on Acoustics a Madrid, nel settembre 2007, ha dimostrato la stretta relazione tra certi indicatori acustici e la qualità sonora delle zone in esame.

Il progetto è stato sviluppato seguendo due tematiche differenti, i cui risultati sono stati poi integrati e studiati in unione: il primo riguarda lo studio dell'uso di una serie di indicatori acustici ($L_{A, EQ}$, L_{A50} , L_{A95} , numero di eventi, ecc) e delle relative misure; il secondo per elencazione, ma di fatto contemporaneo al primo, riguarda invece l'analisi della risposta della popolazione. In pratica, è stato fatto riempire un questionario a un campione di popolazione, sulla qualità sonora dell'ambiente in quell'istante, analizzando diversi aspetti e usufruendo di diverse scale di valori. Ne è emerso, ad esempio, che vi è una stretta relazione tra la qualità sonora e la riconoscibilità dei suoni (o rumori) uditi e che ai suoni antropici, (giudicati disturbanti), vengono nettamente preferiti i suoni naturali, (giudicati rilassanti). È risultato, inoltre, che l'indicatore L_{50} (livello di pressione sonora superato nel 50%

del tempo) è migliore del L_{EQ} (livello di pressione sonora equivalente continuo) per rappresentare la qualità sonora percepita nelle aree quiete e che le diverse pesature temporali e i contenuti spettrali delle misure non incidessero poi molto sulla qualità percepita del paesaggio sonoro. Il L_{EQ} , in genere misurato sulle 24 ore o sui periodi di riferimento diurno e notturno, è preferibile per stimare livelli sonori abbastanza omogenei durante il periodo di riferimento.

Per descrivere i rumori presenti nell'ambiente occorre andare oltre il semplice calcolo del livello equivalente, focalizzando l'attenzione anche su altri parametri.

Dal punto di vista temporale i rumori possono essere suddivisi in tre tipologie: continuo, intermittente e impulsivo.

In genere il rumore continuo è quello tipico del traffico a distanza, detto *tappeto sonoro*. Questa sorgente è solitamente 'invisibile'. In genere, esso è quello più tollerato (c'è, ma non si vede)

Il rumore intermittente, in ambito urbano, è normalmente legato al passaggio dei mezzi (auto, bus, camion...) ed è in genere 'visibile' e quindi meglio identificabile.

I rumori impulsivi sono quelli dati dai picchi sonori, come i clacson.

Un'altra classificazione dei rumori si può fare in base al loro contenuto in frequenza: generalmente, a parità di livello sonoro misurato in dB(A), le basse frequenze sono più disturbanti delle alte.

Anche la volontarietà dell'esposizione ai vari suoni influenza psicologicamente l'ascoltatore: appartiene alla comune esperienza come un alto livello sonoro di musica in un appartamento durante una festa da un lato diverte i festeggianti, dall'altro può recare disturbo ai vicini non invitati.

Molto interessante è anche la tecnica del *noise masking*, letteralmente, mascheramento sonoro, in cui i suoni disturbanti sono letteralmente coperti da altri suoni gradevoli, per mezzo di apparecchi di diffusione. Questa tecnica finora utilizzata in esterno, solo con suoni d'origine naturale, nei cosiddetti *giardini sonori*, fa sì che il visitatore non percepisca più le strade trafficate a ridosso del giardino, ma ne senta solo i suoni naturali. Viene così raggiunto lo scopo di creare un'area dotata di una certa "piacevolezza acustica", un "rifugio sonoro", intervenendo in maniera attiva sulla dinamica temporale e sulla frequenza della pressione sonora, mascherando le sorgenti, senza spegnerle o alterarne l'emissione.

6.4 Bibliografia

Botteldooren D., De Coensel B., *Quality assessment of quiet areas: a multi-criteria approach*, Atti del convegno Eurnoise, Tampere 2006.

DEFRA Published by the Department for Environment, Food and Rural Affairs *Research into quiet areas: Recommendations for identification*, London 2006.

Fillery M., Griffiths J., Bermond R., *The strategic role of relatively quiet areas*, Atti del Convegno Eurnoise, Napoli 2003.

Fillery M., Griffith J. *et al.*, *The strategic role of relatively quiet areas*, Atti di Eurnoise 2003, Napoli 2003.

Licitra G., Memoli G., *Noise indicators and hierarchical clustering in soundscapes*, Atti del convegno Internoise, Rio de Janeiro 2005.

Licitra G., Memoli G., Botteldooren D., De Coensel B., *Traffic noise and perceived soundscapes: a case study*, Proceeding of Forum Acustica, Budapest 2005.

Licitra G., Memoli G., Nencini L., Cerchiai M., *Mapping soundscapes in urban quiet areas*, 4th Joint meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan, Honolulu 2006.

Licitra G., Memoli G., Cerchiai M., *La descrizione dei soundscapes: indicatori a confronto*, 34° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica, Firenze 2007.

Memoli G., Licitra G., Cerchiai M., Noll M., Palazzuoli D., *Measuring soundscape improvement in urban quiet areas*, Atti da "Conference Widening Horizons in Acoustics", University of Reading, England, 2008.

Memoli G., Licitra G., Cerchiai M., *Perspectives for a strategical mapping of soundscapes*, Atti del congresso Acoustics 2008, Parigi 2008.

Morgan P.A. *et al.*, *Research into quiet areas, recommendations for identification*, NSCA (National Society for Clean Air and Environmental Protection) Noise Policy Briefing "Quiet areas", 2007.

Murray Schafer R., *Il paesaggio sonoro*, Ricordi-Unicopli editore, 1985.

Nilsson M. E. e Berglund B., *Soundscapes in city parks and suburban green parks*, Atti di Eurnoise, Tampere 2006.

Nilsson M.E., Botteldooren D., De Coensel B., *Acoustic indicators of soundscape quality and noise annoyance in outdoor urban areas*, Atti del 18° Congresso

Internazionale di Acustica (ICA), Madrid 2007.

Semidor C. *et al.*, *Recommendations for Soundscape Design*, SILENCE EU project, 2007.

Van den Berg M. M. H. E., Van den Berg G. P., *Quiet areas: health issues and criteria*, Atti di Euronoise 2006, Tampere 2006.

Waugh D. *et al.*, *Environmental quality objectives, noise in the quiet areas*, Environmental Protection Agency, Ireland 2003.

Principali siti consultati

<http://circa.europa.eu/Public/irc/env/Home/main>, portale CIRCA: (Collaborative Workspace with partners of the European Institutions about Environment – Communication & Information - Resource Centre Administration).

<http://ec.europa.eu/environment/noise/>, portale della Commissione Europea - Finestra Ambiente/Rumore.

<http://silviaproject.com>, progetto SILVIA: (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control).

<http://www.arp.at.toscana.it>, sito Web di ARPAT, Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana.

<http://www.calm-network.com>, progetto CALM: (Coordination of European Research for Advanced Transport Noise Mitigation).

<http://www.eea.europa.eu/themes/noise>, portale dell'Agenzia Europea per l'Ambiente – Tematica: Rumore.

<http://www.imagine-project.org>, progetto IMAGINE: (Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment).

<http://www.noiseinthecity.eu>, atti del convegno “Noise in the City” tenutosi ad Amsterdam, (Netherlands) il 14.03.2008.

<http://www.qcity.org>, progetto Q-City: (Quiet City Transport).

<http://www.silence-ip.org>, progetto SILENCE: (Quieter Surface Transport in Urban Areas).

<http://www.stairrs.org>, progetto STAIRRS: (Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing measures for Railway Systems).

*Sentivo e speravo di poter condurre
altre persone alla consapevolezza che
i suoni dell'ambiente in cui vivono
rappresentano una musica molto più
interessante rispetto a quella che
potrebbero ascoltare ad un concerto*

John Cage
(1912-1992)



ARPAT

Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

Via Nicola Porpora, 22 - 50144 Firenze - tel. 055.32061
www.arpat.toscana.it