

# Valutazione di Impatto Acustico Ambientale Previsionale

Angelo Farina

Dip. Ing. Industriale, Università di Parma, Via delle Scienze – 43100 PARMA

Tel. 0521 905854 – fax 0521 905705 – E-MAIL: farina@pcfarina.eng.unipr.it

## 0. Finalità e scopi

### 1. Contenuti della valutazione di impatto acustico ambientale

La valutazione di impatto acustico di una nuova opera può essere effettuata mediante modelli numerici di calcolo, cosa che presenta numerosi vantaggi rispetto ad altre metodiche previsionali (modelli in scala, metodi empirici).

L'impostazione del presente lavoro si basa sul massiccio impiego di modelli matematici per la previsione della propagazione del suono [1], ed in particolare del modello SCHALL 03 [2] per il rumore ferroviario e del modello RLS 81 [3,4] per il rumore stradale. Tali sigle identificano procedure di calcolo standardizzate, sviluppate dal Ministero Federale Dei Trasporti della Germania; in tale paese queste procedure di calcolo sono obbligatorie, mentre attualmente in Italia non esiste alcun modello di calcolo "ufficiale" per il rumore stradale o ferroviario.

Va tuttavia segnalato che il Ministero dell'Ambiente ha recentemente ultimato un programma sperimentale, finanziato dalla CEE come Progetto DISIA, all'interno del quale è stata effettuata anche la messa a punto di due nuovi modelli numerici per la valutazione della rumorosità ambientale su vaste aree e per la progettazione di opere di bonifica acustica.

Ovviamente tutti i modelli numerici richiedono una adeguata taratura prima di poter venire impiegati con ragionevole accuratezza, anzi tipicamente l'accuratezza complessiva da essi ottenibile è generalmente definita in maggior misura dall'accuratezza dei dati di input e dei rilievi sperimentali di taratura, piuttosto che dagli intrinseci limiti di precisione connessi con la modellizzazione matematica semplificata del campo sonoro [5].

Deve venire pertanto innanzitutto implementata una adeguata campagna di rilievi strumentali, con lo scopo di disporre da un lato di accurati dati geometrici per la definizione delle porzioni di territorio da studiare, dall'altro di rilievi acustici da impiegare per la validazione dei risultati del modello di calcolo. Esigenze di economicità e ristrettezza dei tempi disponibili portano comunque all'esecuzione di una mole di rilievi sperimentali relativamente ridotta rispetto all'estensione dell'area da studiare, visto che il loro scopo primario è quello di fornire dati per la taratura dei modelli, e non consentire direttamente il tracciamento della mappa del rumore sulla base dei soli rilievi sperimentali.

I valori di rumorosità ottenuti dai modelli matematici vanno poi confrontati con i limiti di legge, dei quali tratta estesamente la relazione dell'ing. Franchini.

#### 1.1 Analisi della rumorosità esistente

La prima fase del procedimento di verifica della compatibilità acustica dell'opera progettata con i limiti di legge consiste nella determinazione dello stato di fatto acustico, senza tenere conto di eventuali situazioni anomale in essere attualmente causa la presenza di attività di cantiere nell'area, ma considerando semplicemente la stessa priva sia di edifici, sia di alcuna attività umana.

Da tali dati è poi possibile estrapolare la nuova situazione acustica connessa alla realizzazione dell'opera, supponendo inalterato il rumore residuo e viceversa andando a stimare l'incremento di emissione sonora causato dal traffico stradale aggiuntivo e dalle sorgenti fisse.

La definizione dello stato di fatto è possibile con tre diverse metodiche: modellazione numerica, rilievo sperimentale e tecnica combinata.

L'impiego di una pura modellazione matematica è in grado di definire con un certo grado di incertezza il rumore emesso dal transito dei treni e dei veicoli stradali, ma non può fornire alcuna indicazione sulla rumorosità residua di tipo "naturale", e pertanto non consente una verifica del rispetto dei limiti differenziali. Inoltre, in assenza di taratura, l'errore che si può commettere sul rumore emesso è di tale entità da rendere problematica anche la valutazione del rispetto dei limiti assoluti.

Viceversa l'impiego esclusivo di tecniche di rilievo sperimentale è in grado di fornire l'accurata identificazione dei vari contributi alla rumorosità ambientale (ad es. ferroviario e stradale), tramite moderne tecniche di analisi statistica del tracciato temporale della rumorosità. Ciononostante la tecnica è estremamente dispendiosa, in quanto richiede in ciascun punto un rilievo in continua di almeno 24 ore (ed in alcuni punti addirittura di una settimana). Tenendo conto della estensione dell'area da studiare, della variabilità spaziale della rumorosità residua e della eventuale presenza di una altimetria molto movimentata, si può ritenere che sarebbero necessari decine di rilevamenti di 24 ore ed alcuni di una settimana anche per aree non troppo vaste. Procedere dunque solo sulla base di rilievi sperimentali è sconsigliabile in quanto produrrebbe tempi e costi troppo elevati in rapporto all'intero budget dell'opera.

E' pertanto preferibile che la diagnostica della rumorosità venga attuata con un sistema ibrido, costituito da un lato da una modellazione numerica della propagazione del rumore, dall'altro da una verifica e taratura dei modelli di calcolo mediante un congruo numero di rilievi strumentali "intelligenti", eseguiti cioè esplicitamente con lo scopo di raccogliere dati per la modellazione, e dunque corredati della raccolta di dati sulle sorgenti del rumore rilevato (ad es. dati di traffico).

L'impiego di moderne tecniche di campionamento digitale ed analisi statistica del segnale acustico consentono poi di effettuare i rilevamenti per lunghi periodi ed in automatico, aumentando la validità statistica degli stessi e riducendo grandemente i costi e l'impiego di personale. Inoltre i moderni programmi di calcolo della propagazione si interfacciano direttamente alla strumentazione digitale di misura, consentendo l'eliminazione di ogni errore umano legato alla trascrizione dei dati ed addirittura implementando procedure "intelligenti" di auto-taratura del modello stesso.

L'approccio ibrido comporta da un lato una notevole riduzione del numero di rilievi strumentali atti a caratterizzare un vasto territorio, dall'altro fornisce alla fine uno strumento predittivo accurato e sensibile, grazie al quale si possono effettuare facilmente analisi previsionali atte a valutare gli effetti acustici di interventi sul territorio stesso.

## **1.2 Simulazione dello stato di progetto**

Solitamente vengono analizzate matematicamente 4 diverse ipotesi, corrispondenti ai 2 periodi (diurno e notturno) ed alla presenza o di interventi di mitigazione della rumorosità. Solitamente la situazione più problematica è quella notturna, in quanto nonostante la riduzione di rumorosità rispetto al periodo diurno, ci si deve confrontare con limiti di legge più bassi di ben 10 dB. Anche i limiti differenziali dentro gli edifici si riducono da 5 a 3 dB nel periodo notturno, e dunque per le sorgenti fisse diventa assai più problematico rientrare nei limiti, tenuto conto che il rumore residuo è più basso.

In molti casi, dunque, viene eseguita solo la simulazione relativa al periodo notturno, che per l'edilizia abitativa costituisce la situazione critica. In altri casi (scuole, asili) in cui non è previsto l'utilizzo notturno, si esegue invece ovviamente solo la simulazione diurna.

### **1.3 Definizione dei limiti di legge**

Nel caso che l'area in cui la nuova opera va inserita non sia già dotata di classificazione acustica, sovente l'organo di controllo richiede che venga realizzata, congiuntamente alla valutazione di impatto, anche una bozza di classificazione acustica dell'area, sulla quale definire i limiti di legge. In altri casi, invece, ci si accontenta dell'applicazione dei limiti provvisori previsti dal DPCM 1 marzo 1991.

Nel caso sia da realizzare la bozza di zonizzazione, la stessa può venire ipotizzata partendo dall'analisi comparata delle mappature isolivello nello stato di fatto (senza edifici) ed in quello di progetto, e tenendo conto della tipologia edilizia ed urbanistica dei singoli complessi da edificare, nonché sulla base delle indicazioni contenute nel DPCM 1 marzo 1991 e nella Legge Quadro sul Rumore, o delle circolari esplicative emanate da alcune Regioni (es. Circ. Reg. Emilia Romagna 1 marzo 1993).

### **1.4 Verifica dell'efficacia degli interventi di mitigazione acustica**

Sperabilmente la valutazione dovrebbe consentire di affermare che la situazione acustica conseguente alla realizzazione dell'opera è soddisfacente, e rientra nei limiti di legge. Quando ciò non accade, alla relazione di impatto deve essere agganciata la valutazione, sempre a mezzo della stessa metodica di calcolo, della attenuazione ottenibile con ipotetici interventi di mitigazione acustica.

Ciò non costituisce ancora l'effettiva progettazione degli stessi, ma semplicemente una verifica della possibilità di sanare la situazione con opere di contenimento, quali barriere antirumore, terrapieni, asfalti fonoassorbenti, etc. E' opportuno, per congruità di metodo di calcolo e dei risultati, che tale valutazione previsionale venga eseguita a partire dallo stesso modello di calcolo impiegato per valutare lo stato di progetto.

Dall'analisi dei risultati di tale simulazione, si valuterà se gli interventi di mitigazione proposti sono efficaci, e se la loro realizzazione è concretamente prevedibile.

Nel caso l'esito di questa verifica sia negativo, e pertanto non sia possibile, nonostante gli interventi di mitigazione attuabili, rientrare nei limiti di legge, si deve concludere che la realizzazione dell'opera porterà ad un impatto acustico negativo. Spetta a questo punto all'autorità pubblica prendere una decisione nel merito, ed in particolare concedere o meno la licenza di edificazione, eventualmente subordinandola all'esecuzione di opere accessorie ovvero alla introduzione di specifici accorgimenti costruttivi.

## **2. Modelli matematici del rumore ferroviario e stradale**

Sono stati sviluppati negli ultimi anni numerosi modelli computerizzati atti alla previsione della propagazione del rumore in ambito urbano ed extraurbano. Alcuni di questi codici di calcolo sono stati sviluppati da enti pubblici, e vengono attualmente venduti ad un prezzo irrisorio (quali l'EMPA ed il SEMIBEL svizzeri, destinati il primo alla modellazione del rumore stradale ed il secondo al rumore ferroviario); essi però dispongono di limitate capacità di interfacciamento con l'esterno (sistemi cartografici digitalizzati tridimensionali, strumentazione di rilievo acustico, sistemi computerizzati di gestione del traffico, etc.).

Viceversa altri programmi sono stati raffinati ed evoluti con marcati scopi commerciali, e vengono oggi venduti a parecchie decine di milioni di lire (SoundPlan, Mithra): sebbene dotati di evolute

interfacce utente, restano comunque “sistemi chiusi”, funzionanti secondo algoritmi non noti (onde evitarne la duplicazione), e privi di possibilità di adattamento a casi particolari.

In alternativa a ciò, l'Università di Parma ha sviluppato negli ultimi 5 anni numerosi codici di calcolo “dedicati” a particolari problemi o realtà territoriali, includendo la modellizzazione del rumore alla fonte (programmi agli elementi finiti per impiego nell'industria automobilistica e ferroviaria), la propagazione al chiuso ed all'aperto, l'emissione sonora da parte di strade urbane, extraurbane ed autostrade, il rumore generato dal passaggio di convogli ferroviari tradizionali ed ad alta velocità, il rumore degli aerei, la schermatura da parte di manufatti antirumore, le prestazioni acustiche di interi edifici.

Tutti i programmi sono stati sviluppati in modo da renderli inter-operativi, grazie all'ambiente multitasking di Microsoft Windows: essi sono dotati di interfaccia utente amichevole (Visual Basic), gestiscono i dati in ingresso ed uscita tramite semplici files ASCII perfettamente documentati, si appoggiano a software di impiego universale come AutoCAD per la rappresentazione geometrica o Surfer per le funzioni di mappatura. Gli algoritmi impiegati sono noti e collaudati: in particolare per il rumore da traffico stradale e ferroviario ci si basa sulle normative di legge tedesche, che prevedono relazioni di calcolo ben dettagliate e confrontabili, tramite i documenti RLS81 (rumore stradale) e SCHALL03 (rumore ferroviario).

Inoltre è possibile modificare all'occorrenza i programmi stessi, per adattarli alle particolari esigenze del caso da studiare.

La versatilità di impiego e potenza ottenibile da modelli di calcolo sviluppati in proprio, ed adattati alle esigenze di impiego, non è riscontrabile (ovviamente) in nessun modello di calcolo “commerciale”; nel caso in esame si è pertanto fatto impiego di un sistema di calcolo basato su una apposita reimplementazione dei codici SCHALL03 ed RLS81 già sviluppati, con taratura dei dati acustici sulla base dei rilievi sperimentali eseguiti, ed interfacciamento dedicato sia ai sistemi di acquisizione dati impiegati, sia alle basi dati cartografiche digitalizzate già disponibili. Inoltre i risultati delle elaborazioni vengono così resi disponibili nel formato più idoneo alla successiva fase di progettazione degli interventi di bonifica.

Per quanto attiene la descrizione dei principi di funzionamento dei codici di calcolo citati, si rimanda agli appositi paragrafi di questa relazione, ai documenti originali del Ministero Federale dei Trasporti [2,3] ed alle pubblicazioni già effettuate dallo scrivente in materia [1,4].

L'aspetto innovativo oggetto di ricerca da parte di questo Dipartimento nell'ultimo anno consiste proprio nella realizzazione di programmi “autotaranti”, grazie a tecniche di intelligenza artificiale incorporate nei modelli di calcolo stessi. Ciò consente di avviare subito la procedura di taratura del modello non appena un numero minimo di rilievi acustici è disponibile: è poi il programma stesso che indica di quali ulteriori dati ha bisogno onde ultimare correttamente la taratura, entro le tolleranze prestabilite.

### **3.1 Il modello SCHALL-03 per il rumore ferroviario (Ed. 1990)**

Il modello di calcolo dell'emissione sonora da parte della ferrovia si basa sulle regole di calcolo contenute nell'opuscolo “SCHALL 03” (SCHALL significa SUONO in tedesco), seconda edizione corretta del luglio 1990, edito dalle Ferrovie Statali Tedesche - Ufficio Centrale delle Ferrovie Statali - Monaco di Baviera.

Il metodo si basa su questi punti principali:

- Definizione del “valore di base”, pari a 51 dB(A), che rappresenta il Livello Equivalente prodotto a 25 m di distanza ed a 3.5 m di altezza dall'asse del binario dal passaggio di un convoglio/ora, lungo 100 m, alla velocità di 100 km/h, dotato di freni a disco, ipotizzando il terreno piano e privo di ostacoli, su binario continuo saldato rettilineo con traversine in legno.

- Calcolo di un Livello Medio di Emissione  $L_{m,E}$ , che rappresenta il livello equivalente, sempre a 25 m dall'asse binario ed a 3.5 m di quota, a partire dal "valore di base" corretto per tener conto del numero, lunghezza e velocità dei convogli transitanti in un'ora, dell'effettivo tipo di armamento, della presenza di passaggi sopraelevati, passaggi a livello, ponti, curve, scambi, della percentuale di vagoni con freni a disco, del tipo di materiale rotabile.
- Suddivisione del tracciato ferroviario in tratti di limitata lunghezza, a partire dal centro di ciascuno dei quali viene effettuato il calcolo dell'energia sonora emessa.
- Calcolo dell'attenuazione del suono prodotto da ciascun tratto nel corso della propagazione dal centro dello stesso al punto in cui si vuole valutare il livello sonoro ("punto di immissione"), tenendo conto dell'effetto della distanza, dell'interazione con il terreno, della diffrazione causata da eventuali schermature o altri ostacoli, dell'attenuazione fornita da barriere vegetali (boschi).
- Somma energetica dei livelli parziali provenienti da ciascun tratto, e conseguente ottenimento del valore complessivo  $L_r$  nel punto di immissione.

Gli ultimi due "steps" vengono poi ripetuti per tutti i punti di immissione desiderati, in modo da disporre di dati sufficienti, ad esempio, al tracciamento di mappature isolivello in pianta o in sezioni verticali.

## 2.2 Il modello RLS-81 per il rumore stradale

Per la previsione del rumore prodotto dal traffico stradale é stato utilizzato il modello denominato R.L.S.-81, realizzato appunto nel 1981 dal Ministero dei Trasporti della Repubblica Federale Tedesca [3,4]. Esso fornisce queste relazioni per il calcolo del livello sonoro prodotto da una autostrada, supposta "lunga e diritta", alla distanza di 25 m:

$$L_{m,E} = L_{Lkw} + 10 \cdot \lg [M \cdot (1 + R \cdot p)] + DL_{Str0} + DL_K + DL_{Stg}$$

ove:

$$L_{Lkw} = 27.2 + 10 \cdot \lg [1 + (0.02 \cdot V_{Lkw})]$$

$$R = \frac{10^{0.1(L_{pkw} - L_{Lkw})} - 1}{100}$$

$$L_{pkw} = 22.6 + 12.5 \cdot \lg [V_{pkw}]$$

nelle quali compaiono i termini correttori:

- DL<sub>Str0</sub>: per il tipo di pavimentazione stradale;
- DL<sub>K</sub> : per l' effetto di disturbo dei semafori;
- DL<sub>Stg</sub> : per la pendenza della strada.

Nelle relazioni compaiono inoltre le seguenti grandezze:

- M : portata oraria complessiva
- p : percentuale di veicoli pesanti
- V<sub>Lkw</sub> : velocità dei veicoli leggeri (in km/h)
- V<sub>pkw</sub> : velocità dei veicoli pesanti (in km/h)

Il livello  $L_{m,E}$  così calcolato rappresenta il livello sonoro ad una distanza di 25 m dalla strada. E' poi possibile calcolare il Livello Equivalente  $L_{eq}$  a qualsiasi distanza  $d$ , tramite la relazione:

$$L_{eq} = L_{m,E} + 13.8 - 3.5 \cdot \lg(d^2) - 0.5 \cdot [\lg(d^2)]^2$$

Nel caso di strade che non possono essere considerate “lunghe e diritte”, si procede suddividendo le stesse in tratti più corti, e sommando energeticamente i livelli sonori prodotti da tutti i tratti in ciascun punto di ascolto. La regola per la suddivisione in tratti di una strada è che la lunghezza  $l_i$  di ciascun tratto deve sempre essere compresa fra la distanza  $d_i$  fra il centro di tale tratto ed il ricevitore considerato, e la metà di tale valore:

$$d_i \geq l_i > \frac{d_i}{2}$$

In questo caso, ovviamente, il punto centrale di ciascun tratto viene considerato come una singola sorgente sonora concentrata, e pertanto la legge di attenuazione con la distanza da adottare diviene la seguente:

$$L_{eq,i} = L_{m,E,i} + 10 \cdot \lg(l_i) + 8.8 - 8.2 \cdot \lg(d_i^2) - 0.5 \cdot [\lg(d_i^2)]^2$$

In cui  $l_i$  è la lunghezza in metri del tratti  $i$ -esimo, e  $d_i$  è la distanza del punto centrale di tale tratto dal ricevitore considerato. Ovviamente occorre poi sommare energeticamente tutti i contributi prodotti dai singoli tratti stradali, onde ottenere il livello sonoro complessivo al ricevitore:

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg \left[ \sum_i 10^{0.1 \cdot L_{eq,i}} \right]$$

Per operare automaticamente tale processo é stato realizzato un opportuno codice di calcolo su PC, in linguaggio Visual Basic, che genera in uscita una griglia regolare di valori di Livello Sonoro. Tali dati vengono poi rielaborati con il programma Surfer, onde ottenere rappresentazioni grafiche mediante curve isolivello, come illustrato nel paragrafo successivo.

I livelli così calcolati possono poi venire corretti per tenere conto della presenza di ulteriori fenomeni legati alla propagazione, mediante l’aggiunta di termini correttivi causati dall’effetto di schermatura da parte di ostacoli, dalla presenza di spessi strati di vegetazione e dall’effetto di riflessioni multiple fra gli edifici.

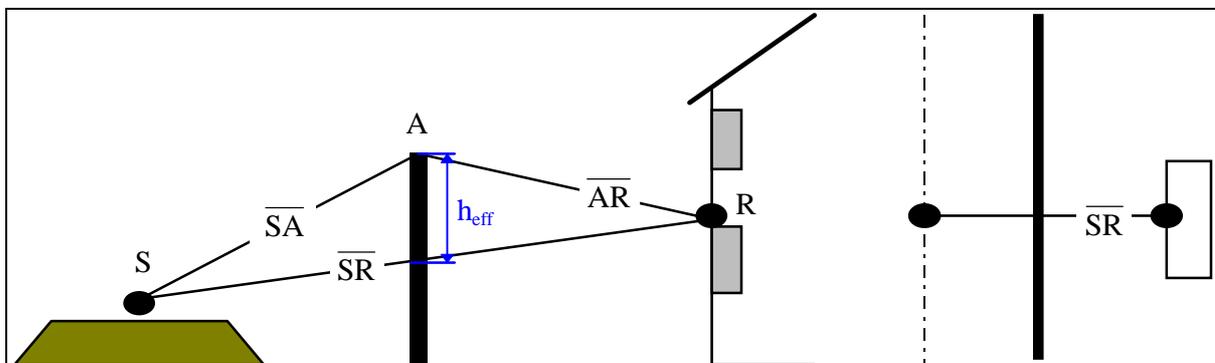
Per valutare l’attenuazione ottenibile dalle schermature il metodo di calcolo RLS-81 fornisce la seguente espressione, valida per strade “lunghe e diritte con sezione a norme DIN”:

$$DL_{ls} = 8 \cdot \lg[1 + 80 \cdot z] - 0.1 \cdot \sqrt{K}$$

in cui  $\delta$  e  $K$  assumono i seguenti valori:

$$z = \overline{SA} + \overline{AR} - \overline{SR} \qquad K = h_{eff} \cdot (\overline{SA} + \overline{AR})$$

In base alle convenzioni grafiche riportate nella seguente figura:



Questa é la riduzione di livello dovuta alla schermatura di una corsia con una barriera avente ad entrambi i lati della sezione la “lunghezza aggiuntiva standard”, per valutare la quale RLS-81 fornisce opportuni criteri di ottimizzazione.

Va osservato che il metodo RLS-81 localizza la sorgente sonora ad una altezza di 0.5 m sopra la pavimentazione stradale.

Nel caso invece del calcolo con strade suddivise in tratti, l’attenuazione della schermatura deve essere calcolata per ogni singolo tratto i-esimo, con la relazione:

$$DL_{ls,i} = 10 \cdot \lg \left[ 1 + 80 \cdot z_i \cdot e^{-\frac{K_i \cdot z_i}{11400}} \right]$$

Essa va ovviamente applicata al singolo livello parziale  $L_{eq,i}$  prima della sommatoria energetica che fornisce il livello complessivo al ricevitore.

Per quanto riguarda poi l’attenuazione prodotta dall’attraversamento di uno spesso strato vegetale, in modo che la lunghezza del raggio sonoro intersecante la vegetazione sia  $s_{geh}$ , essa si calcola come:

$$DL_{geh} = -0.06 \cdot s_{geh} \quad \geq -10$$

Infine nel caso di riflessioni multiple fra facciate contrapposte, situate a distanza  $w$  ed aventi altezza  $h$ , si ha un incremento di rumorosità dato da:

$$DL_{rifl} = 5 \cdot \left( \frac{h}{w} - 0.1 \right) \leq 5$$

### 3. Valutazione dello stato di fatto

Viene qui utilizzato a scopo di esempio uno studio recentemente eseguito in relazione all’edificazione di un grosso complesso commerciale/residenziale, nel Comune di Genova. SI tratta di una rea piuttosto vasta, dall’altimetria parecchio movimentata, posta in vinanza sia a strade di grande traffico che a linee ferroviarie. L’opera progettata prevede sia edilizia abitativa (possibili recettori), sia un complesso commerciale dotato di numerose sorgenti sonore fisse, e di una notevole capacità di attrazione di traffico stradale anche pesante.

Si tratta pertanto di un esempio particolarmente generale, dove tutte le problematiche relative alla modellizzazione acustica verranno adeguatamente affrontate.

La modellazione numerica dello stato di fatto è stata basata sulla taratura dei modelli matematici, resa possibile da una estesa campagna di rilievi sperimentali a ciò espressamente dedicati.

#### 3.1 Postazioni di rilievo acustico

Sono state individuate 10 postazioni di rilievo significative nell’area in esame, localizzabili sulla seguente planimetria ridotta:



Una postazione fissa è stata installata nel punto n. 7, mentre sulla destra, in alto è visibile la sezione stradale della Via Romairone su cui sono state installate due delle quattro stazioncine per il conteggio automatico dei flussi veicolari.

Le altre due stazioncine sono state installate dalla parte opposta del torrente Polcevera, sulla via S.Quirico, esattamente in corrispondenza dell'altra sezione strumentata.

Nelle 10 postazioni sono stati eseguiti rilievi di breve durata (10 minuti) in occasione di tre giornate: l'8 agosto '96, il 19 settembre '96 ed il 20 settembre '96. In tutti tre questi giorni il cielo era molto nuvoloso, il vento debole o assente, e le superfici stradali erano bagnate per la pioggia caduta da poco. Sebbene non sia stata eseguita una dettagliata indagine storica sulla climatologia locale, è stato appurato che la zona è particolarmente piovosa, e pertanto le condizioni di cui sopra non sono da considerare anomale.

Inoltre è stato eseguito un rilievo di 24 ore continuativo, nella sola postazione n. 7. Nel seguito vengono presentati i risultati dei rilievi di cui sopra.

### 3.2. Risultati dei rilievi di breve durata

La seguente tabella riporta in maniera sintetica i risultati dei rilievi di breve durata (10 minuti) eseguiti nel corso del rilievo di 24 ore eseguito nel punto 7:

Punto n.	Leq	Lmax	Lmin	L1	L10	L50	L90	L99
1	59.7	71.6	53.3	63.7	62.2	58.7	56.2	54.2
2	61.4	90.4	53.2	66.2	60.2	57.7	55.7	54.2
3	55.7	60.6	52.0	58.7	57.2	55.7	54.2	52.7
4	51.5	63.1	46.2	58.7	53.7	50.2	48.7	46.7
5	55.6	67.8	51.7	/	57.0	55.0	53.5	/
6	51.1	73.6	41.0	61.2	53.7	48.7	43.2	41.7
7	57.1	90.4	46.7	/	58.0	54.0	51.5	/
8	51.3	65.4	45.9	60.2	52.2	49.7	47.7	47.2
9	55.2	68.3	51.0	59.7	56.7	54.7	53.2	51.7
10	55.7	61.9	51.8	59.2	57.2	55.2	53.7	53.2

Si osserva in tutti i punti una differenza piuttosto contenuta fra L10 ed L90, che segnala un rumore ambientale piuttosto costante, dominato dal rumore del traffico stradale proveniente dalle due vie citate.

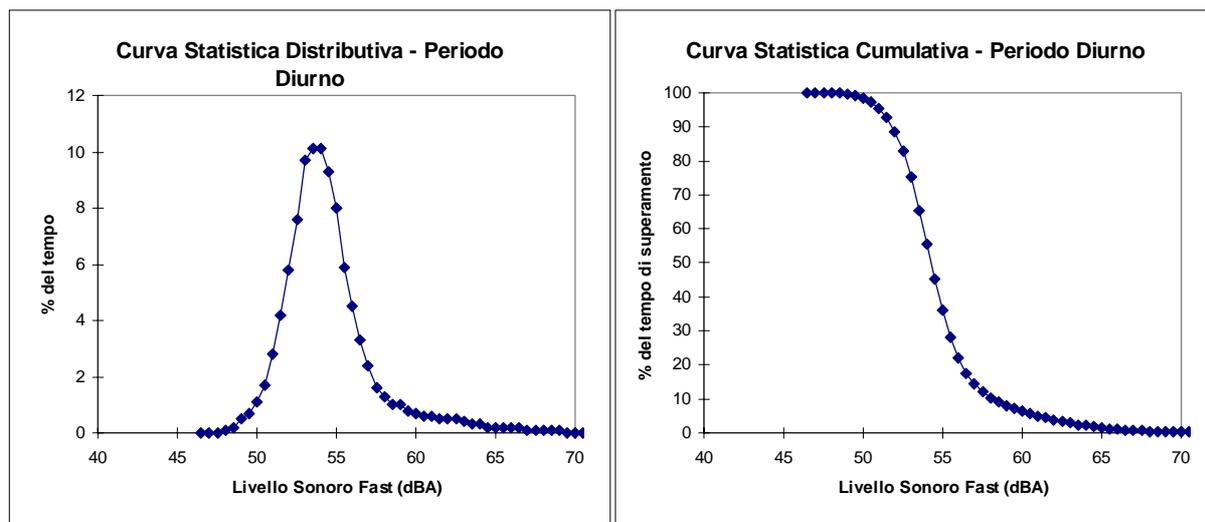
### 3.3. Risultati del rilievo di 24 ore nella postazione fissa

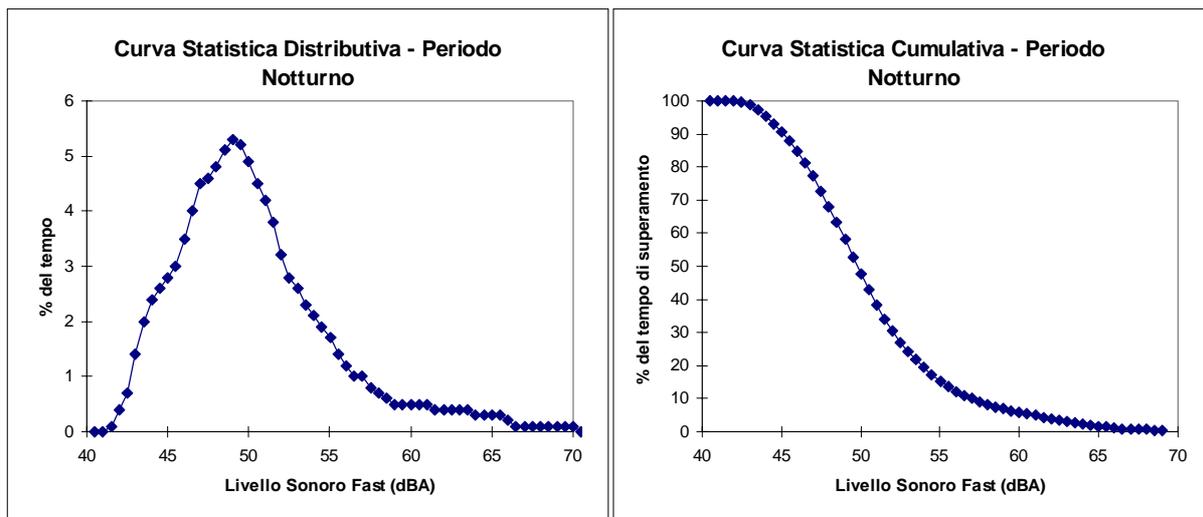
Nella postazione fissa è stato eseguito sia un rilievo fonometrico con analisi statistica, sia in parallelo un campionamento della storia temporale del livello sonoro con intervalli unitari di integrazione di 1 minuto.

Vengono qui anzitutto presentati i risultati complessivi del rilievo fonometrico, tramite le due stampe ottenute dal fonometro:

Bruel & Kjaer Fonometro 2236		Bruel & Kjaer Fonometro 2236	
IMPOSTAZIONI:		IMPOSTAZIONI:	
F	20-100 dB	F	20-100 dB
RMS: A	Picco: L	RMS: A	Picco: L
RISULTATI TOTALI:		RISULTATI TOTALI:	
19 Set 1996	22:07:35	20 Set 1996	06:11:35
Tempo trascor.	0005:51:32	Tempo trascor.	0010:00:02
Pause	3	Pause	0
Sovraccarico	0.0 %	Sovraccarico	0.0 %
MaxP	107.6 dB	MaxP	107.3 dB
MaxL	85.4 dB	MaxL	90.4 dB
MinL	40.7 dB	MinL	46.7 dB
Leq	55.2 dB	Leq	57.1 dB
SEL	98.5 dB	SEL	102.7 dB
LEPd (Te= 7h30)	54.9 dB	LEPd (Te= 7h30)	56.8 dB
L10	57.0 dB	L10	58.0 dB
L50	49.5 dB	L50	54.0 dB
L90	45.0 dB	L90	51.5 dB

Tale strumento ha anche consentito di ottenere la analisi statistica dei periodi diurno e notturno mediante le curve distributiva e cumulativa, che vengono di seguito riportate:

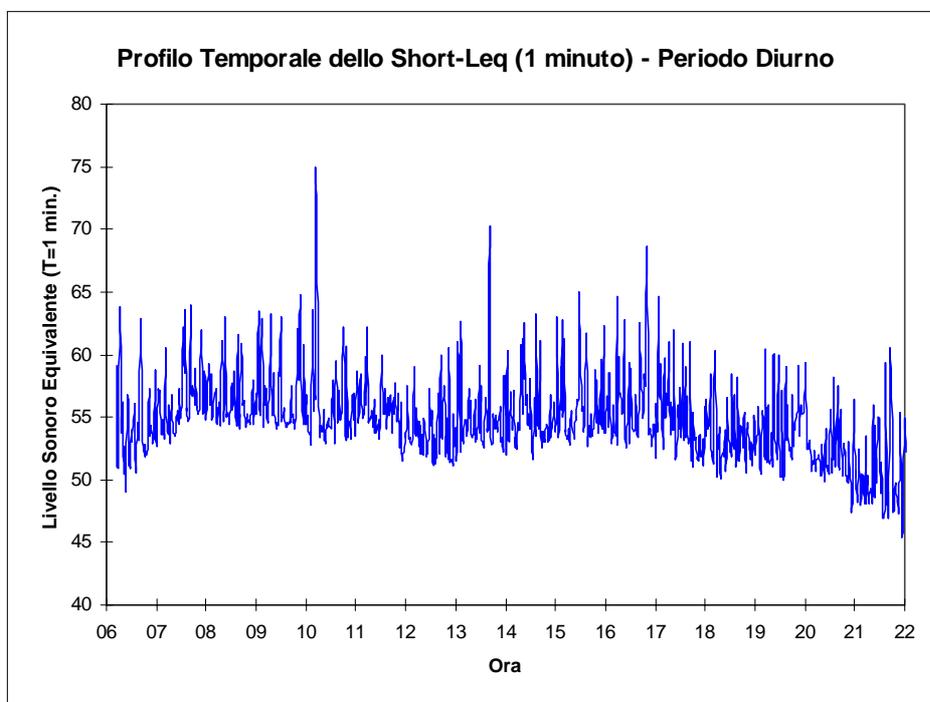




Si osserva come di notte la dispersione statistica del livello sonor sia molto più vasta, indicando una notevole variazione della situazione acustica, mentre di giorno la situazione è molto più uniforme.

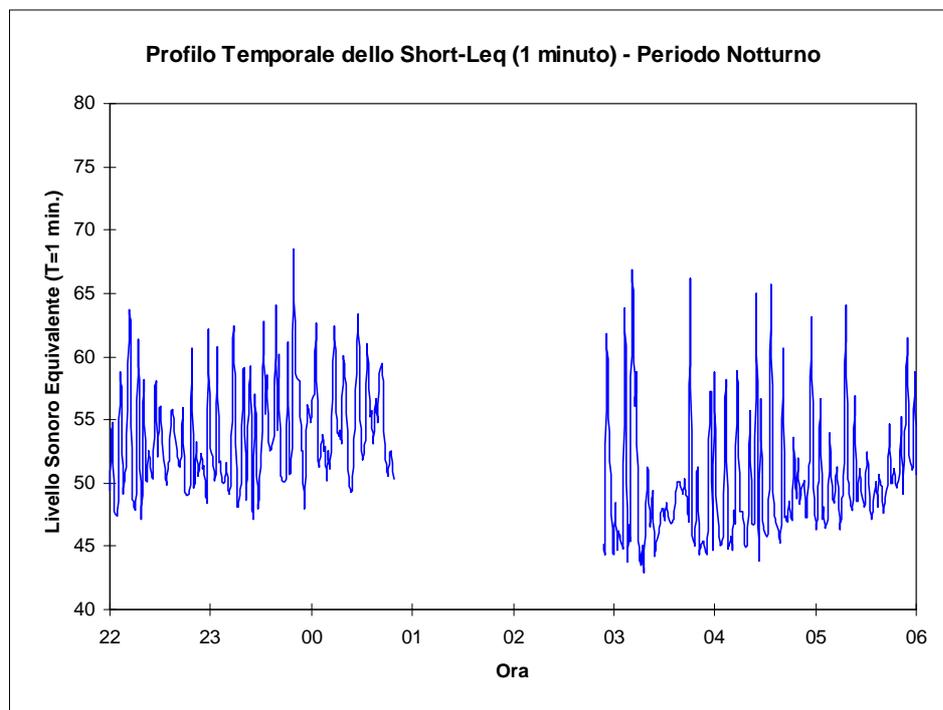
Sia nel periodo diurno che in quello notturno si nota poi una coda asimmetrica verso destra delle curve distributive: essa è causata da eventi sporadici di livello elevato, ma di breve durata, che nella postazione in esame sono perlopiù costituiti dal passaggio di treni sulle linee ferroviarie adiacenti.

Volendo poi evidenziare meglio la presenza di questi eventi sporadici, è necessario osservare l'evoluzione temporale del fenomeno, sia nel periodo diurno che in quello notturno.



Per il periodo notturno è stato viceversa necessario eliminare dall'analisi un periodo di due ore, dalle 01 alle 03, durante le quali sulla zona si è abbattuto un forte temporale, che ha inficiato la validità dei valori rilevati. Questa ha sicuramente impedito di ricostruire correttamente il

fenomeno della “caduta” di livello sonoro nelle ore centrali della notte, come sarà meglio evidenziato in seguito.



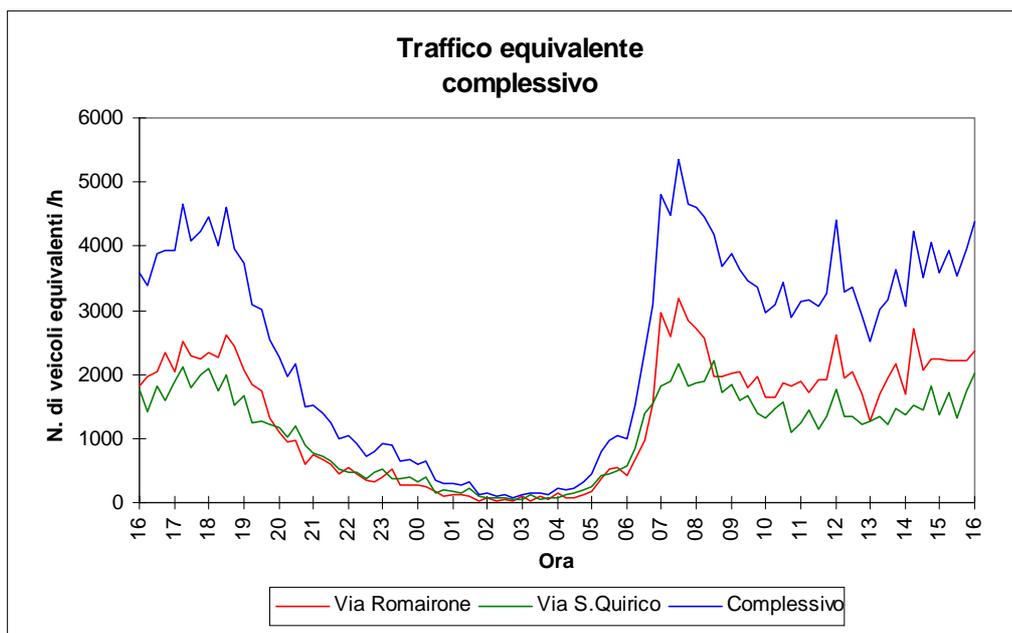
Su entrambi i grafici sono molto evidenti gli eventi sporadici connessi al passaggio di treni. Ci sono anche altri eventi di minore intensità probabilmente legati al passaggio di veicoli rumorosi sulla Via S.Biagio.

### 3.4. Conteggio del traffico stradale

Come già sottolineato, parallelamente al rilievo fonometrico di 24 ore è stato eseguito un simultaneo conteggio del traffico veicolare lungo le via Romairone e S.Quirico, che costeggiano sui due lati il torrente Polcevera. Sono state impiegate 4 centraline automatiche contaflusso a due tubi, in grado di rilevare sia il numero di veicoli transitati, sia il loro tipo, sia la velocità.

I dati sono stati raccolti in tabelle che riportano il numero di veicoli transitati in ogni intervallo temporale di 15 minuti, suddivisi in tre classi (Leggeri, Autobus e Camion) ed in tre fasce di velocità: <30 km/h, compresa fra 30 e 60 km/h, > 60 km/h.

Onde agevolare l'interpretazione di una tale massa di dati, si è proceduto alla graficazione del traffico orario complessivo equivalente (ottenuto sommando la numero di veicoli leggeri il numero di veicoli pesanti moltiplicato per 8, onde tener conto della loro maggiore rumorosità), per ciascuna delle due strade e cumulativo.



Si osserva come, durante il periodo notturno, il traffico scenda praticamente a zero dalle ore 01 alle ore 04, mentre viceversa nel periodo diurno esso è piuttosto stabile lungo l'intero periodo dalle 06 alle 22.

### 3.5. Separazione del contributo del traffico ferroviario da quello stradale

Poichè si è osservato al punto n. 4 come il passaggio dei treni produca eventi sonori caratterizzati da valori di  $L_{eq,1min}$  superiori ai 58-60 dB(A), è possibile operare un calcolo approssimato che conduca a separare gli effetti del rumore dei treni da quello avente altra origine. A tale scopo sono disponibili due tecniche numeriche:

1) La prima tecnica si basa sull'integrazione parziale dell'area sottesa alle curve statistiche distributive. Assumendo un valore di soglia pari a 58 dB(A) sia per il periodo diurno che notturno, si ottengono i seguenti risultati:

	Periodo Diurno	Periodo Notturno
Leq, totale	56.2	54.7
Leq, treni	52.2	52.4
Leq, residuo	54.0	50.8

Pertanto il rumore prodotto dai treni è pressochè inalterato di giorno e di notte, mentre il rumore residuo (dominato di giorno dal rumore da traffico stradale) subisce una sensibile riduzione nel periodo notturno.

2) La seconda tecnica si basa invece sulla "potatura" dell'istogramma temporale, eliminando tutti i segmenti temporali in cui il livello sonoro equivalente, integrato per 1 minuto, è risultato superiore ai 58 dB(A). Dopo aver ricalcolato nuovi livelli equivalenti su intervalli di 15 minuti, onde avere lo stesso numero di dati dei rilievi di traffico, ed onde far scomparire i "buchi" lasciati nell'istogramma temporale dall'operazione di potatura, diviene possibile visualizzare la storia del

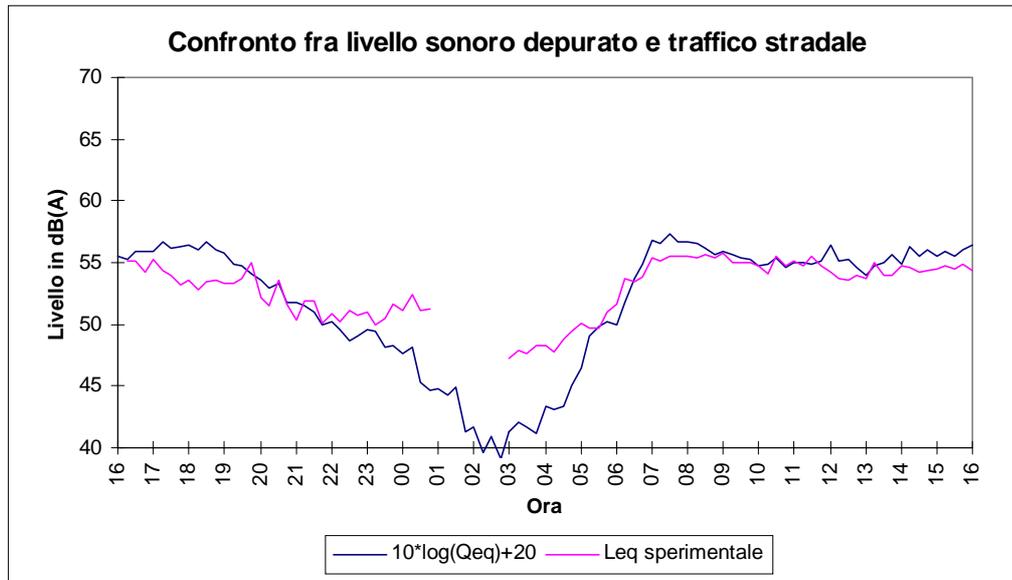
rumore residuo per tutte le 24 ore e correlarlo con l'evoluzione temporale del traffico complessivo equivalente già calcolato al punto 5.

Onde rendere più significativo il confronto, anche il dato di traffico viene trasformato in dB, tramite la relazione:

$$L_Q = 10 \cdot \lg[Q_{eq}] + 20 \quad (\text{dB})$$

In cui il valore della costante di propagazione (20) è stato assunto empiricamente.

Il seguente grafico porta a confronto il livello sonoro "potato" con il dato di traffico complessivo.



L'accordo è molto buono, tranne che nella parte centrale della notte, ove le avverse condizioni meteorologiche hanno mantenuto una certa rumorosità residua nonostante il crollo del flusso veicolare. Risulta dunque dimostrata la corretta separazione dei contributi alla rumorosità complessiva, e la notevole importanza che hanno sia il traffico stradale, sia quello ferroviario nel definire la situazione attuale.

### 3.6. Taratura dei modelli matematici

Nello stato di fatto si è considerato il sito completamente sgombro e privo di manufatti (solo il terreno), ed è stata effettuata la mappatura isolivello alla quota di m 1.5 sopra il terreno.

Come sorgenti sonore sono state considerate due linee ferroviarie (la Genova-Torino e la linea che corre lungo il torrente Polcevera) e 12 tratti stradali. I dati di traffico su tali vie di traffico sono stati assunti sulla base dei conteggi effettuati, e su stime conseguenti della distribuzione dei flussi primari sulle vie laterali.

La seguente tabella riporta i dati di traffico primari assunti:

N.	Nome	L/h (g)	P/h (g)	Vl (km/h)	Vp (km/h)	L/h (n)	P/h (n)	Vl (km/h)	Vp (km/h)
1	Via Romairone	450	60	90	70	72	5	90	70
2	V. S.Quirico	356	48	90	70	84	6	90	70

I dati di emissione delle linee ferroviarie sono stati ottenuti nella fase di taratura del modello, imponendo che il rumore emesso dalle stesse verificasse il valore rilevato sperimentalmente nel punto di taratura (n. 7), pari a circa 52.3 dB(A) sia nel periodo diurno che notturno. Analogamente, è stato verificato che il solo rumore da traffico stradale, unito al rumore residuo, fornisse lo stesso valore rilevato sperimentalmente (54.0 dBA di Giorno e 50.8 dBA di notte).

La seguente tabella riporta i valori di rumorosità sperimentali e calcolati dal modello nello stato di fatto

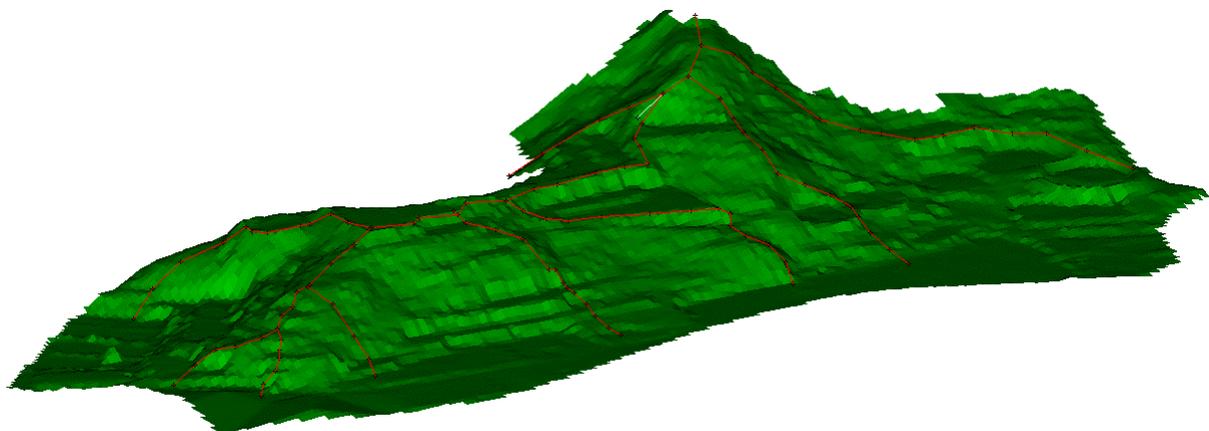
Punto n.	Leq G sperim.	Leq N sperim	Leq G calc. Treni	Leq N calc. Treni	Leq G calc. Residuo	Leq N calc. Residuo	Leq G calc. Totale	Leq N calc. Totale
1	59.7	/	48.8	48.8	57.6	48.5	58.1	51.7
2	61.4	/	48.2	48.2	55.2	46.3	56.0	50.4
3	55.7	/	48.4	48.4	55.1	46.6	55.9	50.6
4	51.5	/	49.7	49.7	50.2	41.1	53.0	50.3
5	55.6	/	50.8	50.8	56.0	47.4	57.1	52.4
6	51.1	/	52.4	52.4	49.9	40.3	54.3	52.7
7	57.1	54.7	52.4	52.4	54.1	44.5	56.3	53.1
8	51.3	/	53.7	53.7	55.5	42.0	57.7	54.0
9	55.2	/	51.0	51.0	57.4	48.7	58.3	53.0
10	55.7	/	54.1	54.1	63.1	54.3	63.6	57.2

Come si nota, l'accordo ottenuto è più che ragionevole, e pertanto il modello di emissione può considerarsi tarato.

### 3.7. Rappresentazione tridimensionale del sito

Per quanto riguarda la propagazione, il sito è stato modellato tenendo conto dell'altimetria del terreno molto variabile. Ciò è stato possibile grazie alla disponibilità dei dati di rilievo altimetrico, forniti in formato Autocad. Con un piccolo programma Basic scritto ad hoc, le informazioni altimetriche sono state estratte e trasformate in un file .DAT, che tramite il sottoprogramma di interpolazione di Surfer ha consentito di ottenere una rappresentazione tridimensionale completa dell'altimetria del terreno.

La seguente figura riporta un "rendering" di tale informazione:



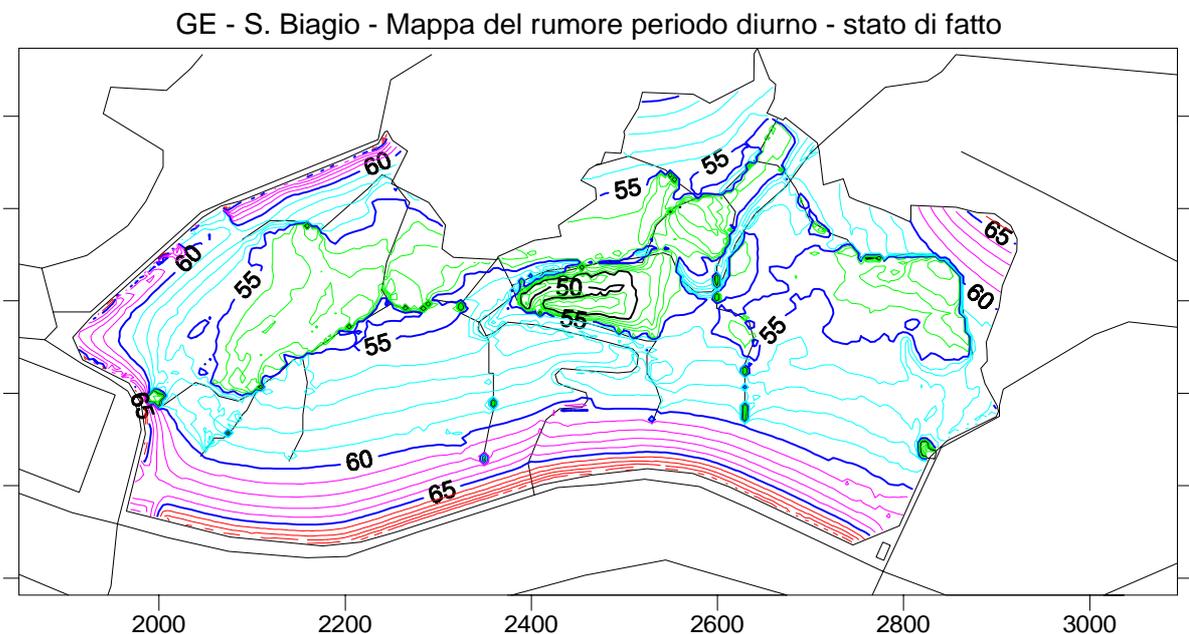
Rendering tridimensionale dell'altimetria del sito - stato di fatto.

### 3.8 Calcolo della mappatura del rumore diurno e notturno

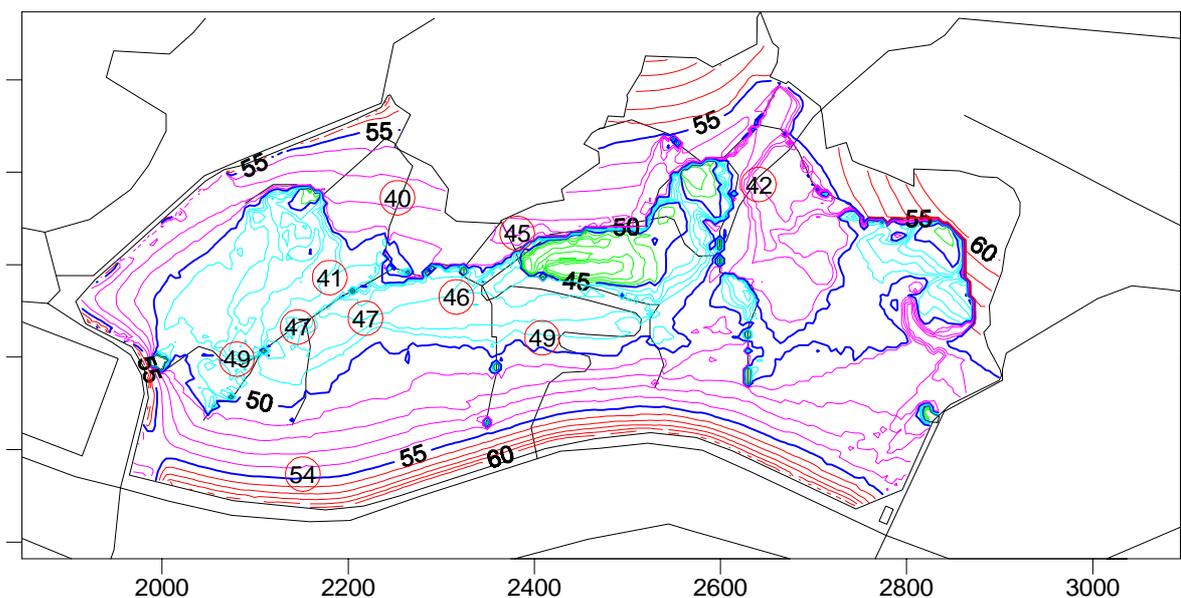
E' stata impiegata una griglia di calcolo di 250x118 punti, con passo di m 5. Ciascun punto ricevitore è stato collocato ad una quota di m 1.5 sopra al terreno. Il calcolo è stato effettuato tenendo in considerazione anche la presenza dell'effetto schermante del terreno stesso.

Dall'osservazione delle mappe del rumore, si nota come lo stesso sia dominato dall'emissione sonora della viabilità stradale e ferroviaria lungo il torrente Polcevera, e dall'emissione proveniente dalla linea ferroviaria GE-TO per quanto riguarda le zone a quota più elevata. Comunque la rumorosità nella parte centrale della zona è quasi accettabile, in quanto risulta ampiamente inferiore a 60 dB(A) diurni e, in una zona leggermente più ristretta, a 50 dB(A) notturni. Non pare tuttavia ipotizzabile la presenza, nello stato di fatto, di una zona rispondente ai limiti di classe II (55D/45N).

Le seguenti 2 figure riportano i risultati di tale mappatura.



GE - S. Biagio - Mappa del rumore periodo notturno - stato di fatto



#### 4. Identificazione delle sorgenti sonore di progetto e del livello sonoro da esse indotto

Il calcolo è stato poi ripetuto relativamente allo stato di progetto. In questo caso sono stati inseriti gli edifici, che ovviamente forniscono una non trascurabile azione schermante. La seguente figura illustra la nuova situazione geometrica:



Rendering tridimensionale dell'altimetria del sito - stato di fatto.

Si nota che alcuni edifici appaiono eccessivamente alti: questo è dovuto al fatto che in realtà è previsto un rilevante movimento terra, e la quota del terreno nello stato di progetto sarà in realtà diversa da quella attuale. Purtroppo non era disponibile la cartografia digitalizzata della nuova altimetria, per cui si è continuato ad impiegare quella relativa allo stato di fatto, mentre le quote del bordo superiore degli edifici sono quelle di progetto.

Si nota anche che gli edifici sono “scoperchiati”: questo è richiesto dalla logica di calcolo dei programmi impiegati. Il calcolo è stato ora eseguito ad una quota di circa 5m sopra il terreno, onde valutare la rumorosità esistente sulle facciate degli edifici, ad un piano “intermedio”. Si noti

comunque che, quando punti di calcolo cascano “dentro” gli edifici, essi vengono sempre considerati ad una quota di 5m sopra il suolo, e pertanto il livello sonoro ivi calcolato perde alcun significato. Questo è particolarmente evidente nell’estesa area del Centro Commerciale, che risulta una sorta di recinto con una altissima barriera antirumore al contorno.

Questo peraltro non costituisce un problema grave, poichè conoscere il livello sonoro sul tetto degli edifici è di ben scarsa utilità.

Come parametri di calcolo, si è considerato un traffico addizionale sulla viabilità stradale così quantificato:

- 5000 autoveicoli/giorno diretti al centro commerciale (periodo diurno)
- 120 veicoli pesanti diretti al tunnel di carico/scarico merci (periodo diurno)
- 60 veicoli pesanti diretti al tunnel di carico/scarico merci (periodo notturno)

Sulla base delle vigenti disposizioni legislative, questo traffico addizionale è stato “diluito” sulle 16 ore diurne e sulle 8 ore notturne, sebbene in questo caso tale operazione porta sicuramente ad una sottostima degli effetti di disturbo sulla popolazione, che viceversa avverterà in maniera precipua il traffico di veicoli pesanti soltanto nelle ultime ore del periodo notturno e nelle prime ore di quello diurno.

Inoltre è stata considerata la presenza di 3 sorgenti sonore concentrate, aventi ciascuna un livello di potenza di 100 dB(A), collocate la prima nell’apposito cavedio previsto sulla copertura del centro commerciale, la seconda nell’anello periferico del lucernario del centro commerciale, e la terza entro il tunnel aerato.

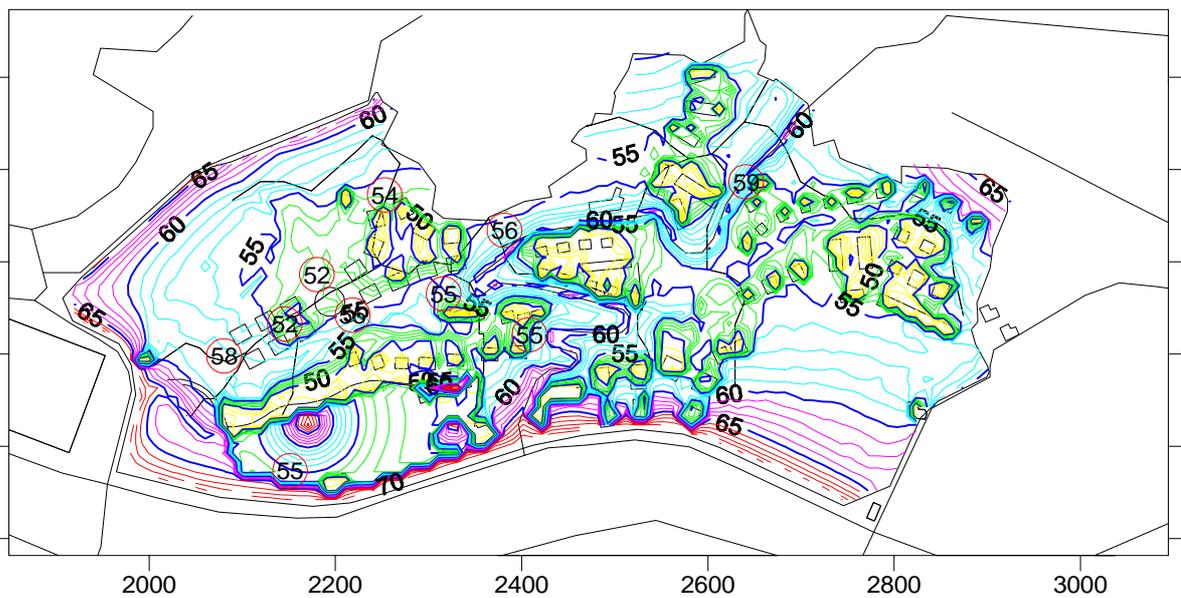
Il calcolo è stato poi ri-eseguito, tenendo conto dell’attenuazione prodotta dalle opere di mitigazione progettate, e quindi della presenza di baffles fonoassorbenti a copertura del tunnel di accesso, del cavedio macchinari e dell’anello esterno del lucernario. A tale intervento è stata assegnata una ipotetica riduzione della rumorosità emessa di 8 dB(A).

Non è stato necessario operare nuovamente i calcoli con i modelli matematici per ricostruire tale situazione. E’ infatti possibile riaggregare i risultati parziali delle singole emissioni sonore operando direttamente nel programma di graficazione Surfer, assegnando una prefissata riduzione ad alcune di esse. In tal modo è possibile investigare rapidamente anche altri scenari di mitigazione delle emissioni.

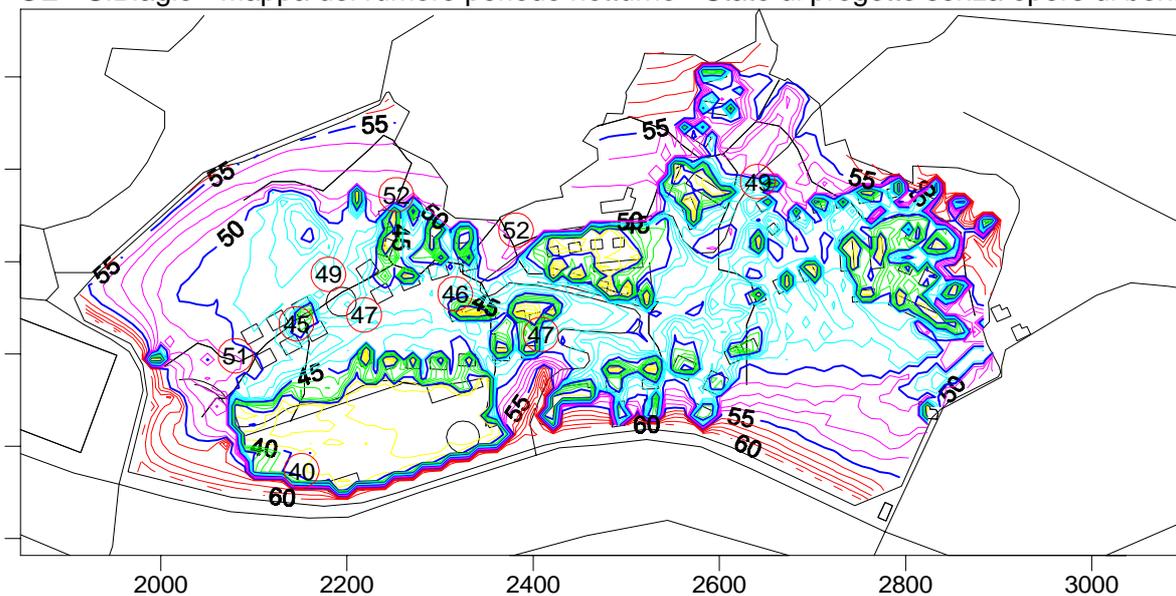
Poichè i tempi di calcolo nello stato di progetto erano eccessivi, il calcolo è stato eseguito su una griglia ridotta di 125x59 punti, con passo di 10 m.

Le seguenti figure riportano i risultati della simulazione eseguita.

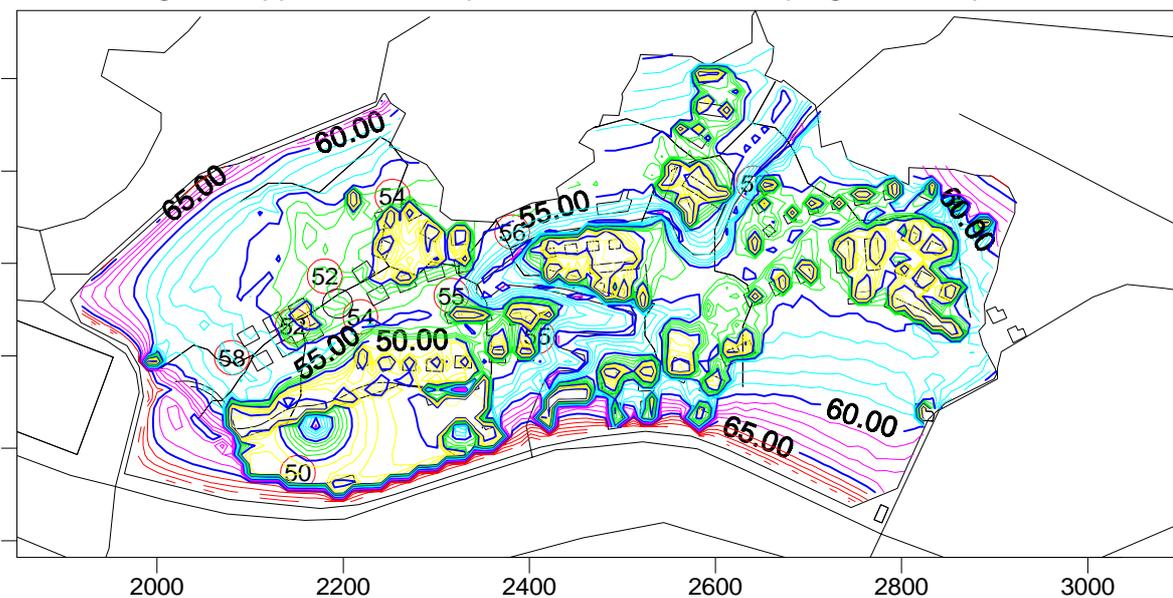
GE - S.Biagio - Mappa del rumore periodo diurno - Stato di progetto senza opere di bonifica



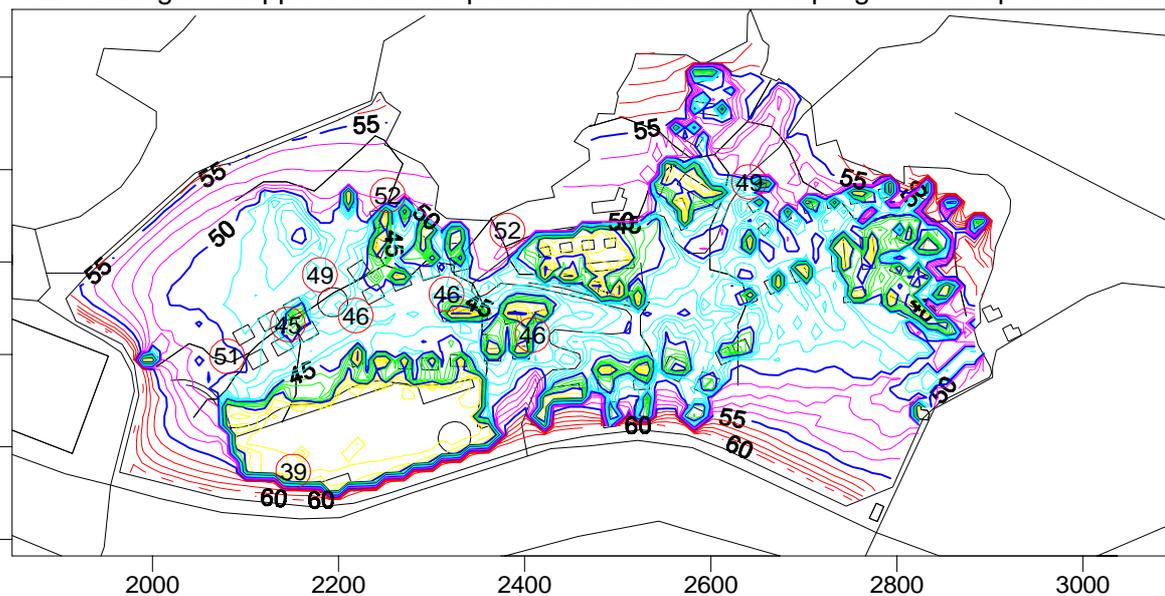
GE - S.Biagio - Mappa del rumore periodo notturno - Stato di progetto senza opere di bonifica



GE - S.Biagio - Mappa del rumore periodo diurno - Stato di progetto con opere di bonifica



GE - S.Biagio - Mappa del rumore periodo notturno - Stato di progetto con opere di bonifica



## 5. Analisi dei risultati e proposta di zonizzazione

I valori di rumorosità previsti nello stato di progetto risultano ovunque abbastanza contenuti, grazie anche all'effetto schermante reciproco degli edifici, per cui in gran parte dell'area la rumorosità prevista è addirittura inferiore allo stato di fatto.

Lo stesso non accade soltanto per la prima fila di edifici, direttamente affacciati sul centro commerciale: per essi, tuttavia, l'adozione degli interventi di mitigazione già previsti nel progetto, nonché la scelta di non mantenere in funzione alcuna sorgente fissa nel periodo notturno (scelta forse poco realistica, ma effettuata su indicazione del committente) sono sufficienti a ridurre la rumorosità entro i limiti previsti per la classe IV.

Veniva comunque chiesto, in questo caso, di fornire a latere della valutazione di impatto anche una bozza di zonizzazione acustica dell'intera area oggetto dello studio.

Sulla base delle mappature isolivello previsionali già illustrate, e tenendo conto dei vincoli posti nell'assegnazione delle classi dal DPCM 1 marzo 1991 e dalla Legge Quadro n. 447 del 26/10/95, si è formulata la seguente ipotesi:

- Assegnare la classe IV (aree di intensa attività umana) alla prima fila di edifici affacciati sul centro commerciale, e relative pertinenze.
- Assegnare la classe III (zona mista), a causa della prescrizione di non avere mai aree contigue di classe non consecutiva, alla seconda fila di edifici situati a ridosso dei primi, nonché alle aree potenzialmente affette dal rumore delle infrastrutture di trasporto preesistenti all'intervento edificatorio
- Assegnare la classe II (aree esclusivamente residenziali) alla parte centrale dell'area, ove la tipologia edilizia è effettivamente solo abitativa, ed ove i valori previsti per tale zona sono quasi rispettati.

La seguente figura illustra schematicamente tale impostazione:



La zona in classe IV è retinata in blu, quella in classe II è circoscritta in verde, le aree restanti sono tutte in classe III.

## 5. Analisi dell'accuratezza dei dati

Il caso utilizzato come esempio ha mostrato quali metodiche di analisi e di taratura e quali tipi di risultati possono essere ottenuti facendo impiego di idonee metodiche previsionali. Ovviamente in casi specifici l'analisi può essere ulteriormente raffinata, eseguendo ad esempio mappature isolivello più dettagliate su singoli edifici, mappature su sezioni verticali onde apprezzare la variazione del livello sonoro ai diversi piani, o l'effetto di opere schermanti.

Ad una analisi più dettagliata non corrispondono però solitamente risultati più accurati: infatti le metodiche di calcolo sono sempre le stesse, l'incertezza sui dati di ingresso (flussi veicolari, descrizione geometrica del sito, caratteristiche acustiche delle superfici) non varia, e viceversa viene richiesto al programma di simulazione di evidenziare variazioni spaziali del livello sonoro anche molto modeste. Ciò significa che in realtà la scala piuttosto grossolana a cui è stato condotto lo studio, è la minima onde far sì che i risultati della simulazione siano affetti da un'incertezza sui valori confrontabile con l'incertezza "di posizione" dei punti di calcolo sulla mappa.

Volendo quantificare tale incertezza, non si può non riferire dei risultati di un test comparativo fra programmi di calcolo per la simulazione del rumore stradale, svoltosi nel 1995 [6]. 23 diversi gruppi di ricerca parteciparono ad un confronto impiegando 11 diversi programmi. Il confronto prevedeva due casi, uno molto semplice (strada lunga e dritta, prova di ostacoli) ed uno più complesso (svincolo con sovrappasso, terrapieno e boschetto). Nel complesso, la dispersione dei dati calcolati dai diversi programmi è stata molto elevata: nel punto situato a breve distanza dalla strada lunga e dritta, si sono avute differenze massime di 8 dB(A), con deviazione standard di 2.7 dB(A), mentre nei punti più lontani, parzialmente schermati, si è arrivati a differenze massime di oltre 14 dB(A), con deviazione standard di oltre 4.5 dB(A). Si tenga inoltre conto che tali differenze si sono avute partendo da dati assolutamente identici per tutti i programmi, mentre nell'impiego reale occorre aggiungere anche l'incertezza sui dati di traffico e sulla descrizione geometrica del sito.

In conclusione, si può affermare che l'impiego dei programmi di simulazione può fornire una accuratezza del tutto insufficiente se gli stessi non vengono usati con accortezza, effettuando sempre la taratura nello stato di fatto sulla base di idonei rilievi sperimentali, e lasciando al programma così tarato solo l'onere di estrapolare una situazione non troppo diversa da quella di taratura. In assenza di tale procedura di impiego, i valori numerici prodotti dal calcolo saranno inevitabilmente affetti da una incertezza di almeno 6/7 dB(A); e pertanto ben difficilmente potranno essere utilizzati per valutare il rispetto dei limiti di legge e dunque per stabilire se l'opera progettata sia o meno accettabile dal punto di vista acustico.

## Note bibliografiche

- [1] **A. Farina** - "Modelli matematici per la previsione della diffusione del suono" - Acqua Aria, n. 3, pagg. 257-268, Marzo 1991.
- [2] Bunderminister für Verkehr, Schall 03, ed. 1990
- [3] Bunderminister für Verkehr, Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen, RLS-81, (1981).
- [4] **A. Farina**, G. Semprini - "RLS81" - Atti del convegno AIA 1989 "Metodi numerici di previsione del rumore da traffico", Parma, 12 Aprile 1989.
- [5] **A. Farina**, L. Maffei - "Sound Propagation Outdoor: comparison between numerical previsions and experimental results" - In the volume "Computational Acoustics and its Environmental Applications" pp. 57-64, Editor C.A. Brebbia, Computational Mechanics Publications, Southampton (GB) 1995.

- [6] Pompoli R., **Farina A.**, Fausti P., Bassanino M., Invernizzi S., Menini L., “Intercomparison of traffic noise computer simulations”, in: atti del XXIII Convegno Nazionale AIA - 18<sup>th</sup> International Congress for Noise Abatement AICB, Bologna, 12-14 settembre 1995, supplemento, p.523-559.