

**CONTESTO OPERATIVO: INTERVENTI ED EFFETTI
ATTESI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA, IL RUMORE E
LA SALUTE**
Sub-action A1.5

**Allegato 4 dell'Abacus sul contesto operativo per le zone a
bassa emissione di rumore**





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

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

Technical Report A1.5

Azione /Sotto-azione	Action A1: Operational context for Noise Low Emission Zones (LEZ) detection and management Sub-action A1.5: Operational context: interventions and expected effects on air quality, noise and health
Autori	Raffaella Bellomini, Sergio Luzzi, Lucia Busa , Giacomo Nocentini
Data	Versione Finale 26-01-2017
Beneficiario:	Vie en.ro.se. Ingegneria
Referente:	Raffaella Bellomini
E-mail:	raffaella.bellomini@vienrose.it
Project Website:	-

Indice

1.	Introduzione	2
2.	Report tecnico: contesto operativo.....	4
2.1.	Pavimentazioni a bassa rumorosità	4
2.2.	Interventi sulla regolazione del traffico.....	5
2.3.	Interventi strategici.....	16
2.4.	Barriere antirumore	20
3.	Conclusioni	24
4.	Bibliografia	25

1. Introduzione

L'Azione A1 consiste nell'analisi dello stato dell'arte sui riferimenti legislativi e tecnici delle Noise Low Emission Zone (LEZ) e sui sistemi di monitoraggio del rumore e della qualità dell'aria.

L'azione A1 è suddivisa in 5 sotto-azioni, ognuna coordinata da un partner del progetto:

A1.1 Quadro legale e ambientale per l'introduzione di Noise LEZ – MONZA

A1.2 Contesto operativo: Sistemi di monitoraggio del rumore – ISPRA

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

A1.4 Contesto operativo: Indicatori di salute - UNIFI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

QUADMAP è un progetto cofinanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del programma LIFE+2010 che ha avuto l'obiettivo di sviluppare una metodologia armonizzata per la selezione, la valutazione e la gestione delle aree quiete (rif. www.quadmap.eu).

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

Tabella 1 – contenuti dell'abaco degli interventi

ID intervento	Tipologia di intervento	ID intervento specifico	Intervento specifico
1	Pavimentazioni a bassa rumorosità	1.1	Strato di usura tipo "open graded"
		1.2	Strato di usura tipo "gap graded"
		1.3	Strato di usura tipo "dense graded"
		1.4	Strato di usura speciale tipo microtappeto
		1.5	Strato di usura "dense graded" con argilla espansa
		1.6	Strato d'usura tipo "gap graded" con aggiunta di polimeri SBR/NR
2	Interventi sulla regolazione del traffico	2.1	Chicane/restringimenti
		2.2	Rotatorie
		2.3	Dossi rallentatori/attraversamenti pedonali rialzati
		2.4	Isole di traffico
		2.5	Dispositivi per il controllo elettronico della velocità
3	Interventi strategici	3.1	Piano Urbano del Traffico
		3.2	Mezzi pubblici elettrici
		3.3	Zona 30 km/h
4	Barriere antirumore	4.1	Barriere antirumore tradizionali
		4.2	Barriere basse alla sorgente

2. Report tecnico: contesto operativo

2.1. Pavimentazioni a bassa rumorosità

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

In particolare, l'abaco riporta gli effetti delle seguenti soluzioni:

- strato di usura tipo "open graded";
- strato di usura tipo "gap graded";
- strato di usura tipo "dense graded";
- strato di usura speciale tipo microtappeto;
- strato di usura "dense graded" con argilla espansa;
- strato d'usura tipo "gap graded" con aggiunta di polimeri SBR/NR.

Per ogni soluzione di pavimentazione a bassa rumorosità considerata, l'abaco riporta una scheda tecnica organizzata come in tabella 2.

Tabella 2 – Scheda tipo relativa alle pavimentazioni a bassa rumorosità

1. TIPOLOGIA DI INTERVENTO				
Campo di applicazione: urbano, extra-urbano, ecc..				
1.0 INTERVENTO SPECIFICO	Sito di studio: _____	Strada: _____	Tipologia del sito: _____	
	Località: _____	Progressiva: _____	Quota _____	
Composizione della sovrastruttura				
Dati di traffico		Volumi orari	Veicoli leggeri	% veicoli pesanti
Traffico Medio Giornaliero (TGM)	Numero di veicoli passati in un'ora	Numero di veicoli leggeri	Percentuale di veicoli pesanti	
Rumore da rotolamento CPX a 50 km/h				
Data rilievo	Intervallo di tempo stesa-rilievo [mesi]	Sito di riferimento (Srif) [dB(A)]	Sito sperimentale (Ssp) [dB(A)]	Differenza Srif-Ssp [dB(A)]
mese- anno	numero di mesi	scenario in assenza della pavimentazione a bassa rumorosità	scenario con la pavimentazione a bassa rumorosità	Differenza tra lo scenario in assenza e in presenza della pavimentazione a bassa rumorosità
Livello di rumore a bordo strada – SPB a 50 km/h				
Immagine descrittiva	Curva granulometrica - strato d'usura Grafico	Rumore da rotolamento – CPX Grafico	Livello di rumore a bordo strada – SPB Grafico	

Le tipologie di pavimentazione attualmente proposte coprono sia pavimentazioni aperte (con elevata porosità) che pavimentazioni chiuse. I risultati sono incoraggianti poiché con diverse tipologie di pavimentazione si raggiungono buone prestazioni in ambito extraurbano che si mantengono nel tempo.

Relativamente agli effetti sulla sicurezza e la salute in generale, gli studi analizzati attestano che diverse delle tipologie di pavimentazione a bassa rumorosità analizzate migliorano anche l'aderenza tra la superficie stradale e il pneumatico e di conseguenza anche la sicurezza stradale.

2.2. Interventi sulla regolazione del traffico

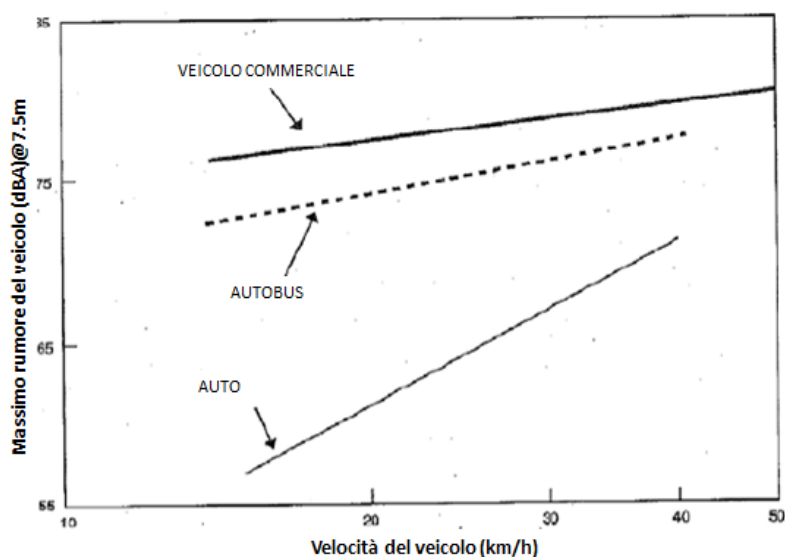
In riferimento agli interventi sulla regolazione del traffico, un'attenzione particolare è stata riservata ai risultati del "Progetto HUSH" (Harmonization of Urban noise reduction Strategies for Homogeneous action plans) e del "Progetto SONORUS- Urban Sound Planner".

In particolare, l'abaco, relativamente agli interventi sulla regolazione del traffico, riporta gli effetti delle seguenti soluzioni:

- a) chicane/restringimenti;
- b) rotatorie;
- c) dossi rallentatori / attraversamenti pedonali rialzati;
- d) dispositivi per il controllo elettronico della velocità;
- e) isole di traffico.

In linea generale, il rumore prodotto da un veicolo aumenta con la velocità. Come mostra la Figura 1, questa associazione è più evidente per i veicoli leggeri che per i veicoli pesanti (veicoli commerciali e autobus), il cui rumore è principalmente generato dal motore e dal sistema di scarico, che non varia molto con velocità, rispetto al rumore causato dall'attrito di pneumatici sull'asfalto [1]. In questo senso, riducendo la velocità della guida, le misure di moderazione del traffico dovrebbero principalmente contribuire a ridurre anche il rumore generato dalle auto.

Figura 1 – Aumento della rumorosità del veicolo in funzione della velocità per tre tipi di veicoli

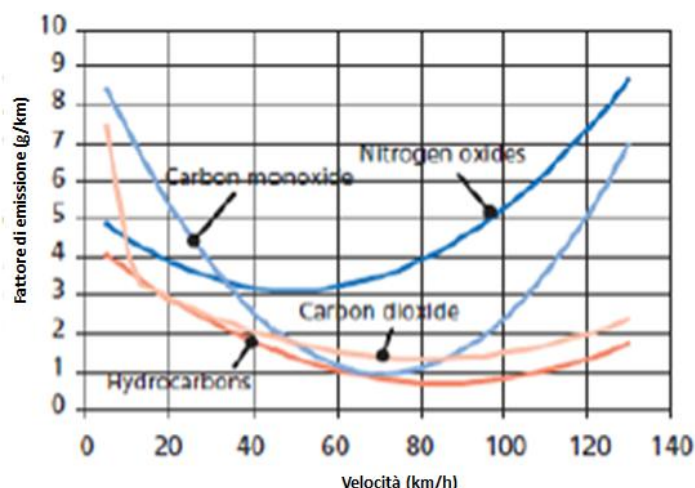


Fonte: Abbott et al., 1995, p.9

Per quanto riguarda gli aspetti legati alla sicurezza e alla salute in generale, si veda lo studio riportato nel paragrafo relativo alle chicane/restringimenti.

Per quanto riguarda gli effetti della riduzione della velocità sulla qualità dell'aria è ben definito che la variazione delle emissioni inquinanti è collegata alla velocità del veicolo [2].

Come illustrato nella Figura 2, le emissioni seguono generalmente il consumo di carburante, che appare graficamente come una curva a forma di U; vale a dire che il consumo di carburante e le emissioni per chilometro percorso sono maggiori a bassa e ad alta velocità [3, 4, 5].

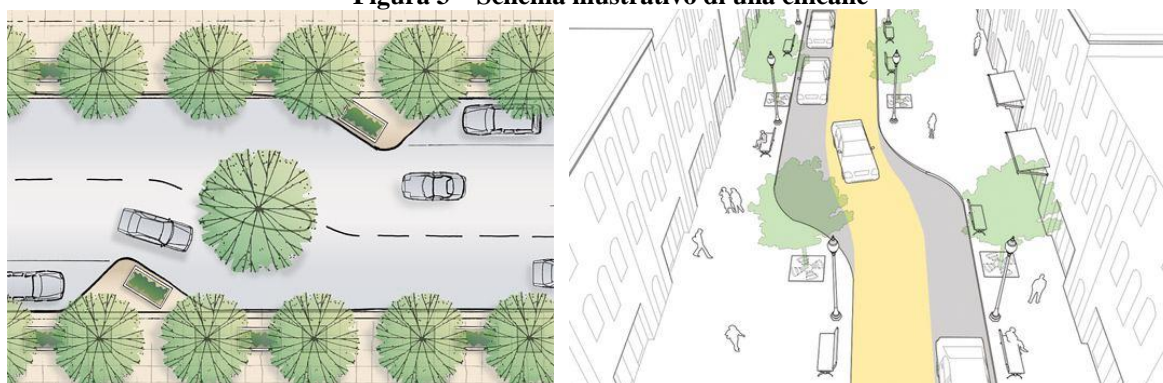
Figura 2 – Effetto della velocità media di transito sui livelli di emissione delle autovetture con catalizzatore

a) Chicane/restringimenti

Le Chicane sono un tipo di “deviazione orizzontale” della carreggiata usata per ridurre la velocità del traffico, mantenendo un andamento regolare. I guidatori sono infatti portati a ridurre la velocità per porre maggiore attenzione al percorso stradale.

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

In generale, è prevista una riduzione della velocità, mantenendo una condotta di guida fluida, consentendo di evitare situazioni tipo “stop and go” (andamento intermittente da evitare perché comporta un incremento della rumorosità e dell’emissione di inquinanti atmosferici). Dal punto di vista acustico, la soluzione comporta quindi una generale diminuzione dell’emissione sonora dei veicoli, in particolare dei veicoli leggeri, proporzionale alla riduzione di velocità media del flusso.

Figura 3 – Schema illustrativo di una chicane

Fonte: NACTO Urban Street Design Guide

In riferimento alla sicurezza e agli effetti sulla salute in generale, lo studio condotto da Mountain et al. (2005) [6] riporta i risultati del confronto dell’efficacia di 149 interventi di moderazione del traffico su strade con limite di 48 km/h (30 mph, limite di velocità vigente in Inghilterra). Questi interventi sono stati classificati in tre gruppi: 79 scenari con autovelox, 39 scenari con deviazioni verticali (isolati o in combinazione con deviazioni orizzontali o restringimenti della strada) e 31 scenari con la presenza delle deviazioni orizzontali, i restringimenti, le segnalazioni attive della velocità o segnalazioni che indicano il limite di

velocità. L'ultimo raggruppamento, sebbene comprenda varie tipologie di mitigazione, è giustificato per la similitudine dei risultati. La tabella 3 riassume i principali risultati presentati.

Tabella 3 – Confronto tra l'efficacia di tre tipi di interventi di moderazione del traffico

Misure di moderazione del traffico	Velocità media {CI 95%}	Collisioni con lesione personale {CI 95%}	Collisioni fatali e serie di collisioni {CI 95%}	Numero di collisioni con lesioni personali e collisioni evitate {CI 95%}
Deviazione verticale	-13.5 km/h* {-16.6 to -10.5}	- 44 %* {-54 to -34}	- 35 %* {-54 to -18}	- 1.00* {-1.4 to -0.6}
Deviazione orizzontale e restringimenti	-5.3 km/h* {-7.1 to -3.7}	-29 %* {-48 to -8}	-14 %* {-44 to +32}	-0.78* {-1.6 to -0.2}
Autovelox	-6.6 km/h* {-7.6 to -5.5}	-22 %* {-30 to -13}	-11 %* {-26 to +6}	- 1.03* {-1.4 to -0.8}
Variazione di almeno p<0,05. Fonte: Mountain et al., 2005				

Tradizionalmente, l'efficacia degli interventi viene espressa in termini di riduzione percentuale dei vari tipi di collisione. In tal senso, gli interventi che si avvalgono di deviazioni verticali risultano significativamente più efficaci nel ridurre le collisioni con lesioni personali di quelli che fanno uso di autovelox. Questo risultato sembra corrispondere all'effetto significativamente più pronunciato sulla velocità dei deflettori verticali. Tuttavia, i tre tipi di interventi di moderazione del traffico risultano simili, se si considera il numero di lesioni personali evitate.

Gli autori dello studio spiegano la variazione nei risultati analizzando i singoli scenari di studio. Gli autovelox sono stati installati, per esempio, su strade con alto flusso di traffico e in siti in cui sono state registrate più collisioni con lesioni personali (quasi il doppio delle collisioni prima degli interventi) rispetto agli scenari in cui sono state installate le deviazioni verticali, generalmente su strade locali con flusso di traffico inferiore.

Per cui, oltre a dimostrare l'efficacia complessiva delle misure di moderazione del traffico nel ridurre significativamente il numero di collisioni e di collisioni con lesioni personali, l'articolo sottolinea l'importanza di considerare i contesti di implementazione al fine di confrontare l'efficacia delle diverse misure di mitigazione considerate.

b) Rotatorie

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

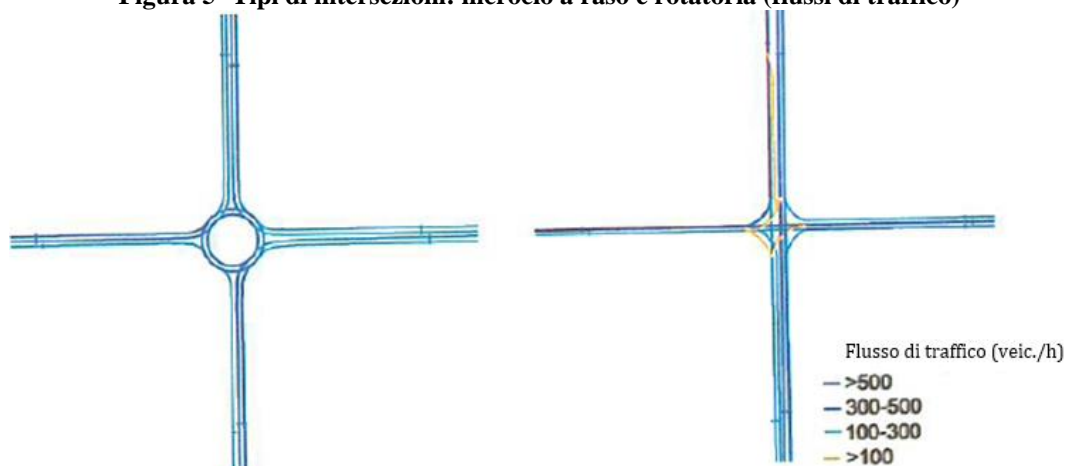
Le rotatorie hanno trovato un grande impiego in questi ultimi anni in molti contesti in ambito urbano ed extraurbano grazie a una serie di punti di forza:

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

Figura 4 – Esempio di rotatoria in uno scenario urbano

Fonte: NACTO Urban Street Design Guide

Per confrontare gli effetti relativi all'introduzione delle rotatorie rispetto agli incroci a raso, il progetto SONORUS riporta l'influenza della cinematica di veicoli attraverso una valutazione del traffico a scala "microscopica". I due tipi di intersezione sono relativi allo scenario di studio dell'area portuale di Frihamnen a Göteborg. Sono stati considerati 3 scenari per ogni tipologia di intersezione, a seconda della composizione dei flussi di traffico. La modellazione è stata effettuata senza considerare gli edifici e simulando un terreno pianeggiante.

Figura 5- Tipi di intersezioni: incrocio a raso e rotatoria (flussi di traffico)

Fonte: Urban Sound Planning – The SONORUS project

Per le due tipologie di intersezioni (incrocio a raso e rotatoria), sono stati considerati gli stessi flussi di traffico. In figura 5 vengono riportati i flussi di traffico per ciascun tratto stradale, con numero di veicoli/ora totale leggermente inferiore nella direzione E-W rispetto alla direzione N-S. Sono state considerate tre tipologie di veicoli: veicoli pesanti (HV > 12 tonnellate, come grandi autobus e veicoli pesanti), veicoli medio-pesanti (MHV = 3,5-12 ton) e veicoli leggeri (LV < 3,5 ton), riferiti all'ora di punta, ovvero il caso più critico (Tabella 4).

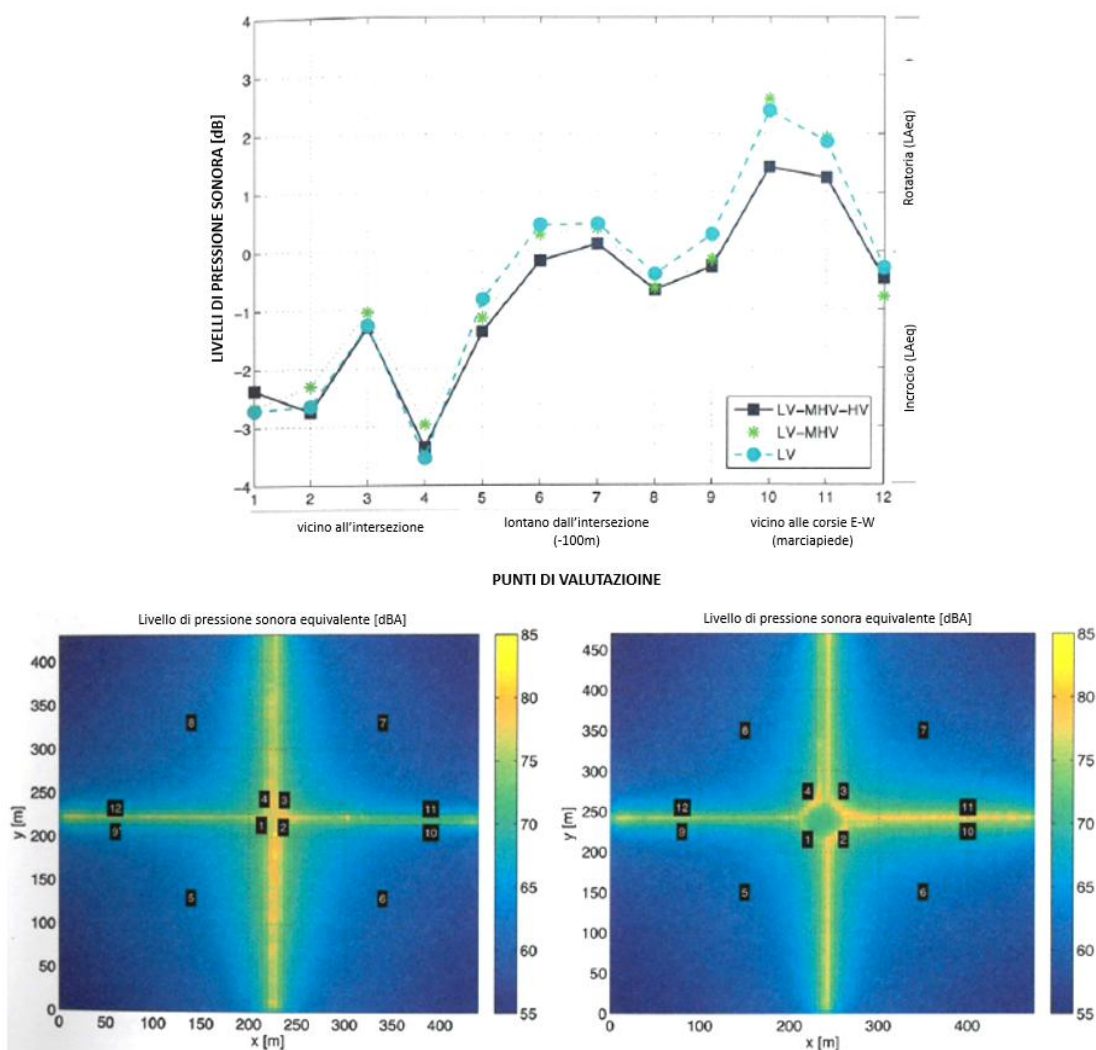
Tabella 4 – Distribuzione dei veicoli negli scenari considerati – ora di punta

Scenario	% Veicoli		
	Veicoli Leggeri (LV)	Veicoli Medio-Pesanti (MHV)	Veicoli Pesanti (HV)
1) LV-MHV-HV	92	4	4
2) LV-MHV	96	4	-
3) LV	100	-	-

Fonte: Urban Sound Planning – The SONORUS project

Negli scenari di studio sono state considerati 12 punti di valutazione. I risultati, riportati in figura 6, evidenziano che non tutti i punti di valutazione di un singolo scenario sono meno rumorosi, dal momento che la rumorosità dipende fortemente dalla composizione del flusso di traffico:

- le code in alcuni tratti rendono difficoltoso l'ingresso alla rotatoria; in questo caso, i punti che si trovano più in prossimità dell'intersezione presentano livelli di rumore più alti (1-4 dB);
- per i marciapiedi in direzione E-W, la rotatoria tende ad avere livelli di rumore più elevati (probabilmente a causa del basso flusso di traffico e la conseguente guida a velocità più elevata);
- per i punti di valutazione a 100 m dall'intersezione, il comportamento è simile per entrambe le intersezioni.

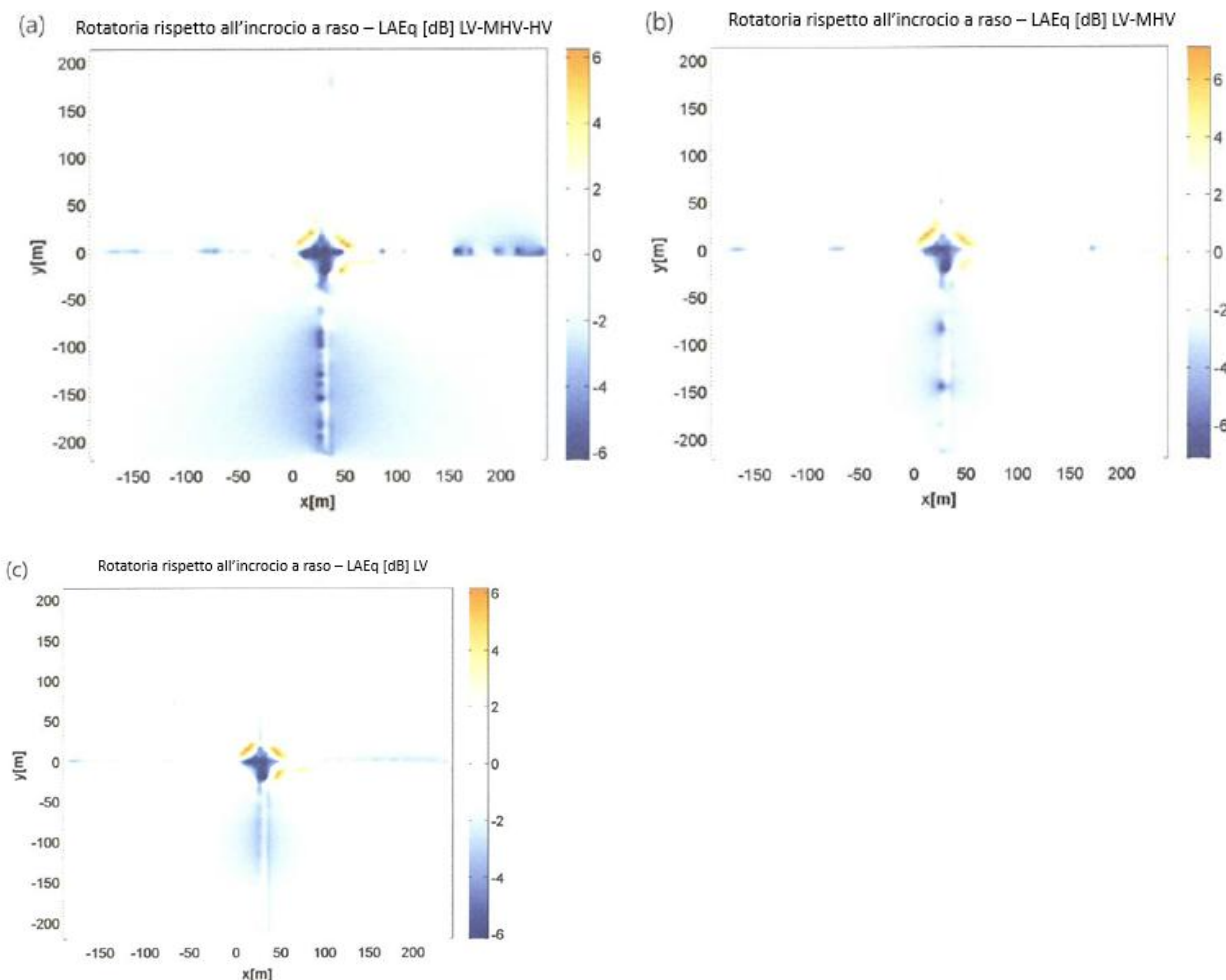
Figura 6- Livelli di pressione sonora (dB) relativi alle due tipologie di intersezioni, considerando la composizione dei flussi di traffico (veicoli pesanti, medio-pesanti e leggeri)

Fonte: Urban Sound Planning – The SONORUS project

Le mappe acustiche che mostrano la differenza del livello di pressione sonora equivalente tra le due tipologie di intersezioni (figura 7) evidenziano che:

- considerando diversi tipi di veicoli, l'intersezione a raso presenta livelli di pressione sonora più alti in quasi tutta l'area (colore blu), ma diventa molto simile ai livelli relativi alla rotatoria se si escludono i veicoli pesanti;
- l'effetto cinematico del veicolo evidenzia il comportamento stop-and-go rappresentato da puntini blu che indicano i livelli di rumore più alti a causa del flusso di traffico interrotto.

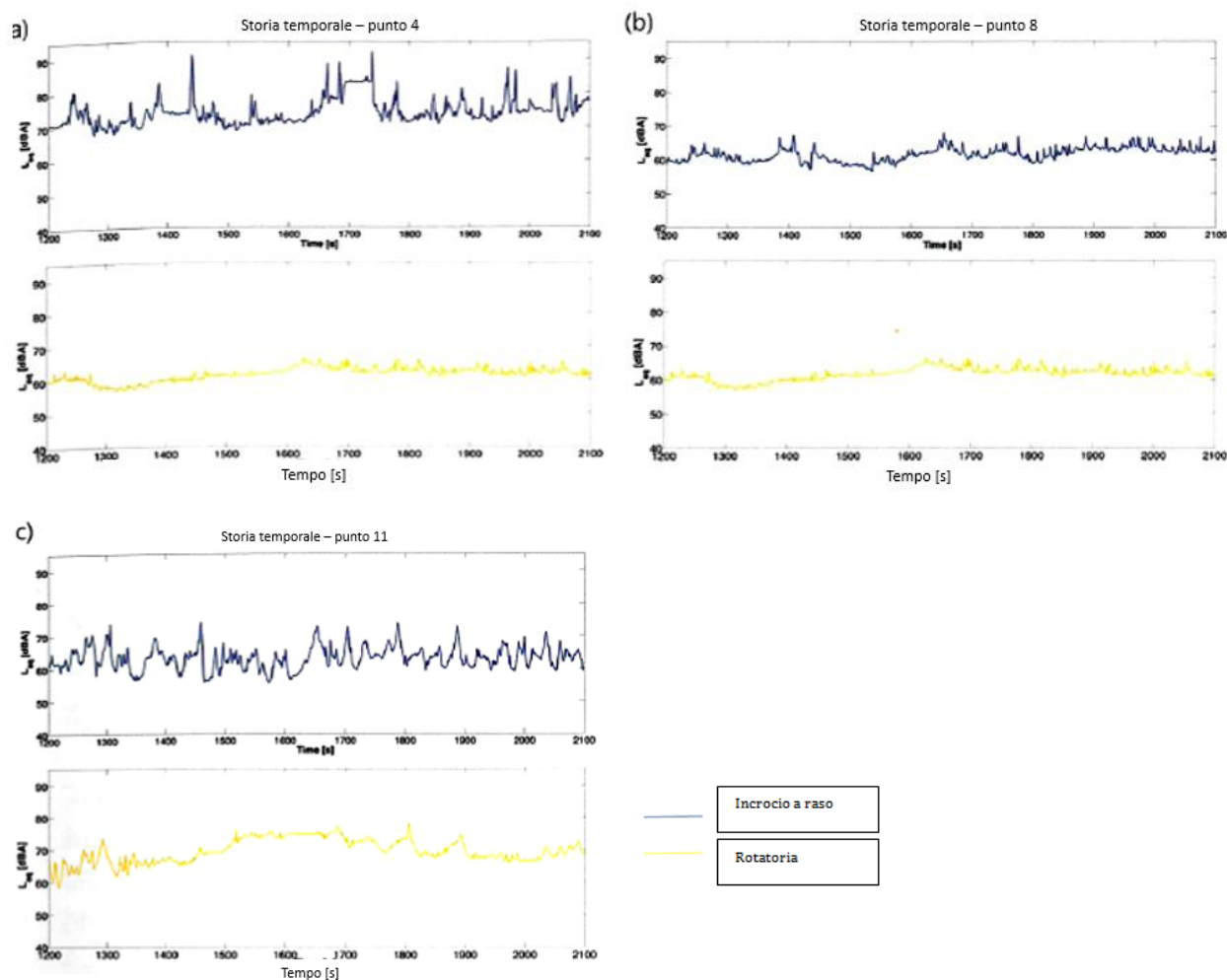
Figura 7- Mappa del livello sonoro equivalente per tre tipi di veicoli: leggeri, medio-pesanti and pesanti (a), veicoli leggeri e medio-pesanti (b), veicoli leggeri (c).



Fonte: Urban Sound Planning – The SONORUS project

Inoltre, in contesti urbani molto urbanizzati, gli eventi sonori che caratterizzano le storie temporali, mostrate in figura 8, determinano sensazioni di fastidio derivanti dalle alte variazioni del flusso di traffico.

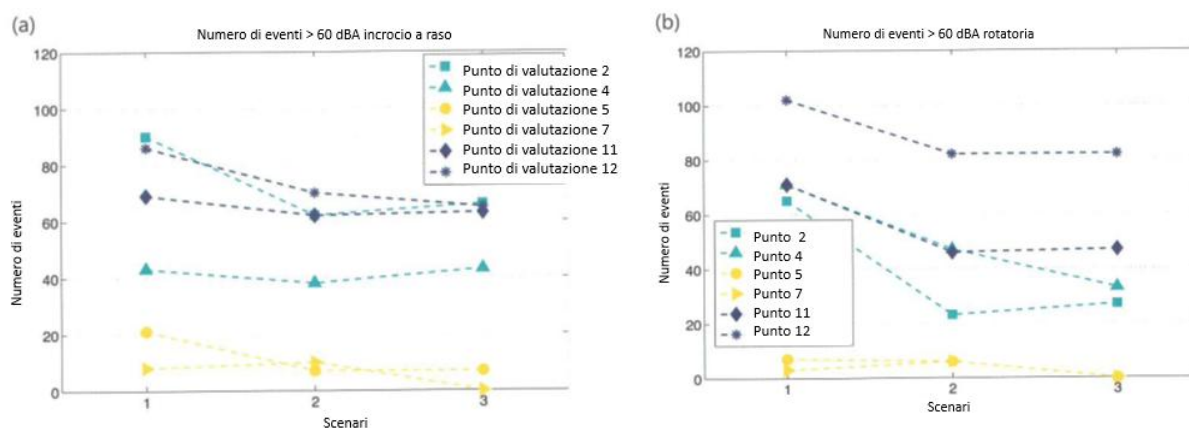
Figura 8 – Storie temporali (a) punto di valutazione 4 (all'intersezione), (b) punto di valutazione 8 (a 100m dall'intersezione), e (c) punto di valutazione 11 (sul marciapiede) per le due tipologie di intersezioni



Fonte: Urban Sound Planning – The SONORUS project

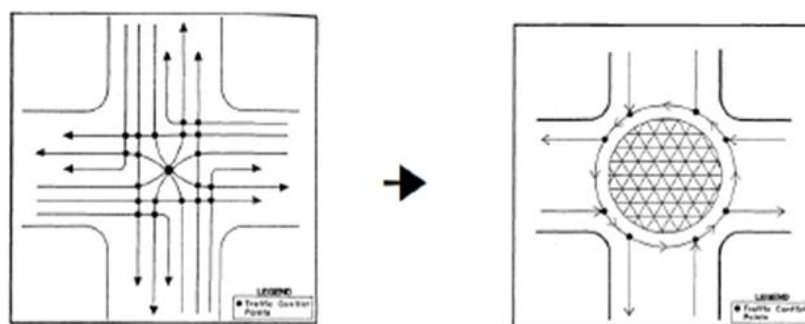
Nell'analisi del numero di eventi superiori a 60 dBA per le due intersezioni (vedi figura 9), è possibile inoltre notare che:

- si evidenzia una forte influenza dei veicoli pesanti, risultante da un ampio numero di eventi, specialmente negli scenari relativi all'intersezione con la rotatoria;
- escludendo i veicoli pesanti, le differenze iniziano a essere meno evidenti;
- la regola implicita di dare precedenza ai veicoli che hanno impegnato la rotatoria, crea una maggiore congestione in alcuni tratti della rete stradale, creando una situazione critica nel caso di elevati flussi di traffico;
- l'incrocio a raso mantiene un comportamento più costante considerando o escludendo diversi tipi di veicoli. In tal senso, lo studio ha evidenziato che la presenza di veicoli pesanti determina un punteggio più sfavorevole nel caso delle rotatorie.

Figure 9 – Numero di eventi superiori a 60 dBA per incroci a raso (a) e rotatorie (b)

Fonte: Urban Sound Planning – The SONORUS project

In riferimento agli aspetti legati alla sicurezza e agli effetti sulla salute in generale, una rotatoria riduce il numero di punti di potenziale conflitto (“posizioni in cui i percorsi dei due veicoli o i percorsi di un veicolo e di un ciclista o pedone possono incrociarsi o intersecarsi” - fonte: Ministère des Transports du Québec, 2007) tra gli utenti della strada pubblica, che può portare a una riduzione del numero di collisioni [7].

Figura 10 – Numero di punti di conflitto (punti neri nei diagrammi) per le due tipologie di intersezioni

Fonte: Stein, Kittelson, Newton, & Hottmann, 1992, p. 43 in Ewing, 1999, p. 111.
 © 1992 and 1999 Institute of Transportation Engineers, 1627 Eye Street, NW, Suite 600,
 Washington, DC 20006 USA, www.ite.org. Used by permission.

Uno studio condotto negli Stati Uniti [8] riporta la valutazione degli effetti sulla sicurezza derivanti dalla sostituzione di 24 incroci controllati da segnali di stop o semafori con delle rotatorie. La tabella 5 ne riassume i risultati.

Tabella 5 – Effetti delle rotatorie

Misure di moderazione del traffico	Collisioni	Collisioni con lesione personale	Collisioni con lesioni gravi e fatali
Rotatoria (n.24)	-38%*	-76%*	-89%*
Sostituzione dell'incrocio con segnale di stop con rotatoria a unica corsia (n.9)	-61%*	-77%*	-
Sostituzione dell'incrocio con segnale di stop con rotatoria a più corsie (n.6)	-5%*	-	-
Sostituzione dell'incrocio con semaforo con rotatoria a unica corsia (n.4)	-35%*	-74%*	-
*Variazione di almeno p<0.05. Fonte: Retting et al., 2001			

Secondo questo studio, le velocità ridotte e un numero minore di punti di conflitto a seguito dell'introduzione di rotatorie, giustificano la significativa riduzione del numero di collisioni registrate e della minor gravità di quelle che si verificano. È interessante notare che la

sostituzione di un incrocio controllato da segnali di stop con una rotatoria a corsia unica è particolarmente efficace nel ridurre il numero di collisioni e lesioni. Lo studio conclude che, quando le condizioni lo permettono, la sostituzione di un incrocio controllato da semafori o segnali di stop con una rotatoria, ha un notevole potenziale per la riduzione degli incidenti, ma soprattutto per la riduzione di infortuni e morti.

c) Dossi rallentatori e attraversamenti pedonali rialzati

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

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

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

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

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

Figura 11 – Schema illustrativo di un dosso rallentatore (a sinistra) e un esempio di attraversamento pedonale rialzato (a destra)



Fonte: NACTO Urban Street Design Guide



Fonte: Pilot-area "Brozzi-Quaracchi" a Firenze, progetto HUSH

Con riferimento agli aspetti legati alla sicurezza e alla salute in generale, l'articolo di Tester, J. M., Rutherford et al. (2004) [9] riporta, attraverso l'osservazione di un caso studio nella città di Oakland, negli Stati Uniti, l'efficacia dei dossi rallentatori nel ridurre le collisioni, specialmente quelle che causano morti e feriti fra i pedoni di età inferiore ai 15 anni. L'articolo analizza i dati di ammissione ai reparti ospedalieri di emergenza per un periodo di cinque anni (1995-2000) relativi ai casi di bambini investiti da un'auto nei pressi della propria abitazione (raggio di 0,4

km). L'articolo conclude che i dossi rallentatori rendono l'ambiente più sicuro per i pedoni di età inferiore ai 15 anni.

In riferimento alla qualità dell'aria, gli studi analizzati [10,11], riportano in generale come conseguenza dell'introduzione di dossi, un sostanziale aumento dei vari inquinanti in atmosfera. Secondo gli autori, la diminuzione e frequente variazione della velocità spiega gli aumenti registrati.

Nel 2005, la Society of Automotive Engineers International ha pubblicato un report [12] sull'impatto dei dossi rallentatori sulle emissioni di inquinanti atmosferici. Tuttavia, ci sono perplessità sul metodo utilizzato e quindi sulla validità dei risultati ottenuti. Infatti, per simulare una strada senza dossi, gli autori hanno guidato un'auto ad una velocità costante di 50 km/h su una strada con sette dossi rallentatori, mentre per simulare la presenza di sette dossi rallentatori di 80 mm, hanno guidato sulla stessa strada, rallentando a 16 km/h per superare i dossi rallentatori e accelerando fino a 32-50 km/h nel percorso tra un dosso e l'altro. Utilizzando apparecchiature installate sulla macchina stessa hanno misurato le emissioni in tempo reale, per cui l'impatto è relativo a una macchina con un carico molto pesante, non molto rappresentativo di una macchina con un carico medio. Inoltre, lo stile di guida imposto che ha previsto il rallentamento e poi l'accelerazione rapida tra i dossi rallentatori probabilmente ha portato ad una sovrastima delle emissioni medie. La tabella 6 riassume i risultati ottenuti.

Tabella 6 – Effetti dei dossi rallentatori sulle emissioni in atmosfera

Misure di moderazione	Tipo di veicolo (auto alimentate a gas)	CO	HC	CO ₂ /Carburante	NO _x	PM
Dossi rallentatori	Con catalizzatore	+117%	+148%	+90%/+35%	+195%	-
Note: nessun test di significatività statistica						
Fonte: Daham et al., 2005						

In base a questi risultati, i dossi rallentatori generano un aumento significativo delle emissioni in atmosfera. Tuttavia, questi risultati devono essere interpretati con cautela in quanto è stato modificato lo stile di guida (da calmo a aggressivo) e poiché questi risultati non sono probabilmente rappresentativi di una macchina con un carico medio.

d) Isole di traffico

Le isole di traffico sono una struttura molto utile sia per la sicurezza dei pedoni nell'attraversare la carreggiata (soprattutto se si tratta di carreggiate ampie e con elevati flussi) sia per moderare il traffico e impedire i sorpassi.

Generalmente infatti, nelle strade larghe con flusso di traffico continuo, si verificano elevanti tempi di attesa dei pedoni per l'attraversamento, che spesso oltrepassano una corsia di marcia per volta, trovandosi al centro della carreggiata in una posizione di pericolo.

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

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

- sono costruite in serie;
- sono collegate dalla segnaletica orizzontale;
- l'automobilista in presenza della segnalazione dell'isola di traffico, adegua la guida che risulta più prudente (modera la velocità e non sorpassa);
- la presenza delle isole di traffico e la loro segnalazione è comunque una chiara indicazione che la strada che si sta percorrendo è ad alta e diffusa presenza di pedoni.

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

Le isole di traffico sono comunque più efficienti se accompagnate anche da un'adeguata segnaletica verticale (meglio un ampio presegnalamento della presenza dell'isola con la presegnalazione orizzontale a circa 40-50 metri).

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

Un'isola di traffico isolata e con una segnaletica minimale può costituire un elemento di pericolo.

Figura 12 – Schema illustrativo di un'isola di traffico



Fonte: NACTO Urban Street Design Guide

e) Dispositivi per il controllo elettronico della velocità

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

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

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

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

Figura 13 – Esempio di autovelox

La riduzione del rumore di questi tipi di dispositivi non è garantita perché la riduzione della velocità del veicolo avviene essenzialmente in prossimità del solo dispositivo elettronico installato ed è legata anche alla rumorosità generata dal fenomeno stop-and-go.

2.3. Interventi strategici

Per quanto riguarda gli interventi strategici, l'abaco riporta gli effetti delle seguenti soluzioni:

- a) Piano Urbano del Traffico;
- b) Mezzi pubblici elettrici;
- c) Zone 30 km/h.

a) Piano Urbano del Traffico

Il Piano Urbano del Traffico (PUT), previsto dall'art. 36 del Codice della strada, è obbligatorio per i comuni con più di 30.000 abitanti ed è costituito da un insieme coordinato di interventi per il miglioramento delle condizioni della circolazione stradale in ambito urbano, dei pedoni, dei mezzi pubblici e dei veicoli privati.

Lo studio della viabilità è strettamente connesso con la mappatura acustica. Solo una valutazione complessiva e strategica del Piano Urbano del Traffico, tenendo in considerazione anche l'aspetto acustico, consente di ottimizzare la distribuzione dei flussi di traffico riducendo l'esposizione al rumore della popolazione.

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

Nell'ambito del Progetto SONORUS, sono stati valutati nell'area pilota di Frihamnen, 9 ipotetici scenari di studio. Di questi nel report del progetto SONORUS vengono riportati i risultati dei seguenti 5 scenari ritenuti maggiormente significativi:

Scenario 1. Scenario base (stato attuale);

Scenario 2. Spostamento del traffico da una strada principale a strade adiacenti;

Scenario 5. Riduzione della velocità in autostrada nei pressi dell'area;

Scenario 8. Rimozione dei veicoli medio-pesanti e pesanti;

Scenario 9. Trascurare l'effetto dell'accelerazione dei veicoli.

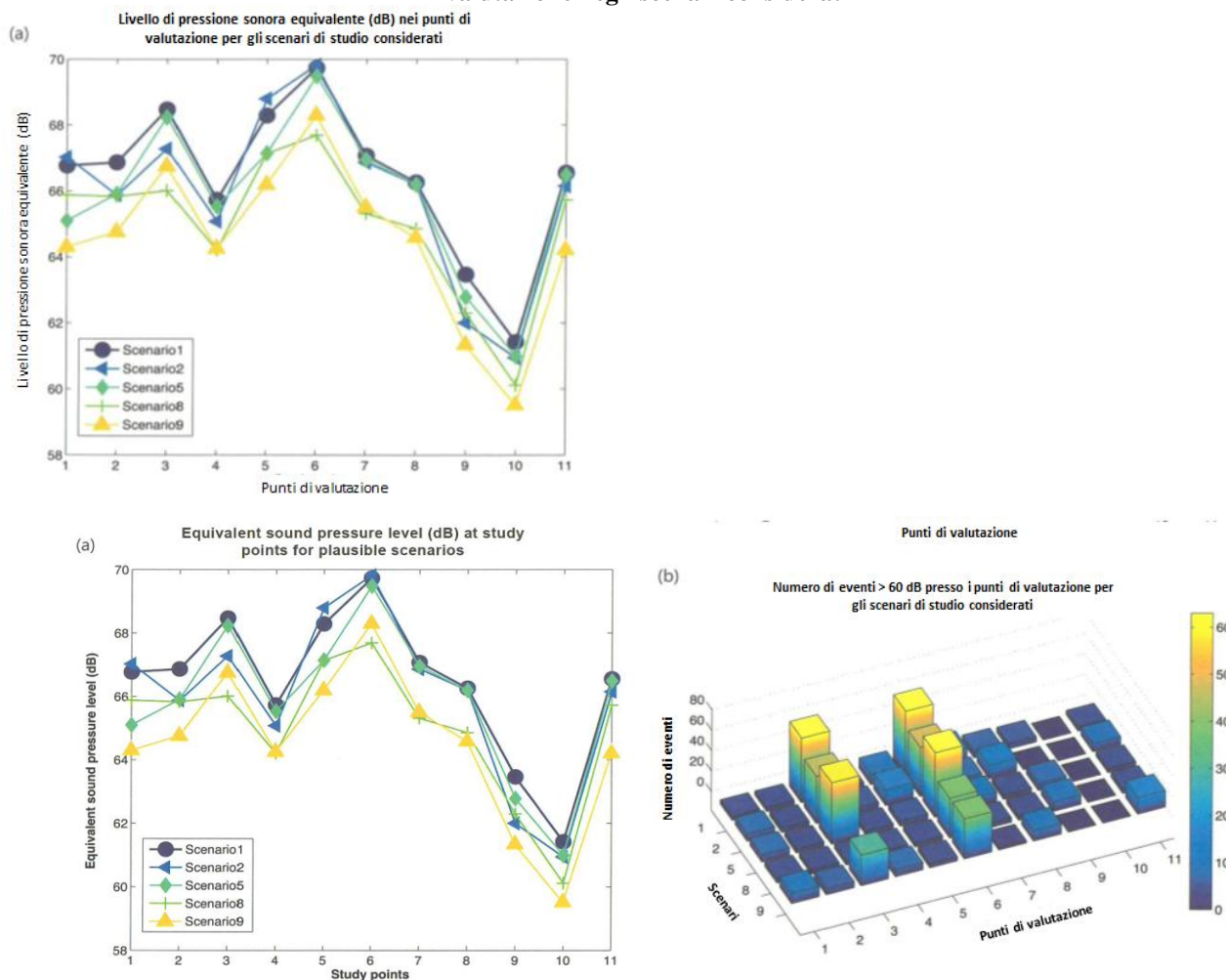
Nella figura 14, vengono riportati i livelli equivalenti di pressione sonora (a) e il numero di eventi superiori a 60 dB (b) per i diversi scenari.

Nel caso dello scenario 8, che prevede la rimozione dei veicoli pesanti e medio-pesanti, le riduzioni del livello di pressione sonora equivalente (LAeq) sono compresi tra 1 e 3 dB. Lo

stesso si verifica nello scenario 9 in cui non viene considerato il rumore di accelerazione dei veicoli.

Inoltre, il numero di eventi rumorosi superiori a 65 dB, si riducono drasticamente nello scenario senza veicoli pesanti (scenario 8) per la maggior parte dei punti (più del 60% in meno per diversi punti di valutazione). Nel caso dello scenario che prevede uno spostamento dei flussi di traffico, le riduzioni delle emissioni acustiche sono visibili su più punti di valutazione, anche se si riscontra un numero di eventi maggiore sugli altri punti di valutazione, dovuto essenzialmente a un aumento del traffico sulle strade adiacenti.

Figura 14 – Livello di pressione sonora (a) e numero di eventi superiori a 60 dBA (b) per tutti i punti di valutazione negli scenari considerati



Fonte: Urban Sound Planning – The SONORUS project

b) Mezzi pubblici elettrici

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

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

c) Zona 30 km/h

La Zona 30 è un intervento strategico per la moderazione del traffico in ambito urbano.

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

Si tratta di un'area in cui la rete stradale presenta un limite di velocità di 30 km/h invece dei 50 km/h previsti dal codice stradale in ambito urbano.

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

Le Zone 30 si possono realizzare in qualsiasi città, se si ha l'accortezza di avere strade adiacenti con velocità di percorrenza non superiori a 50 km/h. In alternative, ad esempio se si hanno strade con velocità di percorrenza di 70 km/h, occorre prevedere zone cuscinetto con velocità intermedie di 50 km/h.

Nelle Zone 30 è opportuno prevedere interventi per favorire la mobilità di pedoni e ciclisti, come la riduzione dello spazio di circolazione automobilistica a favore dello spazio riservato alle piste ciclabili, ai percorsi pedonali, e la creazione di aree dedicate alla vita sociale.

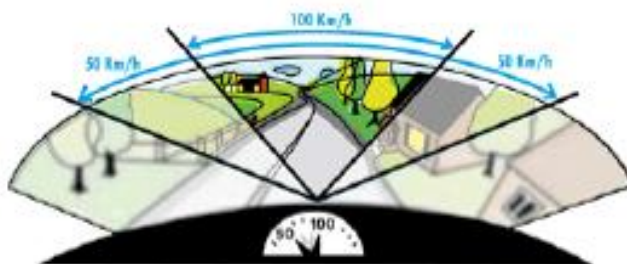
Per favorire la riduzione della velocità dei veicoli occorre prevedere una serie di interventi strutturali sul traffico (chicane, restringimenti della carreggiata, attraversamenti pedonali rialzati, rotonde, isole di traffico, ecc.).

Dal punto di vista acustico, la creazione di una zona 30 potrebbe comportare una riduzione di 3-4 dBA all'interno dell'area 30, connessa alla riduzione della velocità dei veicoli leggeri.

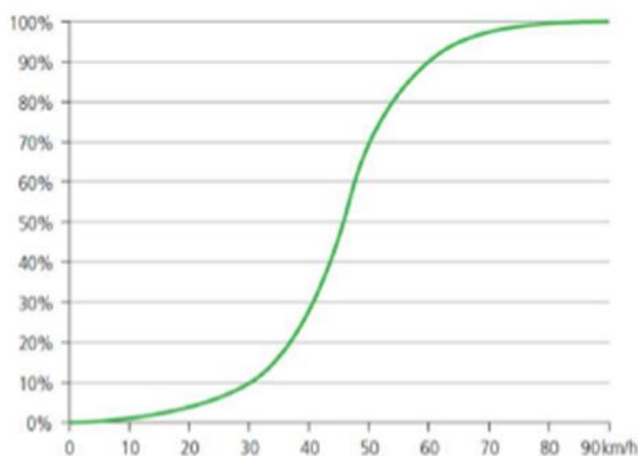
Figura 15 – Esempio di zona 30 km/h



Secondo gli studi consultati, la riduzione della velocità del veicolo può influenzare in positivo la sicurezza stradale. Una ricerca dimostra che il numero e la gravità delle collisioni aumenta con la velocità [10]. Un altro studio dimostra anche che la diminuzione di ogni 1,6km/h in ambito urbano comporta una diminuzione del 3-6% delle collisioni, a seconda di quanto è importante il flusso della strada [13]. La figura 16 illustra che con l'aumento della velocità, il campo visivo del conducente diminuisce da circa 150 gradi corrispondenti a velocità molto basse a circa 75 gradi a 100 km/h, riducendo così la probabilità di notare per tempo una situazione di pericolo. Inoltre, aumentando la velocità aumenta anche la distanza che percorre il veicolo al momento della frenata, riducendo di conseguenza la probabilità del veicolo di fermarsi in tempo ed evitare una collisione. Ad esempio, una macchina che viaggia a 30 km/h su una pavimentazione asciutta, e il cui conducente ha un tempo di reazione pari a 2 secondi, si arresta dopo aver percorso una distanza di poco più di 20 metri. A 50 km/h, la stessa auto percorre il doppio della distanza, poco più di 40 metri [14]. La gravità delle collisioni aumenta anche con la velocità, soprattutto per pedoni e ciclisti. In linea generale, comunque, riducendo il limite di velocità riduce il numero e la gravità delle collisioni.

Figura 16 – Restringimento del campo visivo all'aumentare della velocità

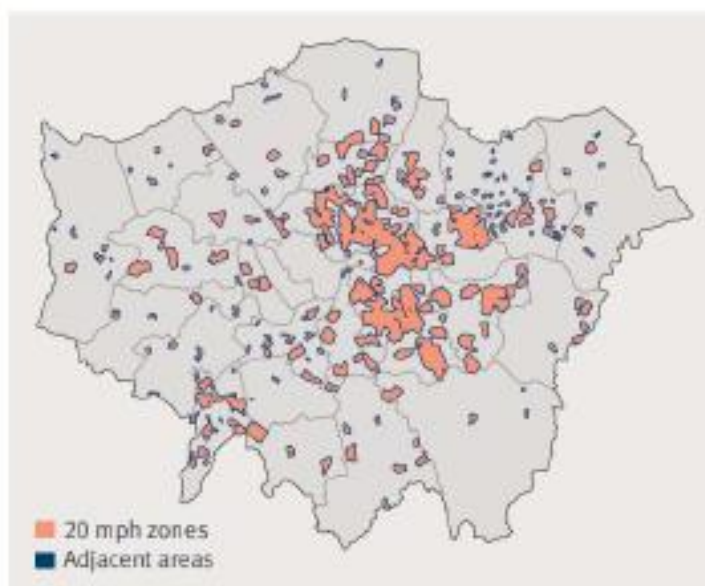
Fonte: Société de l'assurance automobile du Québec, 2011

Figura 17 – Probabilità di morte dei pedoni in un incidente stradale in relazione alla velocità all'impatto

Per ogni 10 pedoni colpiti, 3 sopravvivono a 50 km/h, e 9 a 30 km/h

Fonte: Adapted from Bureau de prévention des accidents, 2008b

Uno studio condotto a Londra, esamina le 399 zone con limite di velocità pari a 20 mph (32 km/h, limite di velocità vigente a Londra, dal 1990) [15, 16].

Figura 18 – zone 20 mph e aree adiacenti a Londra, UK

Fonte: Grundy et al., 2009, p. 2.

Lo studio riporta gli effetti legati alle collisioni, lesioni e morti che si verificano all'interno delle zone a velocità limitata e in prossimità delle aree periferiche. In genere, l'ingresso e l'uscita dalle zone a velocità limitata sono contrassegnate con apposita segnaletica e il traffico all'interno

delle zone è mitigato, in particolare, attraverso l'utilizzo di attraversamenti pedonali rialzati o deviazioni orizzontali (es. chicane). Le dimensioni delle zone a traffico limitato vanno da un tratto di strada da 0,07 km a un massimo di 37 km complessivi, con una dimensione media di 3,6 km. Gli autori hanno utilizzato i dati delle collisioni raccolti dal Dipartimento di Polizia per un periodo di venti anni (1986-2006) per verificare l'effetto delle zone a traffico limitato sulle strade all'interno dell'area in esame e verificare, se tali collisioni, si fossero spostate nelle strade adiacenti (raggio di 150 m). Secondo i risultati presentati, le zone 20 mph determinano una significativa riduzione del numero di collisioni; in particolare, una riduzione del 37,5% (IC 95%: -31,6 a -43,4), senza alcuna indicazione sullo spostamento delle collisioni nelle strade adiacenti. Infatti, una significativa riduzione di collisioni pari a 7,4% (IC 95%: -3.8 a -11.0) è stata riscontrata anche nelle periferie delle zone a traffico limitato, anche se probabilmente non è direttamente collegata alla creazione della zona a traffico limitato. La tabella 8 riporta i risultati relativi al numero di feriti sulle strade per categoria di utenti.

Tabella 7 – Efficacia delle zone a 20mph (32km/h) in termini di riduzione di vari tipi di collisioni

	Pedoni { CI 95% }	Ciclisti { CI 95% }	Guidatori o passeggeri { CI 95% }	Motociclisti { CI 95% }	Totale { CI 95% }
Collisioni con lesione personale	-32.4%* { -37.7 to 27.1 }	-16.9%* { -29.0 to -4.81 }	-52.5%* { -62.4 to -42.5 }	-32.6%* { -43.4 to -21.7 }	-41.9%* { -47.8 to -36.0 }
0-15 anni	-46.2%* { -55.5 to -36.8 }	-27.7%* { -49.1 to -6.3 }	-	-	-48.5%* { -55.0 to -41.9 }
Collisioni con morte o gravemente feriti	-34.8%* { -47.5 to -22.18 }	-37.6%* { -60.9 to -14.4 }	-61.8%* { -71.7 to -52.0 }	-39.1%* { -59.1 to -19.0 }	-46.3%* { -54.1 to -38.6 }
0-15 anni	-43.9.8%* { -61.3 to -26.6 }	-	-	-	-50.2%* { -63.2 to -37.2 }

Note: Variazione significativa almeno di $p < 0.05$
Fonte: Grundy et al., 2008b, 2009

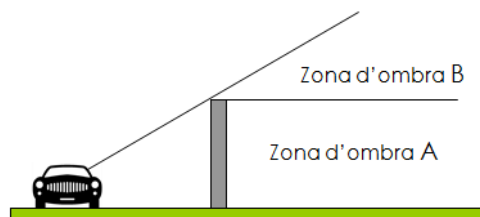
I risultati riportati nella tabella precedente dimostrano che le zone 20 mph riducono significativamente il numero di collisioni con lesioni personali (PIC) e di collisioni con morti o gravemente feriti (KSI) per vari gruppi di utenti della strada pubblica. Le stime puntuali indicano che le zone 20 mph sono particolarmente efficaci nel proteggere i bambini (0-15 anni). Nessuna differenza significativa è stata riscontrata rispetto all'efficacia della riduzione delle collisioni tra aree piccole (meno di 3.6 km) o più ampie (oltre i 3,6 km).

2.4. Barriere antirumore

a) Barriere antirumore tradizionali

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

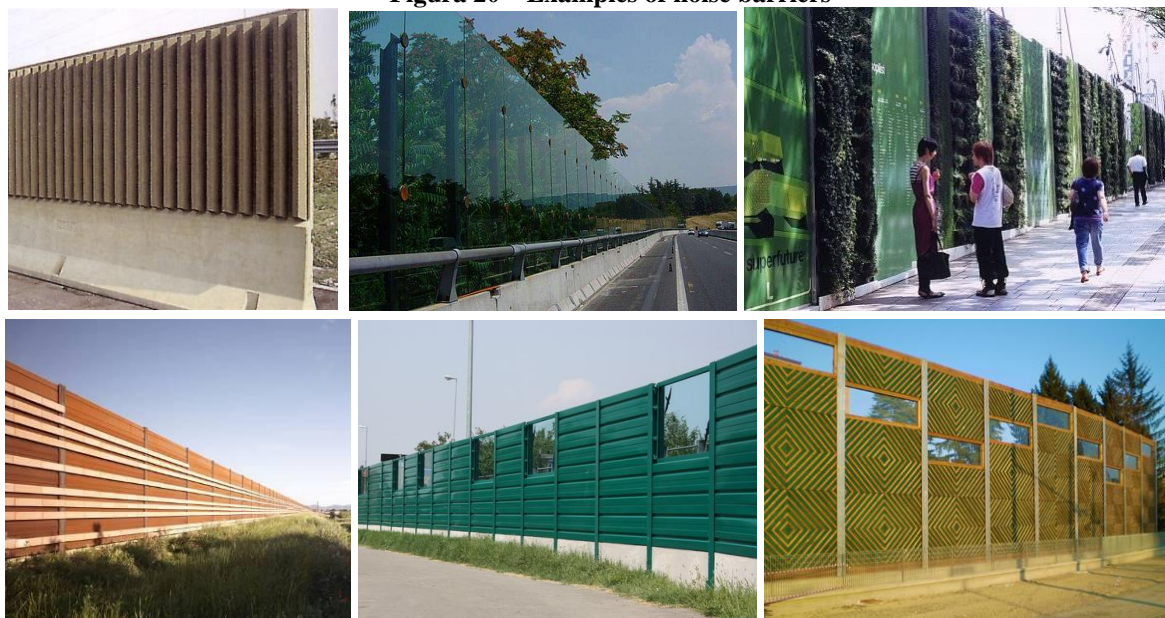
Nelle schede dell'abaco, per la valutazione dell'efficacia dell'intervento, è stata utilizzata la rappresentazione schematica definita nel D.M. 29/11/2000 nella quale l'attenuazione acustica media di una barriera antirumore è di 14 dB nella zona A e 7 dB nella zona B; al di fuori di queste zone, l'attenuazione può essere considerata pari a 0 dB.

Figura 19 –Zone d'ombra A e B di una barriera acustica

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

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

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

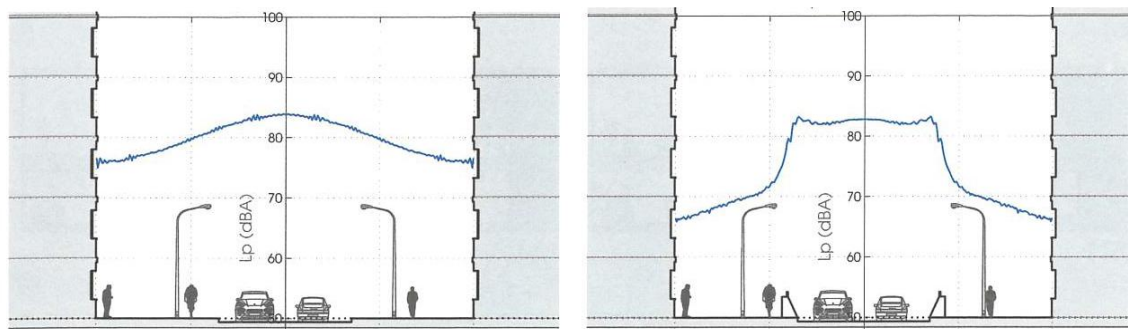
Figura 20 – Examples of noise barriers

In riferimento agli effetti sulla qualità dell'aria, è stato dimostrato che le barriere antirumore riducono le concentrazioni di inquinanti atmosferici. In particolare, entro i 15-50 metri dal ciglio della strada, i livelli di concentrazione di inquinanti atmosferici, nella condizione sottovento, possono ridursi fino al 50% rispetto allo scenario senza la barriera a bordo strada.

b) Barriere basse alla sorgente

In ambito urbano, in scenari tipo “canyon”, convivono insieme veicoli, pedoni e ciclisti. In questi contesti, le barriere basse alla sorgente hanno uno scarso effetto di riduzione del rumore rispetto alle facciate che delimitano la strada, ad eccezione per i piani più bassi. Tuttavia, è stato dimostrato dal Progetto SONORUS che, se le barriere basse alla sorgente sono di forma appropriata, possono ridurre i livelli sonori rispetto ai pedoni.

Figura 21 – Riduzione dei livelli di rumore ai pedoni per effetto di barriere basse e inclinate alla sorgente

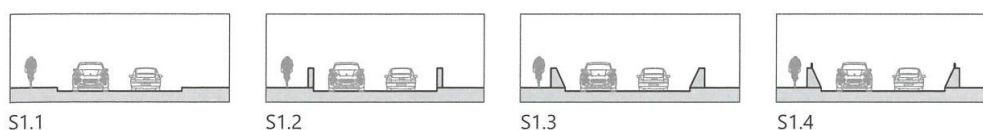


Fonte: Urban Sound Planning – The SONORUS project

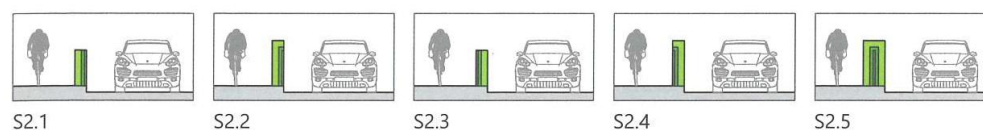
Nelle figure successive sono mostrati gli scenari di studio analizzati nell’ambito del Progetto SONORUS, con riferimento alle barriere basse alla sorgente.

Figura 22 – Casi studio: barriere basse alla sorgente – Progetto SONORUS

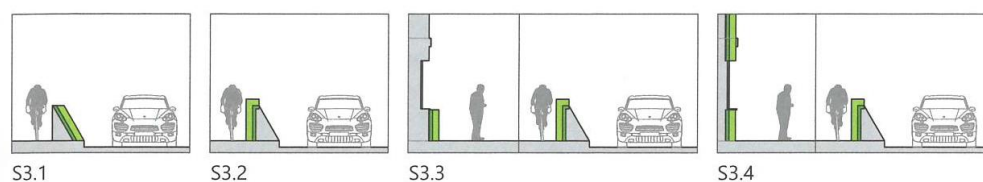
(f)



(g)



(h)



Fonte: Urban Sound Planning – The SONORUS project

I principali risultati dei casi studio sopra riportati possono essere riassunti di seguito:

- una barriera bassa verticale alla sorgente riduce la rumorosità di oltre 4 dB(A) per i pedoni;
- l'inclinazione di una barriera bassa alla sorgente riduce di ulteriori 3 dB(A) per i pedoni (8 dB(A) in totale);
- un'inclinazione di 30 gradi della barriera bassa alla sorgente è risultata la forma più vantaggiosa per le dimensioni del canyon in esame;
- l'assorbimento acustico della barriera bassa produce una riduzione di 4 dB(A) per i pedoni;

- il posizionamento di materiale fonoassorbente sul lato sorgente risulta essere il più efficace (scenario S2.3), con un contributo di attenuazione pari 2 dBA;
- il posizionamento di materiale fonoassorbente sul lato ricettore risulta essere il meno efficace (scenario S2.2);
- l'aggiunta di materiale fonoassorbente sulla parte superiore della barriera (scenari S.2.2 o S.2.4) riduce ulteriormente di 1 dBA per i pedoni, nonostante la ridotta superficie di rivestimento;
- la riduzione massima ottenuta rispetto allo scenario senza barriera è di circa 9 dBA, considerando tutte le superfici della barriera bassa come fonoassorbenti (scenario S2.5).
L'aggiunta di materiale fonoassorbente su una barriera bassa inclinata ha effetti differenti rispetto a una barriera verticale:
- la variazione del fonoassorbimento su una barriera bassa inclinata è di 2 dB(A);
- il posizionamento dell'assorbimento sul bordo superiore e sul lato ricettore della barriera risulta essere quello più efficace;
- l'aggiunta di materiale fonoassorbente sul lato sorgente non ha alcun effetto aggiuntivo per la barriera inclinata.

3. Conclusioni

Il presente report tecnico riporta un'analisi dello stato dell'arte sui possibili interventi nelle Low Emission Zone (LEZ) e i loro effetti sulla qualità dell'aria, il rumore e la salute.

L'azione A1.5 raccoglie le soluzioni progettuali più recenti in ambito urbano per la riduzione del rumore, il miglioramento della qualità dell'aria e della salute.

L'abaco delle soluzioni progettuali verrà aggiornato e integrato con le soluzioni relative alle pavimentazioni a bassa rumorosità in ambito urbano, appena si renderanno disponibili i risultati del progetto LEOPOLDO 2 (attualmente in corso), nell'ambito dell'attività di networking con i partner del progetto stesso.

4. Bibliografia

- [1] Abbott, P., Tyler, J., & Layfield, R. (1995). Traffic calming: vehicle noise emissions alongside speed control cushions and road humps (Report No. TRL 180). Crowthorne, Berkshire: Transport Research Laboratory.
- [2] Owen, B. (2005). Air quality impacts of speed-restriction zones for road traffic. *Science of The Total Environment*, 340, 13-22.
- [3] Sergerie, D., King, N., Drouin, L., Fortier, I., Smargiassi, A., & Maurice, P. (2005). Road Speed: Health Impact and Counteractive Measures. Scientific Review. Institut national de santé publique du Québec.
- [4] Environmental Protection Agency & U.S. Department of Energy. (2010). Fuel Economy Guide. U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Department of Energy.
- [5] Transportation Research Board. (1995). Expanding Metropolitan Highways: Implications for Air Quality and Energy Use (Special report No. 245). Washington, D.C.: National Academy Press.
- [6] Mountain, L. J., Hirst, W. M., & Maher, M. J. (2005). Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures? An evaluation of the relationship between speed and accident reductions. *Accident Analysis & Prevention*, 37, 731-741.
- [7] Ewing, R. (1999). Traffic Calming: State of the Practice. Washington, DC, USA: Institute of Transportation Engineers/Federal Highway Administration.
- [8] Retting, R. A., Bhagwant, P. N., Garder, P. E., & Lord, D. (2001). Crash and Injury Reduction Following Installation of Roundabouts in the United States. *American Journal of Public Health*, 91(4), 628-631.
- [9] Tester, J. M., Rutherford, G. W., Wald, Z., & Rutherford, M. W. (2004). A Matched Case-Control Study Evaluating the Effectiveness of Speed Humps in Reducing Child Pedestrian Injuries. *American Journal of Public Health*, 94(4), 646-650.
- [10] Boulter, P. G., Hickman, A. J., Latham, S., Layfield, R., Davidson, P., & Whiteman, P. (2001). The impacts of traffic calming measures on vehicle exhaust emissions (Report No. TRL 482). Crowthorne, Berkshire: Transport Research Laboratory.
- [11] Boulter, P. G. & Webster, D. C. (1997). Traffic calming and vehicle emissions: A literature review (Report No. TRL 307). Crowthorne, Berkshire: Transport Research Laboratory.
- [12] Daham, B., Andrews, G. E., Li, H., Partridge, M., Bell, M. C., & Tate, J. (2005). Quantifying the Effects of Traffic Calming on Emissions Using On-road Measurements (Report No. 2005-01-1620). Warrendale, U.S.: SAE International.
- [13] Taylor, M. C., Lynam, D. A., & Baruya, A. (2000). The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents (Report No. TRL 421). Crowthorne, Berkshire: Transport Research Laboratory.
- [14] Bureau de prévention des accidents. (2008a). Route et lois physiques. Mieux comprendre pour mieux conduire (avec formules).
- [15] Grundy, C., Steinbach, R., Edwards, P., Wilkinson, P., & Green, J. (2008b). 20 mph Zones and Road Safety in London: A report to the London Road Safety Unit. London: London School of Hygiene and Tropical Medicine.
- [16] Grundy, C., Steinbach, R., Edwards, P., Green, J., Armstrong, B., & Wilkinson, P. (2009). Effect of 20 mph traffic speed zones on road injuries in London, 1986-2006: controlled interrupted time series analysis. *BMJ*, 339, b4469.

