

IL PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO A MODENA: METODOLOGIA, EFFETTI, PROSPETTIVE

Daniela Campolieti (1), Daniele Bertoni (2), Elisabetta Bonucchi (1), Alberto Pirondi (1)

1) Comune di Modena

2) AIA-GAA

1. Premessa

I 10 anni trascorsi dalla approvazione della Classificazione acustica e del Piano di risanamento hanno rappresentato per l'Amministrazione Comunale una esperienza importante ed innovativa sia per quanto attiene alle procedure di pianificazione che alle politiche di riduzione del rumore.

Si può oggi affermare che qualcosa è cambiato nelle procedure gestionali dell'ente perché è entrata nella consuetudine la programmazione di interventi per la mitigazione del rumore secondo le indicazioni del Piano di risanamento o delle sue varianti e perché tale programmazione, ove possibile, avviene in modo integrato con altri interventi sul territorio, tipicamente quelli di manutenzione delle strade.

Qualcosa è cambiato anche nel modo di pensare di chi interviene per modificare o costruire una strada in quanto è "normale" fare i conti con uno studio di impatto e con la esigenza o meno di realizzare opere di protezione acustica o di chi deve creare un'area residenziale e si pone il problema della compatibilità acustica e della sua verifica attraverso la documentazione di clima acustico.

Inoltre è divenuta prassi la progettazione acustica degli schermi, normalmente svolta all'interno dell'ente, prima della loro progettazione esecutiva così come il sottoporre a verifica preventiva del servizio ambientale che possiede le competenze in materia di acustica, l'elenco pianificato degli interventi di manutenzione stradale per decidere su quali tratti è opportuna la realizzare di asfalti a bassa rumorosità.

In teoria sono tutte cose ovvie che discendono dalla applicazione della normativa vigente, ma in realtà l'introduzione dei nuovi strumenti di pianificazione come appunto il Piano di risanamento acustico e le procedure di valutazione di clima e impatto acustico che interagiscono con la pianificazione urbanistica e della mobilità, come tutti sanno, fatica ad essere accettata in molte realtà locali.

Il motivo è che ci si trova a dovere fare i conti con vincoli ed elementi progettuali che tradizionalmente non erano considerati.

Soltanto un approccio pragmatico e di collaborazione tra i diversi settori del Comune può portare a soluzioni che hanno inevitabilmente un riscontro positivo in termini di migliore qualità degli insediamenti residenziali.

2. Il Piano di risanamento acustico approvato e la sua gestione

Il Comune di Modena approvò per primo in Italia il Piano di risanamento acustico nel febbraio del 1999, unitamente alla classificazione acustica costituendo un esempio di buona pratica che fu seguito negli anni successivi dalle città più attente ai problemi ambientali. Il Piano fu interamente sviluppato dagli uffici comunali (all'epoca non esistevano linee guida o indirizzi) facendo tesoro delle esperienze maturate a livello locale nel campo dell'acustica ambientale quali la mappatura acustica della città basata su misure della fine degli anni '80, l'indagine dose-effetto sul rumore da traffico del 1994 ed altre riguardanti il risanamento e la pianificazione acustica.

Fu redatto secondo le fasi seguenti:

- aggiornamento della mappatura acustica per la individuazione delle aree di criticità;
- ricognizione siti sensibili (scuole e luoghi di cura);
- individuazione priorità;
- studi di fattibilità degli interventi proposti attraverso progetti pilota;
- proposizione di interventi (alla sorgente, sul percorso e al ricettore).

Il Piano conteneva come elaborati finali:

- ubicazione delle nuove barriere su mappe e stima di massima di lunghezza e altezza;
- elenco tratti stradali sui quali rifare la pavimentazioni con manti a bassa rumorosità;
- elenco interventi di sostituzione o modifica di infissi in edifici scolastici esposti a >60 dBA di giorno e basata su misure effettuate a finestre aperte e chiuse;
- stima di massima degli investimenti per gli interventi previsti.

La stima delle priorità di intervento si basava sul superamento di valori soglia individuati attraverso lo studio dose-effetto richiamato.

Nella proposizione degli interventi fu dato risalto al fatto che essi soddisfacevano anche altre esigenze:

- zone a bassa velocità e rotatorie: riduzione del rischio;
- pavimentazioni a bassa rumorosità: miglioramento delle prestazioni meccaniche e della sicurezza;
- veicoli di trasporto pubblico a trazione elettrica: riduzione dell'inquinamento atmosferico;
- rifacimento serramenti nelle scuole: miglioramento sicurezza e isolamento termico.

Nel corso degli anni seguenti alla approvazione, essendo stati realizzati una parte degli interventi previsti dal Piano del 1999, ci si dovette confrontare con una situazione mutata ovvero con opere previste dal piano che, a causa degli intervenuti cambiamenti urbanistici, della mobilità e di destinazioni d'uso di aree ed immobili, non avevano più significato o non erano prioritarie, e viceversa con altre, non previste, delle quali si prospettava l'esigenza. Tra queste ultime opere di adeguamento di barriere acustiche in terra esistenti, tra le prime realizzate negli anni '90, che a causa di assestamenti o per difetti di progettazione mostravano lacune nella loro efficacia con conseguenti lamentele da parte dei residenti.

Inoltre era mutato anche il quadro normativo, essendo stati emanati i decreti per il rumore delle infrastrutture dei trasporti ed i relativi limiti e piani di contenimento.

D'altra parte è abbastanza evidente che anche il Piano di risanamento acustico, pur dovendo intervenire su situazioni dove è accertato un determinato stato di criticità, necessita, come tutti gli strumenti di pianificazione, di periodici aggiornamenti.

2.1 Adeguamenti del Piano in corso d'opera

Nel 2005, per dare una risposta ai problemi sopra richiamati, e soprattutto per stabilire una lista in ordine di priorità degli schermi ai fini della programmazione annuale delle opere pubbliche che si basasse su dati oggettivi è stata svolta una indagine che ha riguardato tutti i siti nei quali era previsto dal Piano di risanamento un intervento di schermatura non ancora realizzato e tutti quelli oggetto di segnalazione da parte dei cittadini nei quali era possibile la mitigazione attraverso l'inserimento di schermi.

In questi siti sono state condotte verifiche strumentali, con stazione mobile o presso abitazioni interessate, al fine di determinare i livelli di esposizione al rumore dei residenti.

Viene riportata la sola tabella 1, riguardante i casi prospicienti le strade comunali, dove si presentano i livelli misurati nei singoli ricettori, i limiti delle fasce di pertinenza stradale del DPR 142/2004, nelle quali tutti i punti rientrano, e il numero di residenti delle abitazioni direttamente esposte al fronte stradale. La lista è in ordine decrescente secondo l'indice di priorità P di cui al DM 29 novembre 2000.

L'indice P si basa sull'entità del superamento del limite (nel nostro caso sempre quello del DPR 142/2004) e del numero di persone esposte ed è così definito:

$$(1) \quad P = \sum_i R_i (L_i - L_i^*),$$

dove:

- R è il numero di persone esposte al livello equivalente di rumore ambientale L;
- L è il maggiore dei livelli equivalenti di rumore ambientale nell'area esaminata;
- L* è il valore limite di immissione per l'area esaminata.

$$\text{Per } (L_i - L_i^*) < 0 \Rightarrow (L_i - L_i^*) = 0 \Rightarrow P = 0$$

Tabella 1 – Ordine di priorità secondo l'indice P per assi viari gestiti dal Comune di Modena

<i>Ricettore</i>	<i>Indirizzo</i>	<i>Leq misurato Day/Night [dBA]</i>	<i>Leq limite Day/Night [dBA]</i>	<i>N. residenti</i>	<i>P</i>
7 A	Via Ariosto, 208	65,0/60,0	65/55	347	1735
1 A	Via Buozzi, 361	70,5/65,5	70/60	233	1282
2 A	Strada Albareto, 107	70,6/65,5	70/60	15	83
3 A	Via Einstein, 101/3	66,5/61,0	70/60	39	39
4 A	Via Silvati	62,5/56,5	70/60	8	0
5 A	Via Pulci	59,5/54,0	65/55	81	0
6 A	Via Matteucci	66,0/59,0	70/60	45	0
8 A	Via M. di Savoia	57,0/50,5	70/60	206	0

Come si può vedere dalla tabella 1, secondo l'indice P, risulta prioritaria la protezione del ricettore 7A che ha livelli sia diurni che notturni inferiori di 5 dBA rispetto ai due ricettori che lo seguono nell'elenco in quanto il limite per 7A è più basso.

Il criterio di individuazione delle priorità del DM 29/11/2000, basato sulla differenza tra il limite e il valore misurato, risente, a parità di abitanti, della sola entità del supera-

mento a prescindere dal valore del limite fissato per il sito; in altre parole, a parità di densità abitativa, l'indice P concede maggiore priorità ad un caso con superamento di 4 dBA per un sito avente valore limite pari a 50 dBA rispetto ad un caso con superamento di 3 dBA di un sito avente valore limite pari a 60 dBA.

Inoltre, nei casi in cui il livello di rumore misurato presso il ricettore è inferiore al limite del DM n. 142/2004, il valore di P risulta uguale a zero il che deporrebbe per una situazione di non "criticità" a fronte invece di valori che sono comunemente riconosciuti come elevati.

L'applicazione pedissequa del criterio di definizione delle priorità del DM 29/11/2000 appare quindi limitativa in quanto tende a penalizzare i casi esposti ai livelli più alti.

Si decise quindi di scegliere un differente criterio di priorità ponendo come obiettivi del risanamento i limiti fissati per le strade di nuova realizzazione che, per i ricettori residenziali, indipendentemente dal rango della strada, sono sempre di 65 e 55 dBA nei due periodi di riferimento. Tali valori di fatto costituiscono soglie, riconosciute a livello internazionale, al di sopra delle quali il disturbo da rumore stradale è elevato. L'indice P' utilizzato si basa quindi unicamente sull'entità del superamento di uno dei due limiti fissati per le strade di nuova realizzazione, il valore maggiore nel caso vengano superati entrambi i limiti, da valutare in facciata al ricettore. Nel caso in cui l'entità del superamento sia identica si considera prioritario l'intervento che riguarda il maggior numero di persone esposte.

In tabella 2 viene riportato l'ordine di priorità così ottenuto, tra parentesi è riportato l'ordine che lo stesso ricettore aveva utilizzando l'indice P definito dal DM 29/11/2000, il numero di residenti che trarrebbero benefici e una stima basata su criteri geometrici della lunghezza dello schermo utile per valutare l'impegno economico; tale tabella è stata utilizzata per la programmazione annuale del Piano delle opere pubbliche.

Dal 2005 la verifica sopra descritta viene ripetuta ogni anno per adeguare ove necessario la priorità degli interventi.

Tabella 2 – Assi viari gestiti dal Comune di Modena - Priorità degli interventi di schermatura secondo superamento soglia di 55 dBA notturni

<i>Ricettore</i>	<i>Indirizzo</i>	<i>Leq misurato Day/Night [dBA]</i>	<i>Superamento [dBA]</i>	<i>N. residenti</i>	<i>P' (P)</i>	<i>Lunghezza schermo stimata [m]</i>
1 A	Via Buozzi, 361	70,5/65,5	10,5	233	1 (2)	310
2 A	Strada Albareto, 107	70,6/65,5	10,5	15	2 (3)	235
3 A	Via Einstein, 101/3	66,5/61,0	6,0	39	3 (4)	280
7 A	Via Ariosto, 208	65,0/60,0	5,0	347	4 (1)	430
6 A	Via Matteucci	66,0/59,0	4,0	45	5 (-)	220
4 A	Via Silvati	62,5/56,5	1,5	8	6 (-)	175

3. Verifiche sulla efficacia degli interventi di risanamento

La gestione del Piano di risanamento acustico comporta, nella "tradizione" delle politiche di risanamento acustico a Modena, la verifica sul campo delle differenti tipologie di interventi realizzati: questo consente di raccogliere dati sperimentali utili per le future scelte.

3.1 Caso di uno schermo acustico

Viene esaminato il caso dello schermo acustico posto a lato della Tangenziale Nord a protezione degli edifici residenziali che su questa si affacciano; si tratta del caso indicato come Via Buozzi nel paragrafo 2.1.

La tangenziale è interessata da intensi flussi di traffico anche pesante, a velocità sostenuta ed è la sorgente prevalente. Gli edifici residenziali, posti nella fascia A di cui al D.P.R. n. 142/04, erano già parzialmente protetti da un terrapieno alto circa 5m dal piano campagna, realizzato nel '90 senza progettazione acustica, ma i cittadini residenti continuavano a segnalare la presenza di rumori eccessivi.

Il terrapieno, pur se di altezza ragguardevole, presentava la sommità distante circa 15m dal bordo strada a causa dell'elevato ingombro della base legato all'angolo di riposo del materiale argilloso di cui era costituito e lasciava di conseguenza i piani più alti fuori dall'ombra acustica.

Nel corso della campagna di misure descritta nel paragrafo 2.1, sono stati rilevati in facciata di un'abitazione al 5° piano (16 metri dal piano stradale), collocata alla distanza di 60 metri dal bordo strada e fuori dalla zona d'ombra acustica, i livelli riportati in tabella 1 (ricettore 1 A) pari a 70,5 dBA nel periodo diurno e 65,5 dBA nel notturno.

L'entità del superamento dell'obiettivo di risanamento di circa 10,5 dBA evidenzia una situazione di criticità per la funzione residenziale che come abbiamo visto è risultata prioritaria secondo il criterio adottato.

3.1.1 Progetto acustico del nuovo schermo

Il dimensionamento del nuovo schermo, di altezza variabile da 5 a 6 m e lunghezza di 290 m, è stata effettuato utilizzando un modello previsionale del rumore tarato con i flussi di traffico misurati in contemporanea con i rilievi fonometrici da spire magnetometriche, che differenziano la tipologia di veicoli in base alla lunghezza interasse, e da altre misure di breve durata nell'area di studio.

L'accordo tra i livelli calcolati e quelli misurati è entro 1 dBA.

In tabella 3 sono riportati i livelli sonori ottenuti tramite la simulazione ai diversi piani di uno degli edifici più esposti.

Tabella 3 – Stime del modello previsionale in corrispondenza del punto R

Punto di calcolo	Piano	Limiti fascia A <i>Leq(A)</i>		Ante operam <i>Leq(A)</i>		Simulazione Barriera <i>Leq(A)</i>		Att. dBA
		diurno	notturno	diurno	notturno	diurno	notturno	
		dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	
R	1°P	70	60	67,0	60,5	61,5	55,0	5,5
	2°P			69,0	62,0	63,0	56,5	5,5
	3°P			70,5	64,0	64,5	57,5	6,0
	4°P			71,5	65,0	65,0	58,5	6,5
	5°P			72,5	65,5	65,5	59,0	6,5

In grassetto sono evidenziati i valori della colonna ante operam che superano il limite fissato dal DPR 142/2004. I valori nella colonna Simulazione Barriera, relativi sia al periodo diurno che al notturno, rappresentano le stime previsionali dei livelli sonori ai ricettori nello stato post operam. I valori in colonna Att. forniscono l'attenuazione dei livelli sonori dovuta allo schermo.

Risulta evidente come, in termini previsionali, l'installazione dello schermo ripristini i livelli sonori ai ricettori entro i limiti previsti dalla vigente normativa.

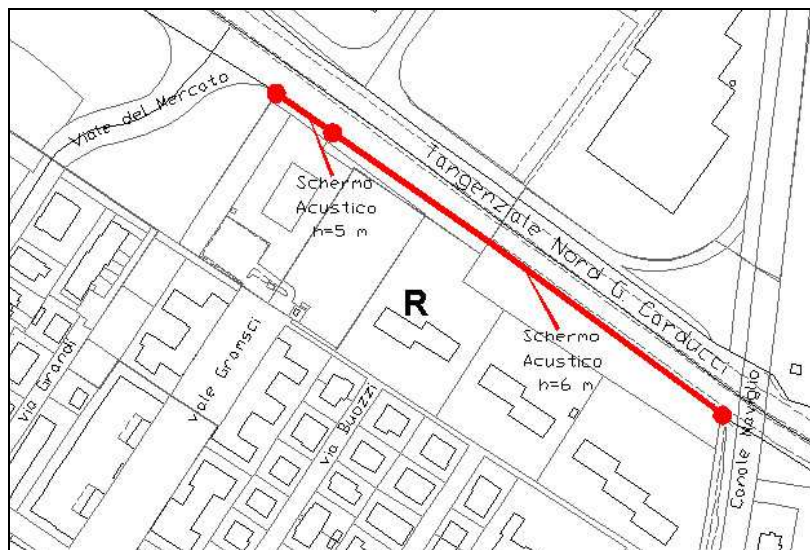


Figura 1 – Dimensionamento del nuovo schermo acustico e punti di misura/calcolo

3.1.2 Le misure fonometriche post operam

Il nuovo schermo, ultimato nel febbraio 2007, sorge a bordo carreggiata ed è costruito in materiale fonoassorbente con parti in resina trasparente. La figura 2 mostra lo stato ante e post operam.

Anche a lavori ultimati i residenti dei piani più alti lamentavano di essere ancora disturbati da livelli sonori elevati.

Nel maggio 2007 si è proceduto quindi alla verifica sul campo della efficacia dell'opera tramite nuove misure nello stesso ricettore.



Figura 2 – Inserimento dello schermo lungo la Tangenziale Nord Carducci

I livelli equivalenti misurati in R nello stato post operam, arrotondati a 0,5 dBA, relativi ai singoli periodi di riferimento sono posti a confronto con quelli ante operam nella tabella 4. Si può osservare come l'efficacia sia di 6,5 -7 dBA e vi sia un buon accordo con i valori simulati.

Per verificare che i livelli sonori non fossero più bassi a causa di una diminuzione di flussi di traffico, contestualmente al rilievo fonometrico in R, nel maggio 2007 si è ef-

fettuato, per un periodo di 30 minuti compreso tra le 16.00 e le 16.30, il conteggio manuale dei flussi di traffico che hanno evidenziato il transito di 1600 veicoli leggeri e 340 veicoli pesanti.

Tabella 4 – Confronto livelli di rumore misurati in R ante e post operam

Riferimento planimetrico	Periodo misura	Leq Misura ante operam [dBA]	Leq Misura post operam [dBA]	Leq Simulato post operam [dBA]	Attenuazione barriera [dBA]
R	Diurno	70,5	63,5	65,5	-7,0
	Notturmo	65,5	59,0	59,0	-6,5

Avendo a disposizione i dati disaggregati dei rilievi di traffico delle misure ante operam, effettuati tramite piastre magnetometriche per un periodo di 24 ore contestualmente al rilievo fonometrico in R sono stati presi a riferimento i periodi di 30 minuti con differenza entro il 5 % rispetto a i conteggi effettuati nel maggio 2007.

La tabella 5 riporta il confronto tra i livelli sonori misurati in R riferiti agli intervalli temporali così individuati.

Tabella 5 – Confronto tra i livelli sonori in R generati dagli stessi flussi veicolari ante operam e post operam.

Stato Post Operam			Stato Ante Operam		
Data e ora inizio misura	Durata [min]	Leq [dBA]	Data e ora inizio misura	Durata [min]	Leq [dBA]
29/05/2007 16.00	30	65,0	23/11/2004 11.00	30	70,5
			23/11/2004 12.00	30	70,5
			23/11/2004 13.30	30	70,5
			23/11/2004 14.00	30	70,5
			23/11/2004 14.30	30	70,5
			23/11/2004 15.00	30	70,5
			23/11/2004 15.30	30	70,5
			23/11/2004 16.00	30	70,5
			23/11/2004 16.30	30	70,5
			23/11/2004 19.00	30	69,5
			24/11/2004 07.00	30	70,5
			24/11/2004 09.30	30	71,0

I dati evidenziano una riduzione dei livelli sonori compresa tra i 4,5 e i 6,0 dBA.

Il dimensionamento di uno schermo acustico posto a lato di un'infrastruttura stradale attraverso un programma di calcolo previsionale consente di ottimizzare la resa acustica e le risorse economiche necessarie per la sua realizzazione.

L'esperienza seguita ha dimostrato come la stima sia affidabile e con sufficiente dettaglio, tale da fornire risultati attendibili.

Una ulteriore considerazione riguarda il fatto che ad intervento completato e a raggiunte attenuazioni di entità sicuramente percettibile (intorno ai 5 dBA), i cittadini interessati giudicano insoddisfacente il risultato ottenuto.

Questo evidenzia due aspetti non necessariamente in contraddizione: da un lato la percezione soggettiva dei miglioramenti raggiunti è condizionata dalle grandi aspettative riposte negli interventi di mitigazione, dall'altro, pure in presenza di un'attenuazione

ottenuta sicuramente percettibile, se i livelli sonori permangono su valori piuttosto elevati (65 dBA nel periodo diurno e 59 dBA in quello notturno), le persone esposte tendono a ritenere trascurabile il risultato raggiunto.

Questo ci porta a riflettere sul fatto che i limiti di legge dovrebbero tenere conto della risposta delle collettività come evidenziata dalle curve dose-effetto e quindi dei valori soglia di 65 dBA di giorno e 55 dBA di notte riconosciuti a livello internazionale.

3.2 Interventi di riduzione della velocità del traffico

Una delle strategie più efficaci e meno costose per la riduzione del rumore alla sorgente è la riduzione della velocità.

L'abbassamento della velocità media di marcia può portare ad apprezzabili riduzioni del rumore soltanto se è ottenuta mantenendo la fluidità del flusso veicolare; questo provvedimento inoltre migliora la sicurezza stradale.

Le soluzioni per attuare le cosiddette “zone 30” sono basate da un lato sulla risagomatura della strada che porta alla percezione da parte dell'automobilista che la strada non sia suo dominio assoluto ma che appartenga anche ad altri utenti come pedoni e ciclisti e dall'altro sulla creazione di ostacoli alla visuale libera (ad es. attraverso alberature o percorsi tortuosi) che impone all'utente motorizzato maggiore cautela e quindi velocità più basse.

Il controllo della velocità è normalmente ottenuto con il restringimento della carreggiata, la sistemazione di ostacoli ai lati per costituire un percorso a zig-zag, la realizzazione di mini-rotatorie e di crocevia rialzati che portano, come si ricava dalla letteratura, ad una riduzione media di 1 – 4 dBA. La collocazione di ostacoli trasversali alla strada di lunghezza inferiore al metro (speed bumps) può invece incrementare il rumore (da 1 a 5 dBA) sia a causa dell'impatto delle ruote sullo spigolo vivo dell'ostacolo, sia per l'accelerazione subito dopo l'ostacolo.

Una interessante esperienza è stata condotta a Modena, su iniziativa del Settore Traffico, e riguarda la creazione di zone 30 in alcune aree nelle quali strade destinate alla mobilità locale erano impropriamente utilizzate come vie di attraversamento, alternative alla viabilità principale.

Sono state realizzate restrizioni di sezione mediante pavimentazioni di diversa natura e inseriti crocevia rialzati (Fig. 3).

I rilievi condotti dagli uffici comunali hanno evidenziato la riduzione della velocità e dei flussi veicolari (Fig. 4); la riduzione dei livelli sonori è stata di 3 – 5 dBA (Fig. 5).



Prima



Dopo

Figura 3 – Modifica di un crocevia per la creazione di una “zona 30” (Modena, zona via Pisano-via Cimabue)

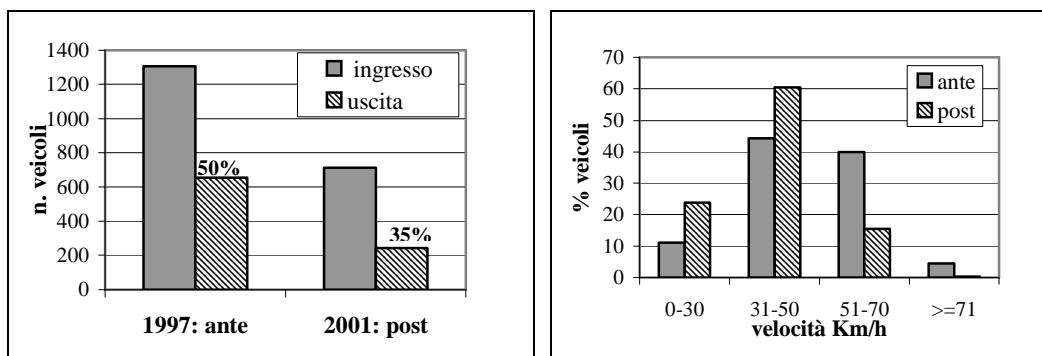


Figura 4 – Riduzione del traffico e della velocità in “zona 30” (Modena)

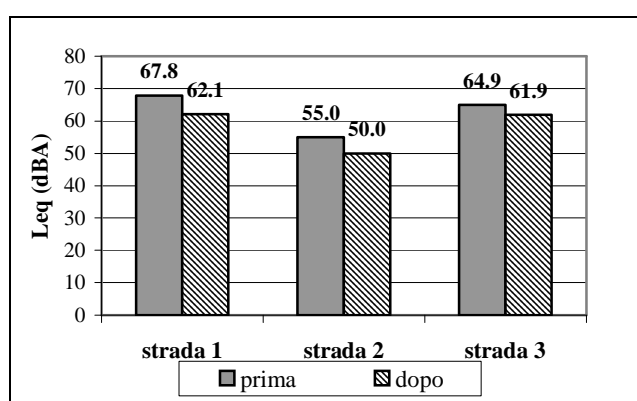


Figura 5 – Riduzione del rumore in “zona 30” (Modena)

3.3 Rendimento di rotonde stradali

La sostituzione di crocevia semaforici con rotonde è da considerarsi una pratica utile anche ai fini della riduzione del rumore in quanto in grado di limitare frenate ed accelerazioni. Una ricerca sugli effetti acustici della sostituzione di semafori con rotonde è stata condotta dal Laboratoire Regional Ponts et Chaussées de Blois (F): le misure prese a diversa distanza dal crocevia prima e dopo la costruzione della rotonda hanno mostrato che il traffico da pulsato è diventato continuo e fluido, con riduzioni dei livelli di rumore di 2-3 dBA a 50 – 100 m dalla rotonda, ma con riduzioni minori nelle immediate vicinanze.

Viene di seguito presentata la valutazione delle ricadute sull'entità dei livelli sonori effettuata in occasione della realizzazione nella zona urbana di Modena di una rotonda in sostituzione di un'intersezione semaforizzata, intervento che completa una serie di rotonde su uno dei principali assi di penetrazione con la finalità di fluidificare il traffico veicolare.

L'intersezione stradale, riportata in figura 6, è inserita all'interno del territorio urbanizzato, in un contesto di tipo misto ed a poco più di 50 m corre una linea ferroviaria con un limitato passaggio di convogli nel periodo diurno che grazie alle barriere acustiche a lato di questa non dà un contributo significativo al rumore ambientale presso i ricettori considerati. Quindi il rumore che caratterizza la zona è determinato dalle infrastrutture stradali.

dBA. La simulazione ha evidenziato livelli sonori nel periodo di riferimento notturno prossimi ai 60 dBA presso alcuni ricettori posti ai piani più alti.

Si è proceduto poi alla simulazione dei livelli sonori, per lo stato post operam con gli stessi flussi di traffico utilizzati per la simulazione ante operam. Le velocità di percorrenza sono state fissate all'interno della rotatoria pari a 40 km/h per i veicoli leggeri e a 30 km/h per i veicoli pesanti sia nel periodo diurno che nel periodo notturno.

La simulazione post operam, al contrario di quanto ci si aspettava, ha determinato un incremento generalizzato dei livelli sonori pari a 1 dBA. Difficile dare una spiegazione di ciò: da un lato l'avvicinarsi di importanti linee di flusso al ricettore comporterebbe un incremento dei livelli, dall'altro il fluidificarsi del traffico e l'eliminazione dello stop and go porterebbe a una riduzione. Considerati i livelli elevati, superiori ai livelli di soglia che ci si pone come obiettivi del risanamento, e l'ambito d'intervento che non consentiva certo la realizzazione di schermi, si è ritenuto opportuno consigliare l'uso dell'asfalto fonoassorbente.

Al fine di valutare i reali livelli sonori presenti dopo la realizzazione della rotatoria si è proceduto ad effettuare nuove verifiche strumentali in due momenti successivi: inizialmente a rotatoria realizzata e asfaltata provvisoriamente con binder monostrato (pre-esercizio) e successivamente ad avvenuta posa dell'asfalto fonoassorbente sulla rotatoria e sulla strada principale (esercizio definitivo). Questo per distinguere gli effetti determinati dalla realizzazione della sola rotatoria da quelli determinati dalla posa dell'asfalto fonoassorbente. Si è quindi proceduto in entrambi i casi all'effettuazione di una nuova verifica della durata di 24 ore presso R1 e di due misure di breve durata in R2 in due distinti intervalli temporali di 15 minuti del periodo diurno. A causa della presenza di un cantiere nelle vicinanze dell'area oggetto d'esame, non è stato possibile ripetere la misura in R3.

In tabella 7 sono riportati i livelli misurati nella situazione ante operam, in quella post operam di pre-esercizio e in quella di esercizio definitivo relativi agli interi periodi di riferimento in R1.

Tabella 7 – Livelli misurati in R1 nella situazione ante operam e post operam

	<i>Riferimento planimetrico</i>	<i>Durata</i>	<i>Data e ora inizio misura</i>	<i>Leq Diurno [dBA]</i>	<i>Leq Notturno [dBA]</i>
<i>Ante operam</i>	<i>R1</i>	72h	02/10/2007 00.00	63,5	56,5
<i>Post operam pre-esercizio</i>	<i>R1</i>	24 h	02/09/2008 00.00	62,5	54,0
<i>Post operam esercizio definitivo</i>	<i>R1</i>	24 h	11/11/2008 00.00	62,5	52,5

L'analisi dei livelli equivalenti sui periodi diurno e notturno evidenzia un'attenuazione di 1 dBA relativamente al periodo diurno e di 2,5 dBA per il periodo notturno, da attribuirsi alla sola realizzazione della rotatoria e di un'ulteriore attenuazione di 1,5 dBA, nel periodo notturno, dopo la posa dell'asfalto fonoassorbente. Questo può essere giustificato considerando le velocità di percorrenza della rotatoria che sono senz'altro più elevate nel periodo notturno, quando i flussi di traffico sono ridotti.

Volendo mettere in evidenza le eventuali differenze tra i livelli sonori attribuibili al diverso comportamento acustico della sostituzione del crocevia semaforico con la rotatoria piuttosto che all'uso dell'asfalto fonoassorbente, si è effettuato il confronto tra livelli sonori misurati nelle medesime condizioni di traffico veicolare anziché tra i livelli

sonori relativi all'intero periodo di riferimento. In particolare le variabili controllate sono state l'entità e la tipologia del flusso veicolare. I conteggi di traffico sono stati fatti manualmente contestualmente alle misure di breve durata, in corrispondenza delle sezioni S1, S2 ed S4 in quanto i rilievi di traffico svolti nello stato ante operam nella sezione S3 avevano evidenziato come il traffico in tale sezione fosse riferibile pressoché unicamente ai transiti dei mezzi di raccolta rifiuti della vicina sede dell'azienda appaltatrice limitato a ristrette fasce orarie. Le misure post operam in pre-esercizio sono state effettuate il 02/09/2008. A causa di ritardi sul cantiere le misure relative all'esercizio definitivo è stata effettuata in data 11/11/2008.

Si è quindi proceduto a cercare, tra i veicoli misurati con le spire il 18/09/07 nella situazione ante operam, flussi veicolari confrontabili con quelli conteggiati per breve periodo nelle rilevazioni post operam. A causa delle cattive condizioni atmosferiche verificatesi il 18/09 è stato possibile utilizzare solo i flussi veicolari relativi all'ante operam per le fasce orarie durante le quali le misure effettuate sono valide, ovvero i periodi 00:00-8:00 e 10:00-13:00. In particolare si sono ricercati i periodi di 15 minuti caratterizzati da un numero di transiti più prossimo possibile a quello misurato manualmente presso le sezioni S1, S2 e S4 durante le verifiche di breve durata condotte negli stati post operam di pre-esercizio e di esercizio definitivo. Per ridurre le variabili in gioco sono stati considerati anche i veicoli equivalenti (V_{eq}) intesi come somma dei veicoli leggeri (VL) e dei veicoli pesanti (VP) utilizzando un fattore di equivalenza acustica per i veicoli pesanti pari a 10 VL, ritenuta adeguata in considerazione che alle basse velocità, domina la componente emissiva dovuta al funzionamento a bassi regimi del motore. In tabella 8 è riportato il raffronto tra i livelli sonori misurati in R1 e in R2 nello stato post operam di pre-esercizio e i livelli misurati nelle stesse postazioni nelle fasce di 15 minuti selezionate sulla base dei rilievi di traffico di 24 ore effettuati nello stato ante operam. Al fine di evidenziare la differenza tra i flussi veicolari considerati, nella tabella sono riportati i flussi misurati nel post-operam e la differenza percentuale delle singole categorie di veicoli nello stato ante operam nei periodi temporali in cui ci si è avvicinati all'equivalenza dei transiti veicolari.

Tabella 8 – Stato ante operam e stato post operam di pre-esercizio: flussi veicolari e livelli sonori misurati in R1 e R2.

data	ora	S1			S2			S4			R1	R2
		VL	VP	V_{eq}	VL	VP	V_{eq}	VL	VP	V_{eq}	Leq,Tm [dBA]	Leq,Tm [dBA]
02/09/08	[12.00-12.15]	198	2	218	388	10	488	289	4	329	63,0	65,0
18/09/07	[07.45-08.00]	10%	-50%	5%	-1%	0%	0%	-11%	-50%	-16%	64,5	
	[12.00-12.15]	-6%	-50%	-10%	-14%	-50%	-22%	1%	0%	1%	64,0	65,5
	[12.15-12.30]	-7%	-50%	-11%	-14%	-40%	-19%	1%	-25%	-2%	64,0	
	[12.30-12.45]	-1%	0%	-1%	-11%	-20%	-13%	9%	0%	8%	64,5	
02/09/08	[16.30-16.45]	167	4	207	327	13	457	308	8	388	62,5	64,0
18/09/07	[10.45-11.00]	-11%	-75%	-23%	3%	-31%	-7%	0%	-63%	-13%	64,5	
	[11.15-11.30]	7%	-25%	1%	-13%	-38%	-20%	7%	-50%	-5%	64,5	
	[11.30-11.45]	12%	-50%	0%	-12%	-69%	-28%	3%	-38%	-5%	64,5	
	[12.00-12.15]	12%	-75%	-5%	2%	-62%	-16%	-6%	-50%	-15%	64,0	65,5
	[12.30-12.45]	17%	-50%	4%	6%	-38%	-7%	2%	-50%	-9%	64,5	

La tabella 8 mostra come, in riferimento agli stati ante operam e post operam di pre-esercizio, sia stato possibile individuare periodi temporali durante i quali ci si è avvicinati con buona approssimazione all'equivalenza dei transiti veicolari.

L'analisi evidenzia che, durante il periodo diurno, la sola introduzione della rotatoria, in assenza dell'asfalto a bassa rumorosità, comporta un'attenuazione dei livelli sonori dell'ordine di 1 dBA.

Nel corso delle verifiche relative allo stato di esercizio definitivo i conteggi manuali del traffico hanno evidenziato flussi veicolari molto maggiori rispetto a quelli rilevati durante le altre fasi dello studio, dovuti probabilmente alle condizioni meteo piuttosto variabili che hanno portato ad un maggiore utilizzo dell'auto.

Non è stato pertanto possibile ritrovare tra le misure di traffico del settembre 2007 fasce temporali in cui i transiti veicolari si avvicinassero a quelli riscontrati nella fase di esercizio definitivo con la stessa approssimazione evidenziata nella fase post operam di pre-esercizio. Ciò nonostante si sono ricercate nell'ante operam le fasce con i flussi maggiori.

In tabella 9 è riportato il raffronto tra i livelli sonori misurati in R1 e in R2 nello stato post operam di esercizio definitivo e i livelli misurati nelle stesse postazioni nelle fasce di 15 minuti selezionate sulla base dei rilievi di traffico di 24 ore effettuati nello stato ante operam.

Tabella 9 – Stato ante operam e stato post operam di esercizio definitivo: flussi veicolari e livelli sonori misurati in R1 e R2.

data	ora	S1			S2			S4			R1	R2
		VL	VP	V_eq	VL	VP	V_eq	VL	VP	V_eq	Leq,Tm (dBA)	Leq,Tm (dBA)
11/11/2008	[12.00-12.15]	226	6	286	412	11	522	422	9	512	63,5	64,0
18/09/2007	[12.00-12.15]	-17%	-83%	-31%	-19%	-55%	-27%	-31%	-56%	-35%	64,0	65,5
	[12.30-12.45]	-13%	-67%	-24%	-16%	-27%	-18%	-25%	-56%	-31%	64,5	
11/11/2008	[16.30-16.45]	224	4	264	434	8	514	413	7	483	62,0	62,0
18/09/2007	[12.00-12.15]	-17%	-75%	-25%	-24%	-38%	-26%	-30%	-43%	-31%	64,0	65,5
	[12.30-12.45]	-13%	-50%	-18%	-20%	0%	-17%	-24%	-43%	-27%	64,5	

La tabella 9 evidenzia come, a fronte di aumenti del traffico dell'ordine del 20-30%, riscontrabili nella fase post operam di esercizio, in R1 si siano sempre riscontrati livelli sonori inferiori a quelli misurati nella fase ante operam.

E' pertanto possibile affermare che durante il periodo diurno, l'applicazione del manto di asfalto a bassa rumorosità, comporta un'ulteriore attenuazione dei livelli sonori non inferiore a 2 dBA.

Richiamando il risultato ottenuto per il post operam con il modello di simulazione, l'incremento dei livelli evidenziato non ha trovato riscontro nelle misure effettuate che hanno invece mostrato una diminuzione dei livelli: questo porta ad ipotizzare che il modello usato non sia in grado di stimare con la necessaria accuratezza l'effetto acustico della fluidificazione del traffico.

Per meglio caratterizzare il comportamento acustico della rotatoria è prevista un'ulteriore campagna di misura nel settembre 2009, con l'effettuazione del conteggio del traffico veicolare tramite spire magnetometriche.

3.4 Rendimento di asfalti a bassa rumorosità

Una esperienza condotta dal Comune di Modena, nel 2003 – 2004, riguarda la verifica dell'efficacia di asfalto a bassa rumorosità su un tratto di una strada di penetrazione in ambito urbano, con edifici su ambo i lati. Purtroppo la verifica non ha potuto protrarsi oltre a causa dell'intervenuto di rifacimento della strada per la manutenzione di sottoservizi.

I flussi di traffico nel periodo diurno sono tra 1000 e 1400 veicoli/ora con percentuali di motoveicoli tra 4 e 7 % e di veicoli pesanti intorno al 2 % (essenzialmente trasporto pubblico).

Il manto di usura di tipo tradizionale è stato sostituito con uno di tipo drenante-fonoassorbente di 4 cm di spessore realizzato con bitume modificato con polimero S.B.R. in ragione del 5,5 – 6,5 %.

Gli inerti di 1^a categoria hanno granulometria 0/12 mm con coefficiente di forma e appiattimento tali da garantire l'assenza di materiali piatti e allungati.

Il legante bituminoso è compreso tra il 4,5% ed il 5,0% riferito al peso totale degli aggregati.

La percentuale dei vuoti sui provini Marshall è superiore al 18%.

Il manto, del tipo a macrotessitura aperta, è stato steso mediante vibrofinitrice ottenendo una superficie piana e con assenza di asperità.

L'efficacia della nuova pavimentazione in termini di riduzione del rumore si è basata sul confronto tra i livelli misurati a bordo strada (4,5 m dal bordo e ad altezza di 4 m dal suolo) nelle condizioni ante operam (con asfalto tradizionale) e post operam (con il nuovo manto fonoassorbente).

Il controllo si è protratto nell'arco di osservazione di 15 mesi dalla sua posa allo scopo di verificare il mantenimento delle prestazioni acustiche anche in seguito ad un lavaggio attuato con apposita attrezzatura.

In figura 7 è riportato l'andamento nell'arco del tempo del livello equivalente degli interi periodi diurno e notturno. Il grafico a barre mostra una significativa riduzione dei livelli equivalenti sia nel periodo diurno (- 3/4 dBA) che in quello notturno (- 3/5 dBA), riduzione distintamente avvertibile soggettivamente.

Si rileva inoltre come l'asfalto abbia mantenuto le prestazioni acustiche nell'arco dei 15 mesi trascorsi dalla stesura.

Il rilievo effettuato nel giugno 2004 dopo il lavaggio del manto stradale mostra un modesto miglioramento (circa 1 dBA).

Il confronto fra i valori dei livelli equivalenti orari è mostrato in figura 8.

La riduzione dei livelli sonori diurno e notturno è verificata durante l'intero arco della giornata. Tra le h 7:00 e le h 20:00, periodo in cui i flussi di traffico sono più regolari, la riduzione di circa 3 dBA, si è mantenuta costante nel periodo temporale di un anno; conferma della riduzione del rumore di 3 dBA si ha confrontando i livelli equivalenti misurati su intervalli di breve durata ante operam e post operam a parità di flussi e composizione.

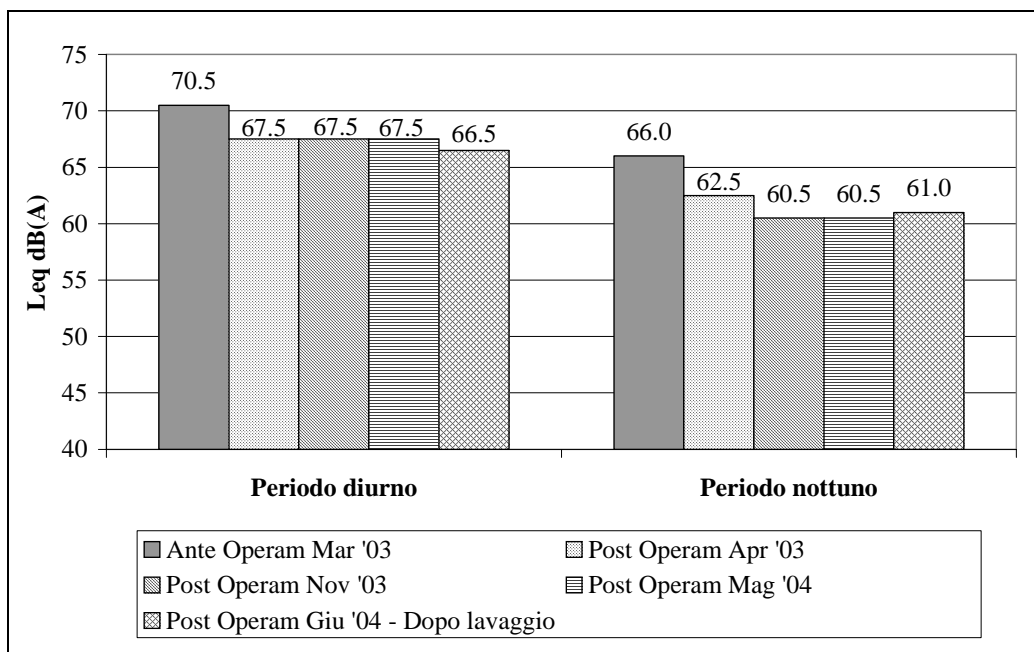


Figura 7 – Verifica livelli sui periodi ante e post stesura asfalto drenante (Modena 2003-2004)

Il costo degli asfalti fonoassorbenti monostrato è maggiore rispetto al costo degli asfalti tradizionali; occorre tuttavia tenere presente la loro maggiore durata e il fatto che la differenza di costo tende a ridursi in ragione della crescente diffusione.

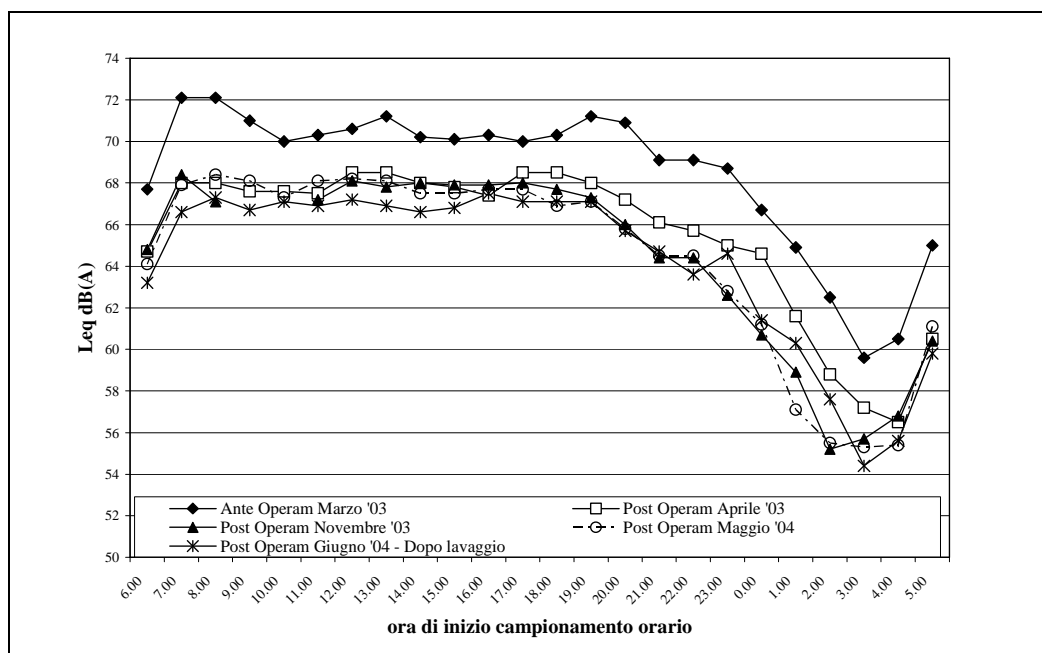


Figura 8 – Andamento orario livelli ante e post stesura asfalto drenante (Modena 2003-2004)

4. Proposte per il nuovo Piano di risanamento acustico

La proposta metodologica per il nuovo Piano di risanamento nasce dall'esperienza maturata nella elaborazione del precedente Piano e dalla sua attuazione nel corso degli anni.

Dal Piano del '99 discendono alcuni elementi metodologici, come l'uso di carte tematiche per evidenziare le criticità e di valori soglia per stabilire le priorità di intervento, mentre sostanziali innovazioni sono costituite dall'esclusivo uso della simulazione per la produzione della mappa acustica, dall'uso di algoritmi per la definizione delle priorità e da una più sistematica analisi delle aree di intervento incentrata sugli archi stradali.

Le tipologie di azioni ed opere per la riduzione del rumore rimangono sostanzialmente le stesse essendo state oggetto di sperimentazione, oltre che nella città di Modena, nelle diverse realtà locali: si va dalle schermature, agli interventi alla sorgente come le pavimentazioni stradali a bassa rumorosità, la fluidificazione e regolamentazione del traffico, la riduzione della velocità, gli interventi sul trasporto pubblico ed il miglioramento dell'isolamento di facciata dove altri interventi non sono possibili o sufficienti.

4.1 La mappa del rumore

La mappa utilizzata descrive il livello sonoro equivalente (Leq), per i periodi di riferimento diurno e notturno, a 4m di altezza dal suolo, dovuto al traffico veicolare e ferroviario e riguarda un'area del territorio comunale di dimensioni 5,6 x 5,6 km, comprendente la maggior parte dell'area urbana (circa 2/3) inclusi il Centro Storico e la parte periferica ad Ovest caratterizzata dalla presenza della tangenziale e l'autostrada A1.

Poiché la mappa del rumore è relativa alla quota di 4m dal suolo, per semplicità tutti gli edifici sono stati posti alti 8m.

I flussi veicolari di ingresso sono quelli previsti dal modello di assegnazione del traffico utilizzato dal Settore Comunale competente che fornisce i volumi di traffico leggero per ogni arco stradale nell'ora di punta. I flussi veicolari nei periodi di riferimento diurno e notturno sono stati stimati statisticamente sulla base dei dati misurati in diverse sezioni stradali. Per il traffico ferroviario sono stati utilizzati il numero di passaggi fornito dagli enti gestori; lo spettro riferito alla durata del transito per le diverse tipologie di convogli è stato ricavato da misure.

I livelli sonori sono stati calcolati in ogni recettore posto nei nodi di una maglia quadrata di 20 m di lato nel periodo diurno e notturno; la maglia è stata infittita, con lato di 10 m, dove l'output grafico non risultava sufficientemente dettagliato; in questo modo sull'intera area sono stati individuati in totale 108559 ricettori.

Lo scarto tra il valore di livello sonoro equivalente simulato, relativo sia al periodo di riferimento diurno che notturno, e quello misurato in 18 punti interni all'area esaminata (misure di 24 ore a 4 m di altezza dal piano campagna) è contenuto in ± 2.5 dBA e mette in evidenza la buona accuratezza dei risultati della simulazione.

Per la individuazione dei livelli sonori a cui i recettori sono soggetti, la mappa acustica è stata costruita con isofone per step di 1 dBA in modo da avere una maggiore distribuzione dell'entità del superamento delle soglie stabilite.

L'operazione di interpolazione è stata eseguita sia per il periodo diurno che notturno, ottenendo così le mappe dei livelli acustici superiori alle soglie; per il periodo diurno la mappa va dai 65 dBA fino ai 75 dBA e per quello notturno dai 55 dBA ai 65 dBA.

Le isofone così ottenute sono quindi state importate in un GIS per le elaborazioni successive. Un dettaglio della mappa acustica per step di 1 dBA è riportata in figura 9.

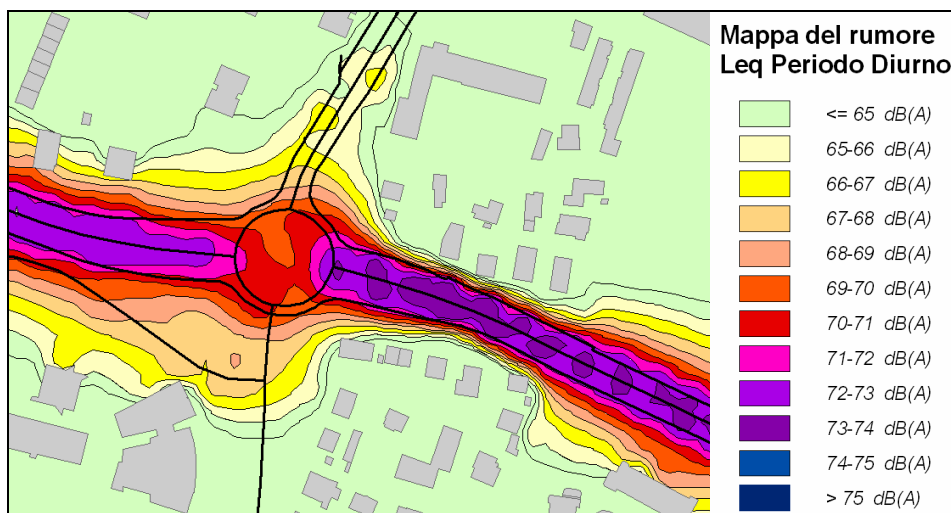


Figura 9 – Dettaglio mappa acustica del periodo diurno

4.2 Criterio di selezione delle priorità di intervento

Considerata la diffusa situazione di superamento dei limiti assoluti di immissione, che tra l'altro per le classi acustiche più basse sono valori difficilmente raggiungibili nella realtà delle città italiane, si è deciso di stabilire le priorità di risanamento non in base ai limiti di immissione (diversi per le diverse classi acustiche) ma in base ai valori soglia di criticità di 65 dBA e 55 dBA riferiti rispettivamente al periodo diurno e notturno.

E' stato quindi sintetizzato un algoritmo per la definizione dell'indice di priorità P_i'' che dà la precedenza al risanamento degli archi stradali per i quali si hanno edifici residenziali esposti a livelli di rumore che presentano lo scarto maggiore in periodo diurno o notturno rispetto alle soglie di criticità. A parità di livelli di rumore, il termine N_{res} (numero di residenti) attribuisce priorità agli archi stradali che presentano maggior numero di persone esposte.

Per giungere a definire la scala di priorità di risanamento dei diversi archi stradali sono stati introdotti, per ciascun edificio esposto a un livello sonoro superiore alla soglia di criticità, i seguenti parametri:

- livello sonoro equivalente diurno (Leq day): è il livello sonoro equivalente diurno, superiore alla soglia di 65 dBA, cui è esposto l'edificio residenziale;
- livello sonoro equivalente notturno (Leq night): è il livello sonoro equivalente notturno, superiore alla soglia di 55 dBA, cui è esposto l'edificio residenziale;
- superamento massimo della soglia (Δ_{max}): è il valore più alto tra $\Delta_{day,65}$ e $\Delta_{night,55}$ dove $\Delta_{day,65}$ è la differenza fra Leq day e la soglia di 65 dBA e $\Delta_{night,55}$ è la differenza fra Leq night e la soglia di 55 dBA.
- numero di persone esposte (N_{res}): numero di residenti nell'edificio residenziale.

Per l'edificio i -esimo è stato quindi definito un indice P_i'' dato dal numero di residenti esposti $N_{res,i}$ per un fattore moltiplicativo determinato assumendo che una persona esposta ad un dato livello sonoro valga quanto 10 persone esposte ad un livello sonoro inferiore di 3 dBA: un'attenuazione pari a 3 dBA infatti corrisponde ad un dimezzamento dell'energia sonora ed è chiaramente percettibile dall'uomo. Si è ottenuto così, per ciascun edificio, un indice P_i'' dato dalla seguente relazione:

$$(2) \quad P_i'' = \frac{N_{res,i}}{10 \left(\frac{\Delta_{max,MO} - \Delta_{max,i}}{3} \right)},$$

dove:

- $N_{res,i}$ è il numero di residenti esposti al livello equivalente che ha dato luogo a $\Delta_{max,i}$;
- $\Delta_{max,MO}$ è il superamento massimo della soglia nell'area oggetto di studio;
- $\Delta_{max,i}$ è il valore più alto tra Δ_{day} e Δ_{night} per il ricettore i-esimo.

L'indice di priorità per ciascun arco stradale P_{TOT} è quindi dato dalla somma di tutti i P_i'' relativi agli edifici che per quell'arco stradale superano la soglia:

$$(3) \quad P_{TOT} = \sum_{i=1}^N P_i'' ,$$

dove P_i'' è definito dalla (2) e N è il numero di edifici dell'arco stradale per i quali c'è il superamento della soglia.

Per comprimere la scala dei valori così ottenuti per P_{TOT} si è calcolato il logaritmo in base 10 del valore ottenuto P_{TOT} e si è moltiplicato per 10 il risultato per avere un indice P'' maggiore di 1 nel caso di P_{TOT} inferiori a 10 (4).

Utilizzando il logaritmo si dà minore risoluzione ai superamenti di grande entità mentre si differenziano maggiormente quelli minori. Ciò è coerente con l'approccio voluto che porta a non cercare il dettaglio quando il superamento è tale da definire sicuramente una situazione di criticità mentre consente di graduare la priorità là dove il superamento della soglia è minore.

L'indice di priorità P'' per ciascun arco stradale risulta quindi definito dalla relazione:

$$(4) \quad P'' = 10 \log_{10} P_{TOT} .$$

Il criterio per definire le priorità è differente da quello introdotto dal decreto 29/11/2000 poiché si ritiene sia importante tenere conto dei valori assoluti di rumore a cui le persone sono esposte in quanto elementi di valenza sanitaria.

Una volta calcolato l'indice di priorità P'' , viene compilata una scheda tecnica per ciascun arco stradale contenente:

- informazioni identificative della strada;
- informazioni relative ai livelli sonori degli edifici più esposti lungo la strada;
- il numero complessivo degli abitanti esposti a livelli superiori alla soglia critica e l'indice di priorità P'' calcolato per la strada;
- il tipo di intervento di risanamento pianificato;
- un campo note per fornire chiarimenti ove necessario.

Le schede ottenute sono ordinate secondo valori dell'indice di priorità crescenti in modo che la presentazione delle strade rispecchi l'ordine temporale con cui gli interventi di risanamento debbano essere realizzati.

4.3 Gli interventi di risanamento pianificati sull'area di studio

Gli interventi di risanamento pianificati, oltre che nelle schede di cui al paragrafo precedente, sono rappresentati graficamente sulla mappa dell'area di studio attraverso colori e simboli diversi.

La scelta del tipo di intervento è stata effettuata sulla base della conoscenza delle caratteristiche degli archi stradali per quanto attiene agli aspetti sia del traffico sia urbanistici.

Considerato che nell'area urbana i casi in cui si possono realizzare schermi sono chiaramente pochi, per le strade dove la velocità di percorrenza è abbastanza elevata e con essa la componente di rumore dovuta al rotolamento, sono sempre previsti gli asfalti fonoassorbenti; nei crocevia è proposta la realizzazione di rotatorie, ovviamente previa verifica da parte degli uffici comunali competenti per la mobilità.

Per le strade urbane di quartiere o locali, che non svolgono funzioni di collegamento, è prevista in genere la realizzazione di interventi per la riduzione della velocità.

Limitatamente ai tratti delle strade più importanti (tangenziale o strade di penetrazione urbana), nelle zone dove le caratteristiche geometriche lo consentono, sono previste barriere acustiche.

L'uso delle schede, ordinate in base alla priorità, che definiscono gli interventi per arco stradale, è agevole per i tecnici del Comune addetti alla costruzione e manutenzione delle strade che possono inserire tali interventi nella loro programmazione dei lavori.

Naturalmente l'insieme degli interventi previsti può trovare realizzazione nel medio-lungo termine, in relazione alle risorse stanziare ogni anno per questo tipo di investimenti.

Per le scuole, i cui edifici sono di competenza comunale, sono state considerate quelle elementari, medie inferiori e superiori, dove la quiete rappresenta un elemento fondamentale per lo svolgimento dell'attività didattica.

Per questo tipo di ricettori, oltre agli interventi sulle strade su cui gli edifici si affacciano, spesso non in grado di riportare i livelli entro i limiti, è possibile prevedere il miglioramento dell'isolamento di facciata attraverso la sostituzione dei vecchi serramenti.

E' quindi stata fatta una ricognizione degli edifici scolastici che sono esposti a livelli di rumore superiori ai 50 dBA per il periodo diurno; per questi, ad esclusione di quelli in cui l'intervento è stato effettuato recentemente, è stata pianificata la sostituzione dei serramenti.

Anche le scuole ed i relativi interventi sono rappresentate sulla specifica mappa.

Bibliografia

- [1] D. Bertoni, A. Franchini, M. Magnoni, "Il rumore urbano e l'organizzazione del territorio, Pitagora ed. Bologna, 1988.
- [2] D. Bertoni, A. Franchini, J. Lambert, M. Magnoni, P.L. Tartoni, M. Vallet, "Gli effetti del rumore dei sistemi di trasporto sulla popolazione", Pitagora editrice, Bologna, 1994.
- [3] D. Bertoni, A. Peretti, Atti del seminario "I piani di risanamento acustico delle aree urbane", (Comune di Modena e AIA), Modena, 1999.
- [4] M. C. Berenger, "Le strategie di contenimento del rumore stradale in ambiente urbano", Atti del Convegno I piani di risanamento acustico delle aree urbane (Comune di Modena e AIA), Modena, 1999.

- [5] D. Campolieti, “I Geographic Information System: Mappature acustiche, stima dell’esposizione della popolazione, interazione con i modelli di previsione”, Seminario Noise Mapping, (AIA), Bologna 21-22 giugno 2001.
- [6] D. Bertoni, “Experience in planning of noise mitigation measures and in evaluating their effectiveness in the city of Modena”, in Proceedings of Internoise 2004, Praga, 2004.
- [7] D. Bertoni, D. Campolieti, “La mappa acustica e il nuovo piano di risanamento di Modena: metodologia e aspetti applicativi”. Atti del seminario Impatto e clima acustico: metodologie di elaborazione e procedure di valutazione. Modena – Baluardo della Cittadella - (Comune di Modena e AIA), 20 settembre 2007.