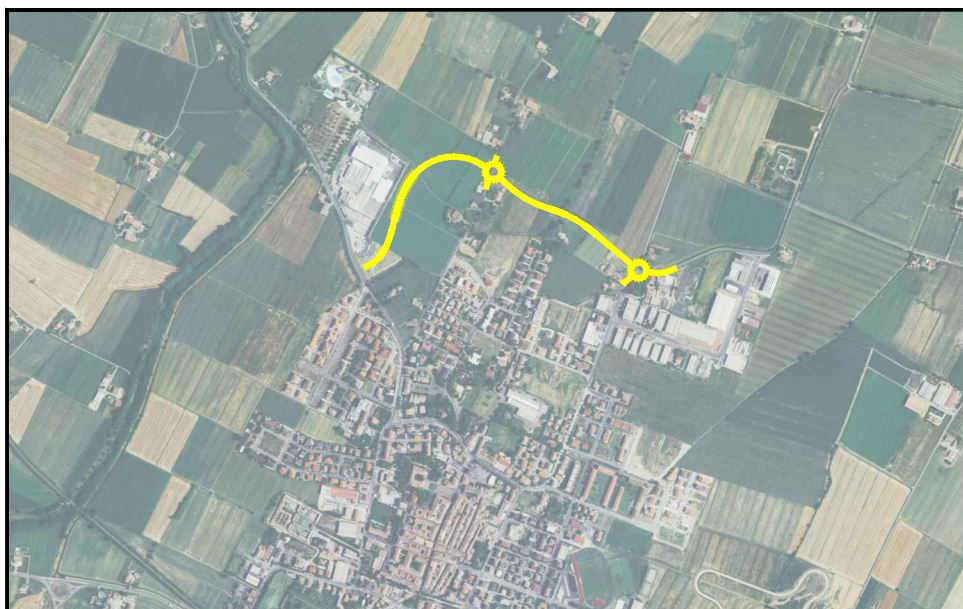




COMUNE di BUSSETO
REALIZZAZIONE del TRONCO STRADALE
di COLLEGAMENTO
tra la S.P. n. 588 "DEI DUE PONTI
e S.P. n.94 "BUSSETO - POLESINE"
(TANGENZIALE di BUSSETO 3° STRALCIO)



PROGETTO DEFINITIVO

OGGETTO:

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

TAV. N.

B.5

TITOLO:

**DOCUMENTO PREVISIONALE D'IMPATTO
ACUSTICO
RELAZIONE**

SCALA

--

AGGIORNAMENTI:

REV.	DATA	DESCRIZIONE
01	Sett. 2015	EMISSIONE
02	Mag. 2016	RISPOSTA_OSSERVAZIONI_CONFERENZA_DEI_SERVIZI

PROGETTO

MANDATARIA

Aierre
P&L
engineering

Società di ingegneria

Str. Cavagnari, 10 - 43126 PARMA - Italy

Tel. 0521/986773 Fax 0521/988836

info@aierre.com

MANDANTI

Dott. Geol. LORENZO NEGRI

Via Nedo Nadi, 9/A - 43100 PARMA (PR)

Tel. 0521/244693 Fax 0521/241207

l.negri@geostudiparma.it

CONSULENZE SPECIALISTICHE

ARCHEOLOGIA

A B A C U S s.r.l. - Dott.ssa Cristina Anghinetti

Via Emilia Ovest n. 167 - San Pancrazio 43016 Parma

tel./ fax 0521.673108 - P.I. - C.F. 02343500340

IMPATTO AMBIENTALE

A M B I T E R s.r.l. - società di ingegneria ambientale

via Nicolodi, 5A - 43100 Parma

tel. +390521942630 - fax +390521942436

http://www.ambiter.it/

RILIEVI TOPOGRAFICI

S. T. O P s.r.l. Servizi Territoriali e Topografici

Via Ponchielli, 2 - 43011 Busseto (PR)

Tel.0524/91243 - Fax. 0524/930626

info@sttop.191.it

G E O 3 s.r.l.

Via Edison Volta, 25/B - 43125 PARMA

Tel.0524 944548

info@geo3srl.it

IL RESPONSABILE DI PROGETTO

Dott. Ing. Francesco Ferrari _____

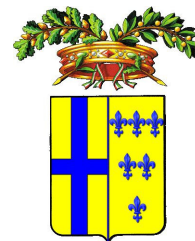
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Arch. Roberta Minardi _____



Comune di Busseto

Provincia di Parma



**REALIZZAZIONE del TRONCO STRADALE di
COLLEGAMENTO tra la S.P. n. 588 "DEI DUE PONTI
e S.P. n. 94 "BUSSETO - POLESINE"**

Progetto Definitivo



AMBITER S.r.l.
società di ingegneria ambientale

Via Nicolodi, 5/A - 43126 Parma
tel. 0521-942630 - fax 0521-94243
6www.ambiter.it - info@ambiter.it

DIREZIONE TECNICA

dott. geol. Giorgio Neri

**TECNICO COMPETENTE
IN ACUSTICA**

dott. Marco Rogna

CODIFICA

ELABORATO

DESCRIZIONE

DIA

Documento previsionale d'impatto acustico

01	05/2016			M. Rogna	G. Neri	Risposte osservazioni
01	09/2015			M. Rogna	G. Neri	Emissione
REV.	DATA			VERIFICA	APPROV.	DESCRIZIONE

FILE

1540 SCR DIA 01-00.doc

PRATICA

1540/01

INDICE

1	PREMESSA	6
1.1	AREA D'INDAGINE - FASCE DI PERTINENZA ACUSTICA DEGLI ASSI STRADALI.....	7
1.2	CLASSIFICAZIONE ACUSTICA COMUNALE	7
1.3	LIMITI ADOTTATI PER I LIVELLI DI PRESSIONE SONORA – ANALISI DELLA CONCORSALE.....	8
1.4	METODOLOGIA DI LAVORO	9
2	CARATTERISTICHE AMBIENTALI, TERRITORIALI E INSEDIATIVE	15
2.1	CARATTERISTICHE TERRITORIALI E INSEDIATIVE	15
2.1.1	Censimento dei ricettori.....	15
2.1.2	Edifici e aree di nuova edificazione.....	15
2.1.3	Ricettori sensibili.....	15
2.2	RICETTORI ESPOSTI E LIMITI APPLICABILI	16
3	CLIMA ACUSTICO ANTE OPERAM	19
3.1	LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI DI RILIEVO FONOMETRICO	20
3.2	ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO	20
3.3	RIFERIMENTI NORMATIVI	21
3.4	METODICHE DI MONITORAGGIO RUMORE.....	21
3.4.1	Calibrazione iniziale.....	21
3.4.2	Posizionamento del microfono.....	22
3.4.3	Misurazione	22
3.4.4	Riconoscimento di componenti impulsive.....	22
3.4.5	Riconoscimento di componenti tonali	23
3.4.6	Metodica di misura.....	23
3.4.7	Settaggi registrazione dati	23
3.5	ANALISI E SINTESI DEI RISULTATI.....	24
3.6	DESCRITTORI ACUSTICI E NON ACUSTICI	24
3.6.1	Livello continuo equivalente.....	24
3.6.2	Livello percentile L1	25
3.6.3	Livello percentile L50.....	25
3.6.4	Livello percentile L95.....	25
3.6.5	Livello massimo Lmax	26
3.6.6	Livello minimo Lmin	26
3.6.7	Distribuzione statistica.....	26
3.6.8	SEL.....	27
3.7	SINTESI DEI RISULTATI.....	27
4	QUADRO DI RIFERIMENTO PREVISIONALE.....	36
4.1	DESCRIZIONE MODELLO PREVISIONALE	36
4.2	INTEGRAZIONE TRA GIS E MODELLO ACUSTICO	36
4.3	DESCRIZIONE NMPB96	37
4.4	EVOLUZIONE DELLE EMISSIONI DEL PARCO CIRCOLANTE A LUNGO TERMINE	40
4.5	TARATURA DEL MODELLO PREVISIONALE	42

5	DATI DI TRAFFICO	44
6	PREVISIONE LIVELLI DI RUMORE SUI RICETTORI E MAPPATURA ACUSTICA	45
6.1	AMBITO DI MAPPATURA.....	45
6.2	IL MODELLO GEOMETRICO	45
6.3	CARATTERISTICHE DI IMPEDENZA DEI MATERIALI.....	45
6.4	LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI DI CALCOLO	45
6.4.1	<i>Ricettori residenziali e non residenziali (industriali, commerciali, terziari).....</i>	<i>45</i>
6.4.2	<i>Aree di espansione residenziali, commerciali, industriali e a servizio</i>	<i>46</i>
6.5	SCENARI SIMULATI	46
6.6	METODOLOGIA DI DIMENSIONAMENTO DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE	46
6.7	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI ACUSTICHE	47
6.7.1	<i>Risultati delle Simulazioni nella fase ante-operam.....</i>	<i>47</i>
6.7.2	<i>Risultati delle Simulazioni nella fase post-operam.....</i>	<i>49</i>
7	SINTESI DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE ACUSTICA	55
7.1	PAVIMENTAZIONE STRADALE	55
7.2	INTERVENTI SUI RICETTORI.....	55
8	IMPATTO ACUSTICO NELLA FASE DI CANTIERE	56
8.1	STIMA DEGLI IMPATTI DA RUMORE PRODOTTI DALLE MACCHINE DI CANTIERE	57
8.1.1	<i>Traiettoria di lavoro</i>	<i>58</i>
8.1.2	<i>Trasporto inerti al fronte di avanzamento</i>	<i>58</i>
8.1.3	<i>Zona sorgente di rumore</i>	<i>58</i>
8.2	RICETTORI ESPOSTI	59
8.3	IMPATTO ACUSTICO NELLA FASE DI REALIZZAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA	60
8.3.1	<i>Impatto acustico nella fase di scavo</i>	<i>61</i>
8.3.2	<i>Impatto acustico nella fase di realizzazione della sovrastruttura stradale.....</i>	<i>62</i>
8.3.3	<i>Impatto acustico nella fase di asfaltatura.....</i>	<i>63</i>
8.4	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	64
9	COMPONENTE VIBRAZIONI	65
9.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	65
9.2	METODOLOGIA	69
9.2.1	<i>Propagazione delle vibrazioni nel terreno.....</i>	<i>70</i>
9.2.2	<i>Attenuazioni ed amplificazioni nella struttura degli edifici</i>	<i>75</i>
9.3	SORGENTE DI VIBRAZIONI	79
9.4	PROPRIETÀ MECCANICHE DEL TERRENO	82
9.5	VALUTAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI	82
9.5.1	<i>Propagazione delle vibrazioni indotte da un autocarro</i>	<i>82</i>
9.5.2	<i>Propagazione delle vibrazioni indotte da un rullo vibrante.....</i>	<i>85</i>
9.5.3	<i>Propagazione delle vibrazioni indotte da una pala cingolata</i>	<i>87</i>
9.5.4	<i>Propagazione delle vibrazioni indotte da una pala gommata.....</i>	<i>89</i>
9.6	CONCLUSIONI.....	90
10	BIBLIOGRAFIA.....	93

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"**ALLEGATO A – Riferimenti legislativi**

A1 - Definizioni

A2 - D.P.C.M. 01/03/1991

A3 - Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico

A4 - D.P.C.M. 14 novembre 1997

A5 - D.P.C.M. 3 dicembre 1997

A6 - D.P.R. 18 novembre 1998, n. 459

A7 - D.M.Amb. 16 marzo 1998

A8 - D.P.R. n. 142 del 30 marzo 2004

A9 - Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 194

A10 - Decreto Ministero dell'Ambiente 29 novembre 2000

A11 - D.G. della Regione Emilia Romagna n. 2002/45 del 21/1/2002

A12 - Direttiva Regionale 673/2004

ALLEGATO B – METODI DI ANALISI DELLO STATO AMBIENTALE

B1 - Modello ISO 9613 per il disturbo causato dalle sorgenti fis

Elenco Figure

1.1 - Fasce di pertinenza – scala 1:5.000

1.2 - Estratto piano di classificazione acustica – scala 1:5.000

2.1 - Ricettori esposti e misure fonometriche – scala 1:4.000

4.1 – Nomogramma NMPB

4.2 – Valori di emissione LAE in funzione della velocità per veicoli leggeri

4.3 – Evoluzione storica e tendenze di medio termine

4.4 – Emissioni di rumore in funzione della velocità, veicoli leggeri e pesanti

6.1 - Mappa acustica nel periodo diurno dello stato di fatto – scala 1:5.000

6.2 - Mappa acustica nel periodo notturno dello stato di fatto – scala 1:5.000

6.3 - Mappa acustica nel periodo diurno dello stato di progetto – scala 1:5.000

6.4 - Mappa acustica nel periodo notturno dello stato di progetto – scala 1:5.000

9.1 – Sistema cartesiano di riferimento per persona coricata

9.2 – Sistema cartesiano di riferimento per persona in piedi o seduta

9.3 – Curva di ponderazione assi X, Y e asse X

9.4 – Curva di ponderazione asse generico

9.5 – Vari tipi di onde di volume e di superficie

9.6 – Velocità relativa delle onde P ed R rispetto alle onde S

9.7 – Attenuazione in funzione della frequenza e della distanza per onde superficiali

9.8 – Attenuazione in funzione della frequenza e della distanza per onde di volume

9.9 – Attenuazione dovuta a diversi tipi di fondazione

9.10 – Amplificazione prodotta dai solai

9.11 – Attenuazione da un piano al successivo

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

- 9.12 - Spettro di emissione della sorgente di un autocarro
- 9.13 - Spettro di emissione della sorgente di un compattatore a rullo vibrante
- 9.14 - Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata
- 9.15 - Spettro di emissione della sorgente di una pala gommata
- 9.16 – Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza
- 9.17 – Livello di accelerazione massimo in funzione della distanza dal cantiere
- 9.18 – Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza
- 9.19 – Livello di accelerazione massimo in funzione della distanza dal cantiere
- 9.20 – Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza
- 9.21 – Livello di accelerazione massimo in funzione della distanza dal cantiere
- 9.22 – Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza
- 9.23 – Livello di accelerazione massimo in funzione della distanza dal cantiere

1 PREMESSA

Il presente documento è finalizzato alla verifica acustica del Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine".

L'infrastruttura in progetto rappresenta l'ultimo tassello del sistema di tangenziale del capoluogo comunale di Busseto. Con l'ultimo tratto sarà possibile deviare il traffico pesante che interessa il centro di Busseto dalle principali direttrici viarie di rango provinciale:

- S.P. 588 dei Due Ponti;
- S.P. 94 Busseto – Polesine;
- S.P. n. 11 di Busseto;
- S.P. n. 46 di Busseto.

La valutazione d'impatto acustico è mirata alla verifica dell'idoneità delle scelte progettuali in termini costruttivi e logistici, in relazione alle emissioni sonore derivanti dalle sorgenti presenti sul territorio, come le infrastrutture viarie, ed eventualmente al dimensionamento di barriere antirumore laddove si renda necessario mitigare gli edifici abitativi da livelli sonori superiori alle soglie di non superamento dettate dalla normativa vigente.

La legislazione in materia d'acustica ha, infatti, l'obiettivo di minimizzare i rischi per la salute dell'uomo, garantendo così la vivibilità degli ambienti abitativi, lavorativi e di svago e una buona qualità della vita per tutti i cittadini.

La compatibilità ambientale per le infrastrutture viarie, sotto il profilo acustico, è vincolata al rispetto dei limiti assoluti di zona, ai sensi del D.P.C.M. 14/11/1997 ("Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore", pubblicato sulla G.U. n. 280 del 1 Dicembre 1997), e ai limiti nelle fasce di pertinenza definiti dal D.P.R. n. 142 del 30 marzo 2004.

In relazione all'aspetto fondamentale che le principali sorgenti di rumore si configurano come strade e ferrovie, la valutazione d'impatto acustico della nuova viabilità è stata ottenuta attraverso le seguenti fasi:

- analisi del conteso territoriale e delle principali sorgenti di rumore;
- localizzazione e classificazione per flusso di traffico delle infrastrutture viarie;
- localizzazione delle zone artigianali ed industriali;
- individuazione e classificazione dei ricettori potenzialmente coinvolti dalla nuova arteria stradale;
- esecuzione dei rilievi fonometrici con contestuale rilievo del traffico veicolare;
- definizione del livello del rumore totale allo stato attuale nel periodo diurno e notturno ai ricettori esposti sia con rilievi strumentali sia con modellazione matematica;
- acquisizioni delle previsioni di traffico dopo l'apertura della nuova viabilità;

- definizione del livello del rumore totale a seguito dell'apertura della nuova viabilità sia nel periodo diurno che notturno ai ricettori esposti mediante modellazione matematica
- analisi delle principali lavorazioni di cantiere e dei rispettivi livelli di rumore emessi;
- valutazione dell'impatto acustico nella fase di realizzazione della nuova viabilità per fasi lavorative;
- dimensionamento di eventuali misure di mitigazione.

1.1 Area d'indagine - Fasce di pertinenza acustica degli assi stradali

L'area indagata nell'ambito del censimento è stata individuata sulla base delle fasce di pertinenza acustica della tangenziale, definite nel D.P.R. n. 142 del 30 marzo 2004 "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447".

Occorre rilevare che tale arteria per le dimensioni della sezione della sede stradale, non rientra nelle categorie definite dall'articolo 2 del decreto legislativo n. 285 del 1992 (A. autostrade; B. strade extraurbane principali; C. strade extraurbane secondarie; D. strade urbane di scorrimento; E. strade urbane di quartiere; F. strade locali), perciò l'applicazione delle fasce di pertinenza appare inappropriata.

Essendo tuttavia un'arteria d'interconnessione di arterie di rango provinciale, per la previsione d'impatto acustico è stata accomunata a una strada di tipo C, per le quali si applicano fasce di pertinenza di estensione pari a 150 metri a partire dal ciglio della sede stradale.

Conseguentemente sono censiti:

- tutti i ricettori collocati all'interno della fascia di 150 m dal margine dell'infrastruttura;
- i ricettori sensibili (scuole, ospedali, case di cura e case di riposo) nella fascia di 300 m dal margine dell'infrastruttura.

1.2 Classificazione acustica comunale

Il Piano di Zonizzazione acustica comunale vigente, redatto ai sensi della Legge n. 447 del 26/10/1995, classifica l'area in esame, sulla base delle destinazioni urbanistiche esistenti, nelle seguenti classi (v. Fig. 2):

- classe V - aree prevalentemente industriali con limite diurno di 70 dBA e limite notturno di 60 dBA;; comprende le aree industriali, situate zone marginali all'area di studio;
- classe III - aree di tipo misto con limite diurno di 60 dBA e limite notturno di 50 dBA: comprende le aree a destinazione agricola prevalente;
- classe IV - aree d'intensa attività umana con limite diurno di 65 dBA e limite notturno di 55 dBA: comprende le aree contermini alle aree industriali e le fasce di 50 metri adiacenti alla S.P. n. 588 dei due Ponti, alla S.P. 94 di Busseto-Polesine;

- classe II - aree prevalentemente residenziali con limite diurno di 55 dBA e limite notturno di 45 dBA: comprende il centro storico di Busseto e le aree residenziali limitrofe;

La classificazione acustica è riportata nella Fig. 1.2 (in scala 1:5.000).

Il terzo tronco della tangenziale di Busseto rientra in un ambito territoriale a prevalente destinazione agricola classificato prevalentemente in classe IV "aree d'intensa attività umana" con limite diurno di 65 dBA e limite notturno di 55 dBA e in minima parte in classe III "aree di tipo misto" con limite diurno di 60 dBA e limite notturno di 50 dBA.

Nel Piano di classificazione di Busseto il tracciato del terzo tronco della tangenziale è leggermente diverso da progetto: tra la S.P. 588 dei Due Ponti e la S.C. di Balsemano le differenze sono poche; più marcate sono invece tra la S.C. di Balsemano e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine".

Occorre evidenziare che tutto il tracciato della tangenziale, indicato nel Piano di Classificazione Acustica, è dotato di una fascia di 50 metri da ambo i lati dell'infrastruttura in classe IV "aree d'intensa attività umana" con limite diurno di 65 dBA e limite notturno di 55 dBA.

1.3 Variante alla classificazione acustica comunale

La variante alla classificazione acustica comunale, redatta ai sensi della Legge n. 447 del 26/10/1995, tiene in considerazione il terzo tronco della tangenziale di Busseto conferendo per l'intero tracciato una fascia di 100 metri in classe IV - aree d'intensa attività umana con limite diurno di 65 dBA e limite notturno di 55 dBA.

Le modifiche introdotte dalla variante non modificano la classificazione nei confronti dei ricettori esposti che mantengono la precedente classificazione.

Sono infine state introdotte le fasce di pertinenza A e B assegnate alla S.P. di Polesine Parmense e alla S.P. dei Due Ponti.

1.4 Limiti adottati per i Livelli di Pressione Sonora – Analisi della Concorsualità

Il rumore derivante da traffico stradale è disciplinato dal *DPR 142 del 30/03/2004* recante "*Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare*". Il *Decreto* fissa i valori limite di immissione per il rumore generato dal traffico stradale e definisce le fasce acustiche di rispetto delle infrastrutture stradali secondo tipologia.

Occorre rilevare che il terzo tronco della tangenziale di Busseto per le dimensioni della sezione della sede stradale è di tipo F1, perciò non si è tenuto conto delle fasce di pertinenza di cui al DPR 142 del 30/03/2004, ma unicamente i limiti assoluti della classificazione acustica comunale. In particolare nei primi 50 metri a partire dal ciglio della sede stradale si sono considerati i limiti della classe IV (65 dBA nel periodo diurno e 55 dBA nel periodo notturno), mentre per le aree susseguenti i limiti della classe III (60 dBA nel periodo diurno e 50 dBA nel periodo notturno).

Riassumendo i limiti applicati alle arterie stradali sono i seguenti:

- 40 dB(A) Leq notturno per ospedali, case di cura e case di riposo;
- 50 dB(A) Leq diurno per le scuole e ospedali, case di cura e case di riposo;
- 65 dB(A) Leq diurno per tutti gli altri ricettori in ambiente abitativo situati a distanze inferiori a 50 metri dalla tangenziale di Busseto;
- 55 dB(A) Leq notturno per tutti gli altri ricettori in ambiente abitativo situati a distanze inferiori a 50 metri dalla tangenziale di Busseto;
- 60 dB(A) Leq diurno per tutti gli altri ricettori in ambiente abitativo situati a distanze superiori a 50 metri dalla tangenziale di Busseto;
- 50 dB(A) Leq notturno per tutti gli altri ricettori in ambiente abitativo situati a distanze superiori a 50 metri dalla tangenziale di Busseto.

1.5 Metodologia di lavoro

Lo studio acustico in oggetto esamina un ambito spaziale di ampiezza complessiva di circa 1,5 km, esteso da entrambi i lati per 300 m dal ciglio esterno del tracciato del terzo tronco della Tangenziale di Busseto.

All'interno di questo corridoio sono stati svolti specifici sopralluoghi finalizzati a verificare lo stato fisico dei luoghi (morfologia, copertura superficiale del terreno, ostacoli naturali, ecc.), le sorgenti di rumore, i caratteri tipici del paesaggio sonoro e il censimento dei ricettori.

In analogia, anche il reperimento del Piano Strutturale Comunale (PSC) e della classificazione acustica comunale, costituiscono fasi di attività specialistica i cui risultati sono stati trasferiti come base informativa allo studio acustico.

L'insieme delle informazioni recepite ha permesso di verificare la futura evoluzione del sistema ricettore e degli obiettivi di tutela sonora del territorio.

Trattandosi di un progetto finalizzato con impatto sul traffico del centro urbano di Busseto, è stato ritenuto opportuno definire sperimentalmente tramite misure e analiticamente tramite un modello previsionale, lo stato iniziale dell'ambiente. E' stato in questo modo possibile applicare il criterio della concorsualità in modo analiticamente corretto e definire i livelli di soglia in base alla reale "forza" della sorgente di rumore concorsuale.

I calcoli previsionali sono stati svolti con il modello ad interim NMPB-Routes-96 (Racc. 2003/613/CE), richiamato dal Dlgs 194/2005 per la mappatura acustica stradale e generalmente adottato nei piani di risanamento acustico delle infrastrutture esistenti e negli studi delle nuove infrastrutture.

La pratica applicativa evidenzia che questo modello previsionale porta ad una generale sovrastima degli impatti e, conseguentemente, ad un dimensionamento cautelativo degli interventi di mitigazione del rumore. Ciò deriva in larga misura dalla indisponibilità sul territorio nazionale italiano di informazioni in

merito alle condizioni favorevoli alla propagazione del rumore in periodo diurno e notturno, e dalla conseguente necessità di utilizzare dei dati meteorologici semplificati e prudenziali.

Il principio di precauzione è espresso dalla WG-AEN (Good practice Guide for Strategic Noise Mapping) in termini di massimizzazione dell'incidenza nel lungo periodo delle condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione del rumore. La differenza tra il livello misurato in condizioni favorevoli e omogenee può essere anche di 8 dBA, per cui risulta chiaro l'impatto sui risultati finali e i problemi pratici che possono insorgere in fase di taratura del modello previsionale, la cui convergenza ai dati sperimentali è sempre difficile e tale da indirizzare talvolta l'utilizzatore verso arbitrarie riduzioni alla sorgente.

Le simulazioni dello stato di progetto, svolte per lo scenario di traffico a lungo termine (2021), hanno permesso di identificare le aree di esubero normativo e di dimensionare gli interventi attivi e passivi di mitigazione in accordo alle priorità enunciate dal DMA 29.11.2000.

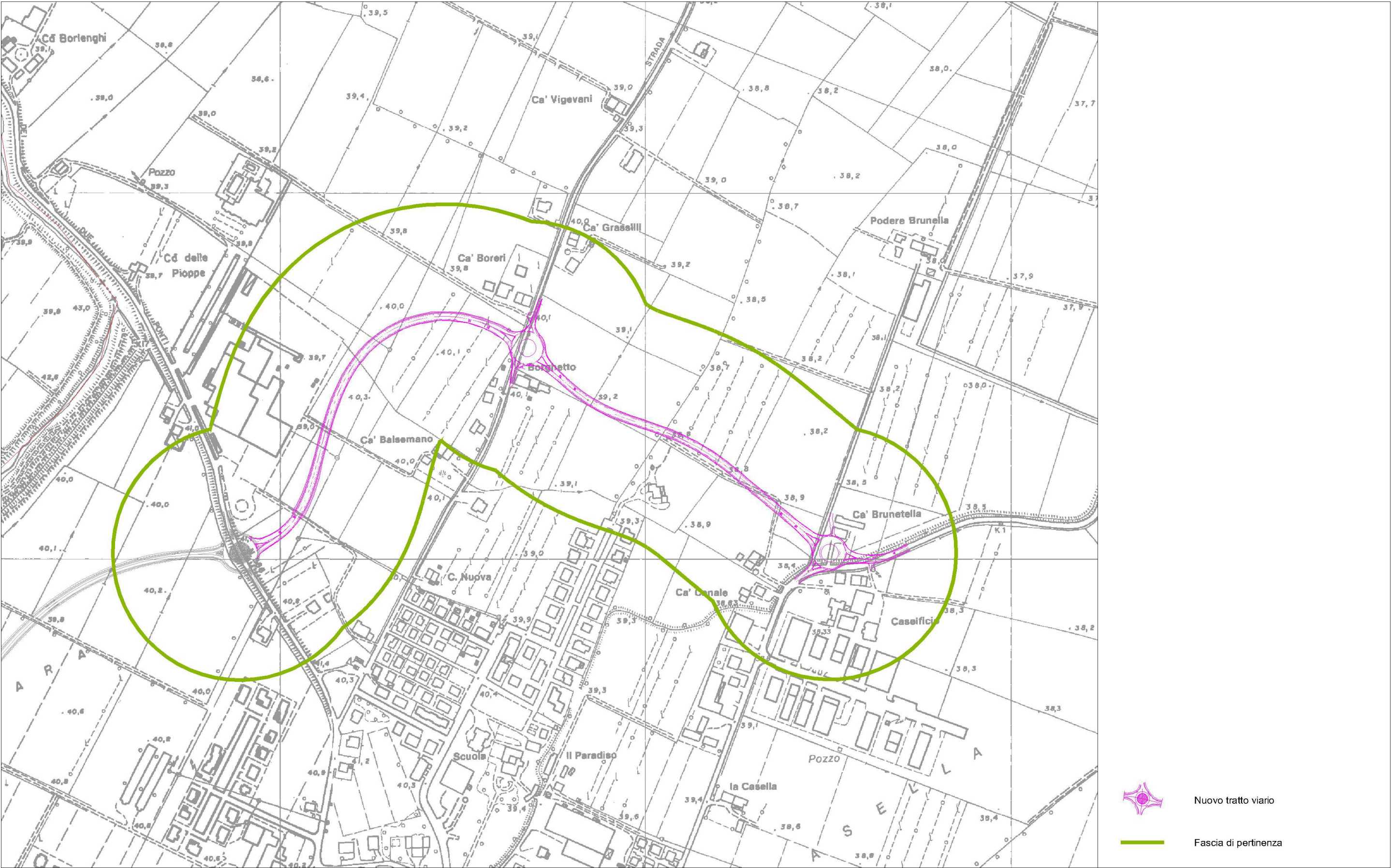


Figura 1.1: Ambito di studio – scala 1:5.000

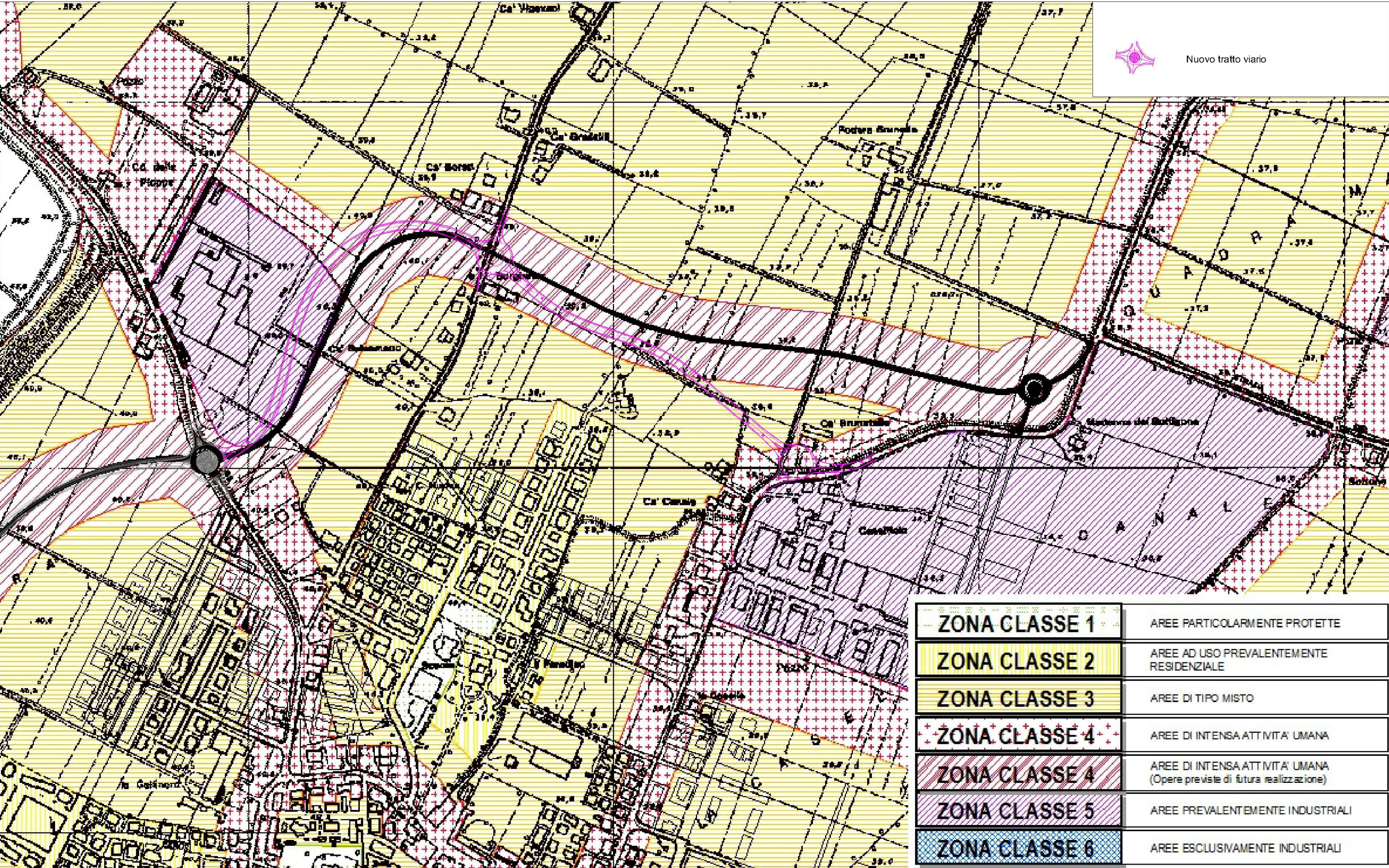


Figura 1.2: Estratto piano di classificazione acustica – scala 1:5.000

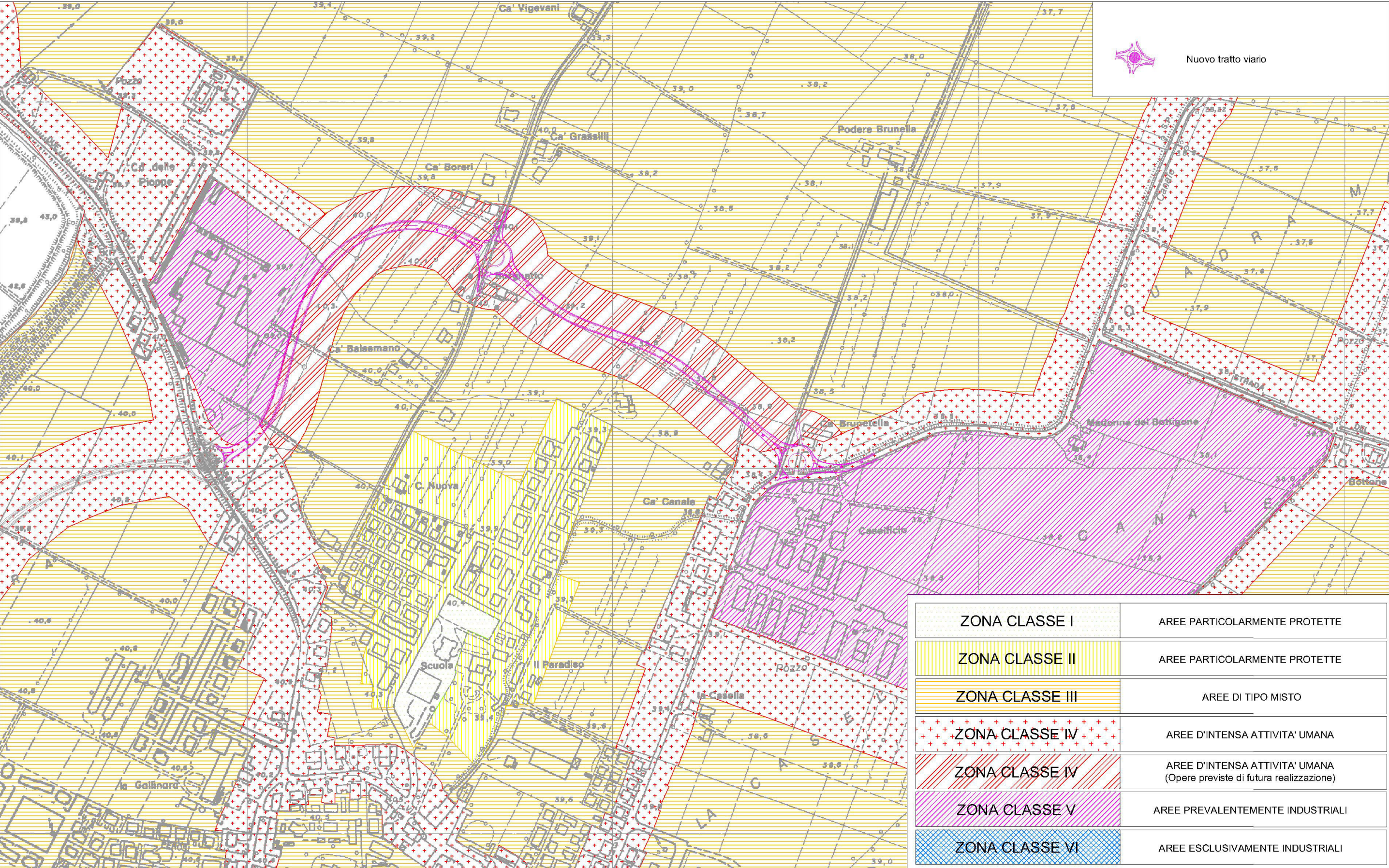
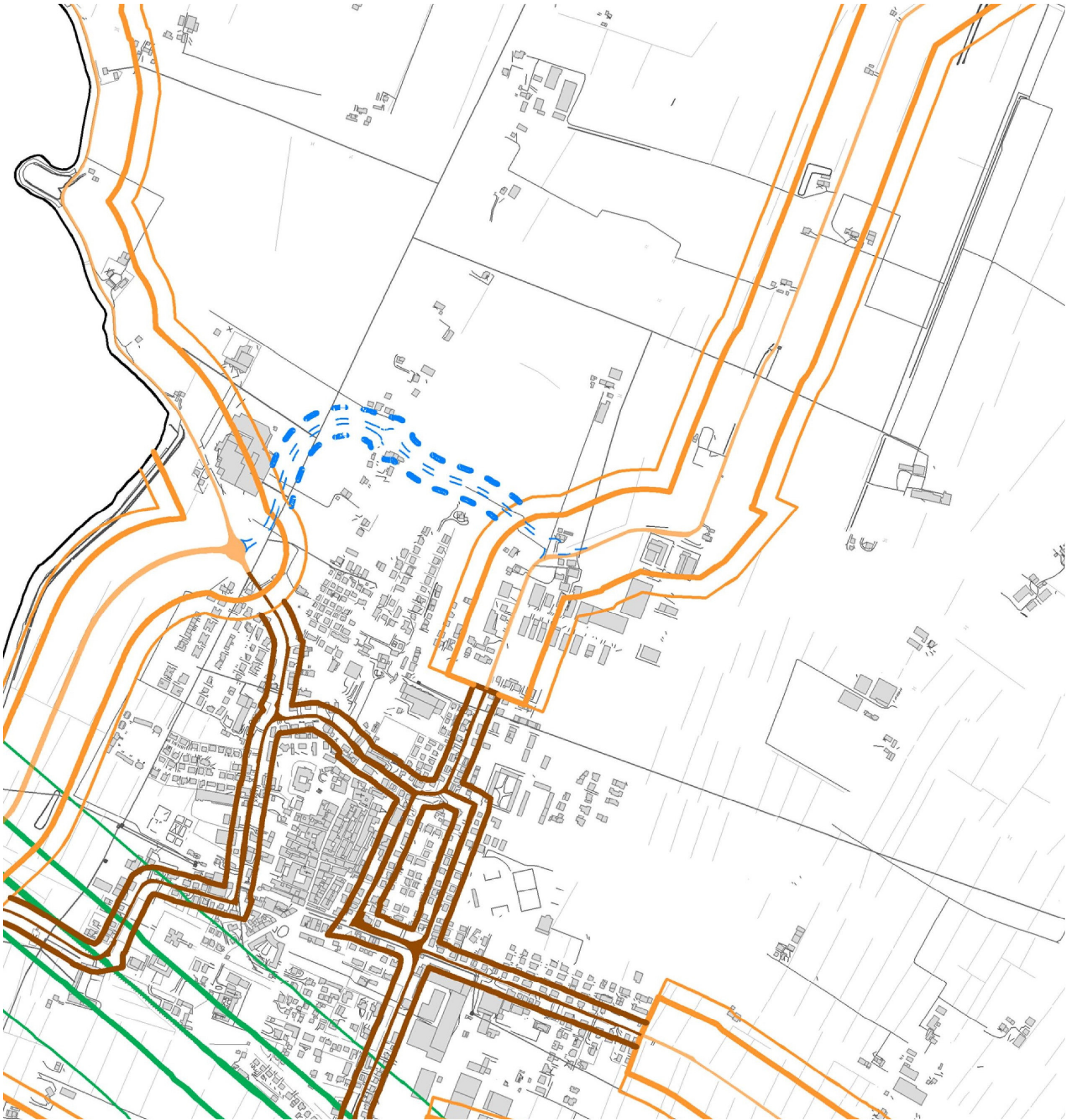


Figura 1.3: Variante al piano di classificazione acustica– scala 1:5.000



Fasce di pertinenza dell'infrastruttura ferroviaria

(D.P.R. 459 del 18 novembre 1998)

Infrastruttura con velocità inferiore a 200 Km/h

- Tracciato Ferroviario**
- FASCIA A**
100 metri
- FASCIA B**
150 metri

Infrastruttura con velocità superiore a 200 Km/h

- Tracciato Ferroviario**
- FASCIA A**
250 metri

Fasce di pertinenza dell'infrastruttura stradale

(D.P.R. 142 del 30 marzo 2004)

Strade esistenti

- Strada di tipo "A" - Autostrada**
- FASCIA A**
100 metri
- FASCIA B**
150 metri
- Strada di tipo "C_Cb" - Tutte le altre strade extraurbane secondarie**
- FASCIA A**
100 metri
- FASCIA B**
50 metri
- Strada di tipo "F" - Strade locali**
- FASCIA A**
30 metri

Strade di nuova realizzazione

- Strada di tipo "C_C2" - Strade extraurbane secondarie**
- FASCIA A**
150 metri
- Strada di tipo "F" - Strade locali**
- FASCIA A**
30 metri

Figura 1.4: Estratto fasce di pertinenza

2 CARATTERISTICHE AMBIENTALI, TERRITORIALI E INSEDIATIVE

2.1 Caratteristiche territoriali e insediative

2.1.1 Censimento dei ricettori

È stata adottata un'estensione di 150 m dal ciglio stradale della tangenziale di Busseto: il corridoio di 300 m contiguo all'infrastruttura stradale è stato rilevato con lo scopo di identificare le destinazioni d'uso prevalenti degli edifici (residenziale, residenziale in progetto, edifici dismessi o ruderi, attività commerciali, attività artigianali e industriali, edifici religiosi e monumentali, asili, scuole, istituti superiori o universitari, ospedali, case di cura, case di riposo, impianti sportivi, parchi e aree naturalistiche, pertinenze non adibite a presenza umana permanente (box, tettoie, magazzini), servizi (municipi, centri sociali, stazioni, ecc.), lo stato abitativo, la presenza di eventuali ostacoli alla propagazione del rumore, la presenza di infrastrutture concorsuali o altre sorgenti di rumore mentre, nella fascia esterna compresa tra 150 e 300 m, sono stati ricercati gli edifici sensibili (asili, scuole, istituti superiori o universitari, ospedali, case di cura, case di riposo).

Le codifiche sono espresse da una stringa numerica composta da due o tre cifre che identificano il ricettore (V. Fig. 2.1).

2.1.2 Edifici e aree di nuova edificazione

I sopralluoghi svolti in occasione del censimento ricettori hanno permesso di apprezzare e rilevare lo stato dell'edificazione ad oggi, inclusi gli edifici in fase di costruzione indipendentemente dalla destinazione d'uso.

Le aree di nuova edificazione sono viceversa state derivate dallo strumento urbanistico comunale.

2.1.3 Ricettori sensibili

Ai sensi del DPR 142/2004 sono considerati ricettori sensibili:

- gli edifici scolastici di ogni ordine e grado;
- le case di cura;
- case di riposo;
- gli ospedali.

Il censimento ha permesso di identificare i ricettori sensibili elencati nella successiva Tabella 2.1

Tabella 2.1: Elenco dei sensibili

Comune	Denominazione	DESTINAZIONE
Busseto	RS1	Scuola nido

2.2 Ricettori esposti e limiti applicabili

Nella successiva Tabella 2.2 sono riepilogati tutti i ricettori esposti (unità residenziali) che rientrano nella fascia di 300 metri dalla Tangenziale di Busseto con i rispettivi limiti assoluti diurni e notturni dettati dalla legislazione vigente in materia. Alcuni dei ricettori elencati rientrano anche nelle fasce di pertinenza della S.P. n. 588 dei due Ponti e della S.P. n. 94 di Busseto-Polesine.

Tabella 2.2: Ricettori esposti e sensibili con rispettivi limiti assoluti

Ricettore	Fascia di pertinenza	Limite assoluto diurno	Limite assoluto notturno	Zona Acustica	Limite assoluto diurno	Limite assoluto notturno	Tipologia	Condizioni abitative
		dBA	dBA		dBA	dBA		
1	B	65	55	III	60	50	Residenziale	Abitato
2	B	65	55	III	60	50	Residenziale	Abitato
3	B	65	55	III	60	50	Residenziale	Abitato
4	B	65	55	III	60	50	Residenziale	Abitato
5	B	65	55	IV	65	55	Residenziale	Abitato
6	B	65	55	IV	65	55	Residenziale	Abitato
7	A	70	60	III	60	60	Residenziale	Abitato
8	A	70	60	IV	65	55	Residenziale	Abitato
9	A	70	60	IV	65	55	Residenziale	Abitato
10	A	70	60	III	60	50	Residenziale	Abitato
11				III	60	50	Residenziale	Abitato
12				III	60	50	Residenziale	Disabitato
13				III	60	50	Residenziale	Abitato
14				III	60	50	Residenziale	Abitato
15				IV	65	55	Residenziale	Abitato
16				IV	65	55	Residenziale	Abitato
17				III	60	50	Residenziale	Abitato
18				III	60	50	Residenziale	Abitato
19				III	60	50	Residenziale	Abitato
20				II	55	45	Residenziale	Abitato
21				II	55	45	Residenziale	Abitato
22	A	70	60	III	60	50	Residenziale	Abitato
23	A	70	60	IV	65	55	Residenziale	Disabitato
24	A	70	60	IV	65	55	Residenziale	Disabitato

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

Ricettore	Fascia di pertinenza	Limite assoluto diurno	Limite assoluto notturno	Zona Acustica	Limite assoluto diurno	Limite assoluto notturno	Tipologia	Condizioni abitative
		dBA	dBA		dBA	dBA		
25	A	70	60	V	70	60	Residenziale	Abitato
26	A	70	60	V	70	60	Residenziale	Abitato



Figura 2.1: Ricettori esposti e misure fonometriche – scala 1:4.000

3 CLIMA ACUSTICO ANTE OPERAM

L'attività di monitoraggio è stata finalizzata al riconoscimento delle emissioni di rumore delle infrastrutture di trasporto attualmente presenti sul territorio e alla taratura del modello previsionale CADNA A.

In una logica di ottimizzazione delle risorse, le aree e i punti di monitoraggio sono stati identificati in modo tale che i risultati delle misure possano essere utilizzati come base per la definizione delle emissioni delle infrastrutture di trasporto contenute nel bacino acustico dell'area di Busseto e, al tempo stesso, come riferimento ante-operam.

La presenza di sorgenti concorsuali, o di ricettori sensibili, hanno inoltre indirizzato la scelta dei punti di misura. In merito alla localizzazione dei punti di misura sono state privilegiate postazioni non interferite da emissioni di rumore “singolari”, cioè da sorgenti di rumore non riconducibili alla struttura del paesaggio sonoro dell'area o in grado di compromettere il riconoscimento delle sorgenti di rumore oggetto dell'indagine, e inserimenti territoriali facilmente ricostruibili modellisticamente.

Le attività di monitoraggio finalizzate alla taratura del modello previsionale CADNA A hanno lo scopo di rilevare, direttamente con misure o indirettamente, i dati di ingresso richiesti dal modello di calcolo al fine di poter confrontare il risultato fornito dell'algoritmo con i rilievi sperimentali di rumore.

Il tracciato della Tangenziale di Busseto intercetta le infrastrutture di trasporto stradali lungo le quali è attualmente concentrata la mobilità su ruota. Procedendo da est verso ovest le principali sorgenti di rumore sono rappresentate da:

- S.P. n 94 di Busseto – Polesine;
- S.C. Balsemano;
- S.P. n 588 dei due Ponti.

Le misure fonometriche sono state compiute nelle adiacenze, della S.P. 94, finalizzate alla caratterizzazione delle emissioni e al controllo della sovrapposizione degli effetti delle sorgenti concorsuali primarie.

I punti di monitoraggio sono stati scelti all'interno dell'area di studio di Busseto, evitando, per quanto possibile, posizioni caratterizzate da:

- eccessi di schermatura naturale;
- eccessi di attenuazione del terreno;
- schermature o riflessioni generate da superfici antropiche difficilmente ricostruibili dal modello di calcolo;
- interferenza con attività antropiche rumorose;
- tratte stradali con pavimentazioni ammalorate e tali da determinare significativi incrementi di emissioni da rotolamento o sobbalzi dei carichi.

3.1 Localizzazione dei punti di rilievo fonometrico

Sono stati complessivamente identificati 6 punti di monitoraggio con metodica a spot (P1, P2, P3, P4 e P5) e misura del rumore da traffico in continuo per 24 ore. Le stazioni di misura sono state collocate nelle adiacenze delle principali infrastrutture viarie che interessano il bacino acustico di Busseto. La Tabella 3.1 fornisce le seguenti informazioni:

- codice punto di misura, composto dalla sigla del Comune di appartenenza (3 lettere) e 2 digit numerici;
- tipo di metodica applicata;
- coordinata Est Gauss Boaga;
- coordinata Nord Gauss Boaga;
- comune di appartenenza;
- provincia di appartenenza;
- finalità della misura (rilievo emissioni, esposizione ricettori A.O., concorsualità, ricettore sensibile);
- sorgenti principali.

La localizzazione dei punti di rilievo fonometrico in scala 1:5.000 (v. Fig. 2.1) permette di verificare l'esatta posizione delle misure, le sigle identificative, le metodiche utilizzate e fornisce la sintesi dei rilievi in termini di $Leq(6-22)$ e $Leq(22-6)$.

Tabella 3.1 – Localizzazione punti di misura clima acustico

Codice Punto	Tipo	Coordinate		Comune	Provincia	Sorgenti principali
		Est UTM	Ovest UTM			
P1	spot	1582103	4981881	BUSSETO	PARMA	S.P. 588 dei due Ponti
P2	spot	1582726	4982065	BUSSETO	PARMA	S.P. 94 Busseto-Polesine
P3	spot	1582355	4982416	BUSSETO	PARMA	S.C. del Balsemano
P4	spot	1582438	4982052	BUSSETO	PARMA	Via I. Pizzetti
P5	spot	1582856	4981986	BUSSETO	PARMA	S.P. 94 Busseto-Polesine
P6	Continuo	1582784	4981029	BUSSETO	PARMA	S.P. 94 Busseto-Polesine
P7	spot	1582276	4982188	BUSSETO	PARMA	S.C. del Balsemano

3.2 Attività di monitoraggio

La gestione, programmazione e svolgimento delle misure, e le successive fasi di validazione e analisi dei dati, sono state condotte dal Dott. Marco Rogna, Provincia di Parma, Det. Dir. n. 220 del 31/01/2001.

3.3 Riferimenti normativi

La strumentazione utilizzata è conforme a quanto indicato nel DM 16/3/1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico". Altri principali riferimenti sono contenuti nella normativa tecnica:

- EN60651-1994 - Class 1 Sound Level Meters (CEI 29-1).
- EN60804-1994 - Class 1 Integrating-averaging sound level meters (CEI 29-10).
- EN 61094/1-1994 - Measurement microphones. Part 1 : Specifications for laboratory standard microphones
- EN 61094/2-1994 - Measurement microphones. Part 2 : Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique.
- EN 61094/3-1994 - Measurement microphones. Part 3 : Primary method for free-calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique.
- EN 61094/4-1995 - Measurement microphones. Part 4 : Specifications for working standard microphones.
- IEC 942-1988 - Electroacoustics – Sound calibrators (CEI 29-14).
- ISO 226-1987 - Acoustics – Normal equal – Loudness level contours.
- UNI 9884-1991 - Caratterizzazione acustica del territorio mediante descrizione del rumore ambientale.

3.4 Metodiche di monitoraggio rumore

Le misure di rumore sono state svolte con metodiche e strumentazione standardizzata al fine di garantire uno svolgimento qualitativamente omogeneo delle misure ante operam e la ripetibilità delle stesse in corso d'opera e in esercizio. Ciò permette di disporre di informazioni aggiornabili ed integrabili nel tempo.

Le metodiche di monitoraggio e la strumentazione impiegata considerano inoltre i riferimenti normativi nazionali e gli standard indicati in sede di unificazione nazionale (norme UNI) ed internazionale (Direttive CEE, norme ISO) e, in assenza di prescrizioni vincolanti, i riferimenti generalmente in uso nella pratica applicativa. La metodica di monitoraggio utilizzata è denominata a spot se di durata 15 m e in continuo se di misura 24 ore.

Le operazioni di misura sono svolte seguendo le fasi operative di seguito descritte.

3.4.1 Calibrazione iniziale

Inserimento del microfono all'interno del calibratore. Regolazione della dinamica del fonometro o dell'alimentatore in modo tale da evitare fenomeni di saturazione. Registrazione del segnale di calibrazione e valutazione dello scostamento rispetto al livello di riferimento caratteristico del calibratore.

La calibrazione è da ritenersi accettabile se il livello misurato differisce di massimo $\pm 0,5$ dB rispetto al livello di calibrazione. In caso contrario, agendo sul fonometro, si procede ad una taratura reiterata sino al raggiungimento della condizione suddetta.

3.4.2 Posizionamento del microfono

La postazione di misura deve essere scelta in modo da caratterizzare il campo sonoro indagato, tenendo conto della direzione prevalente di provenienza del rumore, dell'eventuale presenza di ostacoli o di situazioni che potrebbero pregiudicare l'esecuzione o non ripetibilità delle misure (presenza di cani, divieti di accesso, ecc.).

A meno di specifiche finalità o vincoli ambientali nel caso di edifici con facciata a filo della sede stradale il microfono deve essere collocato a 1 m dalla facciata stessa. Nel caso di edifici con distacco dalla sede stradale o di spazi liberi, il microfono deve essere collocato nell'interno dello spazio fruibile da persone o comunità e, comunque, a non meno di 1 m dalla facciata dell'edificio.

L'altezza del microfono sia per misure in aree edificate che per misure in altri siti, deve essere scelta in accordo con la reale o ipotizzata posizione del ricettore. Il microfono, munito di cuffia antivento, deve essere montato tramite apposito supporto microfonico su treppiede telescopico o stativo e deve essere collocato ad una altezza di 4 m dal p.c.. E' ammesso il posizionamento della postazione su balcone purché la soletta dello stesso non costituisca un ostacolo alla propagazione del rumore.

Nei casi in cui non sia possibile rispettare le suddette prescrizioni se ne deve fornire indicazione nel rapporto di misura.

3.4.3 Misurazione

La tecnica di monitoraggio consiste nella misura in continuo del rumore. Il rilievo è effettuato con costante di tempo fast, rete di ponderazione A e documentazione grafica del livello di pressione sonora ogni secondo o ogni minuto. I parametri acustici minimi rilevati sono i seguenti:

- livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A LA_{eq} ;
- il livello massimo con costanti di tempo impulse, fast, slow (LA_{lmax} , LAF_{max} , LAS_{max});
- i livelli statistici $L1$, $L5$, $L10$, $L50$, $L90$, $L99$.

Il livello sonoro continuo equivalente di pressione sonora ponderata A nei periodi di riferimento diurno (6÷22h) e notturno (22÷6h) è ricavato in laboratorio per mascheramento del dominio temporale esterno al periodo considerato.

3.4.4 Riconoscimento di componenti impulsive

Il rumore presenta Componenti Impulsive (CI) quando sono verificate le condizioni seguenti:

- ripetitività di n eventi impulsivi ($n \geq 10/\text{ora}$ di giorno e $n \geq 2/\text{ora}$ di notte);
- differenza tra $L_{A\text{max}}$ e $L_{A\text{Smax}}$ superiore a 6 dB;
- durata dell'evento a -10 dB dal valore $L_{A\text{Fmax}}$ inferiore a 1 s.

La ripetitività deve essere dimostrata mediante registrazione grafica del livello di pressione sonora ponderato A fast effettuata durante il tempo di misura TM.

3.4.5 Riconoscimento di componenti tonali

Al fine di individuare la presenza di Componenti Tonalì (CT) nel rumore, si effettua un'analisi spettrale per bande normalizzate di 1/3 di ottava. Si considerano esclusivamente le CT aventi carattere stazionario nel tempo ed in frequenza. Utilizzando filtri paralleli, il livello dello spettro stazionario è evidenziato dal livello minimo in ciascuna banda. Per individuare componenti tonali alla frequenza di incrocio di due filtri di 1/3 di ottava devono essere utilizzati filtri a maggior potere selettivo, quali quelli FFT o di 1/n di ottava ($n \geq 6$).

L'analisi deve essere svolta nell'intervallo di frequenza compreso tra 20 Hz e 20 KHz. Si è in presenza di una CT se il livello minimo di una banda supera i livelli minimi delle bande adiacenti per almeno 5 dB.

Qualora le componenti tonali si manifestino alle basse frequenze (CB), ovvero nel dominio di frequenza 20÷200 Hz, se ne deve dare indicazione nel rapporto di misura.

3.4.6 Metodica di misura

Finalità della metodica in continuo e a spot è la determinazione del livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata $L_{Aeq,TR}$ nei tempi di riferimento TR ($TR = 6\div 22\text{h}$ per il giorno e $TR = 22\div 6\text{h}$ per la notte) secondo l'Allegato B, comma 2a, del D.M. 16/3/98.

Le misurazioni avvengono in ambiente esterno. Devono essere eseguite in assenza di precipitazioni atmosferiche, di nebbia e/o neve; la velocità del vento deve essere non superiore a 5 m/s. Il microfono deve essere comunque munito di cuffia antivento. La catena di misura deve essere compatibile con le condizioni meteorologiche del periodo in cui si effettuano le misurazioni e comunque in accordo con le norme CEI 29-10 ed EN 60804/1994.

3.4.7 Settaggi registrazione dati

Il rilievo sono stati effettuati tramite i fonometri settati con costante di tempo Fast, rete di ponderazione A e documentazione grafica del livello di pressione sonora ogni secondo nel caso delle misure di tipo R2 e ogni 60 secondi nel caso delle misure di tipo R3. I parametri acustici rilevati sono i seguenti:

- Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A;
- Livello massimo $L_{f,\text{max}}(A)$ con costante di tempo fast;

- Livelli statistici L1, L5, L10, L50, L90, L95, L99.

3.5 Analisi e sintesi dei risultati

Il trattamento dei dati è stato svolto in accordo alle istruzioni tecniche del manuale di qualità SPA, che fornisce indicazioni rigorose in termini verifica ed eliminazione eventi anomali, mascheramento eventuali altre sorgenti di rumore con S/N elevato, verifica ed eliminazione eventi meteorologici non conformi agli standard, ecc.

In termini sintetici, l'analisi dei dati a valle dell'accettazione del file di misura consiste in:

- verifica eventi anomali di rumore: sono stati identificati e mascherati gli eventi energeticamente rilevanti registrati dalla postazione di monitoraggio e ascrivibili ad interferenze in prossimità del microfono;
- verifica periodi meteorologici non conformi alle condizioni che definiscono la validità della misura: sono stati analizzati i dati rilevati dalla stazione meteorologica di Parma, identificando gli intervalli caratterizzati da condizioni ambientali che invalidano i rilievi di rumore; in particolare sono stati verificati i parametri velocità del vento (deve essere inferiore a 5 m/s), umidità relativa (deve essere inferiore al 100%) e pioggia (non è ammessa presenza di pioggia); il periodo di misura è stato prevalentemente caratterizzato da condizioni meteorologiche favorevoli;
- verifica contributo biotico del soundscape locale ai livelli di rumore; il periodo autunnale di esecuzione delle misure ha permesso di escludere il ricorso al mascheramento delle componenti tonali di origine biotica, con particolare riferimento ai grilli.

3.6 Descrittori acustici e non acustici

3.6.1 Livello continuo equivalente

L'indicatore ambientale primario per la caratterizzazione acustica di un ricettore è fornito dal livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A" definito dalla relazione analitica:

$$Leq(A),T = 10 \log [1/T p_{0,T} p_A^2(t)/p_0^2 dt]$$

dove:

$p_A(t)$ valore istantaneo della pressione sonora ponderata secondo la curva A (norma I.E.C. n. 651);

p_0 valore della pressione sonora di riferimento assunta uguale a 20 micropascal in condizioni standard;

T intervallo di tempo di integrazione.

Il livello equivalente di rumore esprime il livello energetico medio del rumore ponderato in curva A ed è utilizzato da DPCM 14.11.1997 per la definizione dei limiti di accettabilità. Il limite di accettabilità viene corretto in presenza di componenti tonali, a bassa frequenza o di componenti impulsive.

Il livello equivalente di rumore è, per sua definizione, un dato cieco per quanto riguarda la natura delle sorgenti. I valori di livello equivalente devono quindi poter essere interpretati con l'ausilio di altri indicatori sensibili alle caratteristiche delle sorgenti di rumore, con particolare riferimento alla sorgente autostradale. Questa esigenza è particolarmente sentita nei casi in cui il monitoraggio del rumore è affidato a stazioni fisse che, funzionando autonomamente senza l'ausilio costante di un tecnico, non sono accompagnate da un responso di "fonometria auricolare".

Gli indicatori che possono consentire la valutazione e l'interpretazione dei rilievi di rumore sono i livelli percentili, i livelli minimo e massimo, l'andamento temporale in dBA Fast, lo spettro di frequenza, ecc.

3.6.2 Livello percentile L1

L'indice percentile L1 connota gli eventi di rumore ad alto contenuto energetico (livelli di picco): valori di L1,h nel periodo notturno maggiori di 70÷80 dBA rappresentano un indicatore di disturbo sul sonno da incrociare con la verifica dei Lmax rilevati dalla time-history in dBA Fast.

3.6.3 Livello percentile L50

L'indice percentile L50 è utilizzabile come indice di valutazione del flusso autoveicolare: se il flusso veicolare totale aumenta, l'indice L50 tende al valore di Leq rispetto al quale si mantiene di 2÷3 dBA più basso. Se il flusso veicolare ha caratteristiche di discontinuità ed è di natura "locale", tale differenza può raggiungere e superare i 20 dBA.

Nel caso in cui la postazione di misura non "vede" la sorgente di rumore, tanto più prevale il rumore da traffico lontano dalla postazione tanto più L50,h (livello percentile L50 su base oraria) si avvicina al valore di Leq,h. Una differenza Leq,h - L50 pari a 0.8÷1 dBA indica l'assenza di sorgenti in transito nella zona del microfono.

La differenza Leq-L50 è quindi un indice di presenza o assenza di sorgenti transienti nella zona di vista del microfono. L'efficacia di un intervento di bonifica acustica basato sulla limitazione del traffico può essere controllato dall'indicatore Leq-L50.

3.6.4 Livello percentile L95

L'indice percentile L95 è rappresentativo del rumore di fondo dell'area in cui è localizzata la stazione di monitoraggio e consente di valutare il livello delle sorgenti fisse che emettono con modalità stazionarie. La differenza L95 - Lmin aumenta all'aumentare della fluttuazione della sorgente stazionaria: L95 coincide in pratica con Lmin solo se l'energia dello spettro della sorgente stazionaria è dominata da una componente tonale che dimostra valori indipendenti da fluttuazioni statistiche.

3.6.5 Livello massimo L_{max}

Il livello massimo L_{max} connota gli eventi di rumore a massimo contenuto energetico quali lo sbattimento del cassone di un camion, lavorazioni con l'uso di utensili ad impatto, il passaggio di autoambulanze, etc. e consente di individuare, se è disponibile la time-history in dBA fast, gli eventi statisticamente atipici da eliminare nella valutazione del rumore ambientale di breve o lungo periodo. Ad analoghe considerazioni si può tuttavia pervenire considerando il livello percentile L_1 .

L_{max} è il migliore descrittore del disturbo e delle alterazioni delle fasi del sonno, e di tutte le condizioni di esposizione dove conta di più il numero degli eventi ad alto contenuto energetico rispetto alla "dose" (fasi di apprendimento, disturbo alle attività didattiche, attività che richiedono concentrazione, etc.).

3.6.6 Livello minimo L_{min}

La sequenza storica dei livelli minimi L_{min} consente di verificare l'entità del rumore di fondo ambientale. In area urbana, dove il rumore di fondo è dovuto sostanzialmente al traffico veicolare, L_{min} diventa un indicatore del volume di traffico complessivo in transito nell'area: i valori massimi di L_{min} indicano i momenti in cui si verificano i flussi massimi.

Nel caso di sorgenti fisse che emettono rumore continuo, $L_{min,h}$ è l'unico riscontro oggettivo del loro livello e della loro durata.

3.6.7 Distribuzione statistica

L'analisi statistica della distribuzione dei livelli di rumore all'interno del periodo di misura integra le informazioni fornite dai livelli statistici e mette a disposizione ulteriori elementi di valutazione del clima di rumore. I parametri statistici d'interesse generale sono:

- deviazione standard " σ "
- skewness " s "
- curtosi " k "

La conoscenza dei parametri statistici fornisce indicazioni sulla forma della distribuzione dei livelli. Si ricorda in proposito che la distribuzione gaussiana ha le seguenti caratteristiche:

- $s = 0$
- $k = 3$

Per $s > 0$ si ha una asimmetria verso i livelli più bassi mentre, per $s < 0$, una asimmetria verso quelli più alti.

La distribuzione percentuale dei livelli di rumore nelle 24 ore (o multipli) presenta generalmente due massimi e quindi può essere approssimata da due distribuzioni non gaussiane sovrapposte (andamento bi-modale): la bimodalità ad esempio è tipica delle strade in salita (i mezzi in transito sulla corsia in

salita determinano livelli sonori più elevati rispetto ai veicoli in discesa) o delle strade in piano a flusso discontinuo (il massimo assoluto o relativo è determinato dal fondo ambientale). Nei casi in cui si verifichi una distribuzione con un solo massimo, è generalmente verificato che la distribuzione di Weibull è quella più corrispondente ai dati sperimentali

Deviazione standard

Generalmente la deviazione standard è minima per L1 e viceversa massima per L50.

Skewness e curtosi

Un traffico congestionato comporta generalmente valori alti di skewness e di curtosi; la skewness è in genere positiva con traffico intermittente, in quanto diventa apprezzabile l'intervento del rumore di fondo.

3.6.8 SEL

Il SEL (Livello di esposizione sonora) è definito come il livello costante che se fosse mantenuto per un periodo di 1 secondo avrebbe la stessa energia acustica dell'evento rumoroso o sonoro misurato. Il suo significato è del tutto simile a quello del Leq,T ma normalizzato rispetto a 1 secondo. La relazione che correla il SEL e il Leq,T è

$$SEL = Leq,T + 10 \log(T/T_0)$$

dove T è l'intervallo di tempo a cui si riferisce Leq,T e T_0 è uguale a 1 secondo.

Il SEL è stato adottato per risolvere il problema di misura e raffronto di eventi sonori che differiscono sia per il livello di pressione sonora sia per la durata, è infatti implicito che un confronto sulla base del Leq richiede il medesimo tempo di misura per i due eventi. In campo ferroviario, ad esempio, si fa un estensivo uso del SEL per il raffronto del rumore provocato dal transito dei convogli.

3.7 Sintesi dei risultati

La **Tabella 3.2** riporta la sintesi dei risultati delle misure svolte sul tracciato della Tangenziale di Busseto in termini di $Leq(6-22)$ e $Leq(22-6)$.

Tabella 3.2 – Monitoraggio - Sintesi dei risultati delle misure svolte

Codice	Comune	Prov.	Localizzazione	Durata [m]	$Leq(6-22)$ [dBA]	$Leq(22-6)$ [dBA]
P1	BUSSETO	PR	S.P. 588 dei due Ponti	15	50.1	49.7
P2	BUSSETO	PR	S.P. 94 Busseto-Polesine	15	46,6	43,5

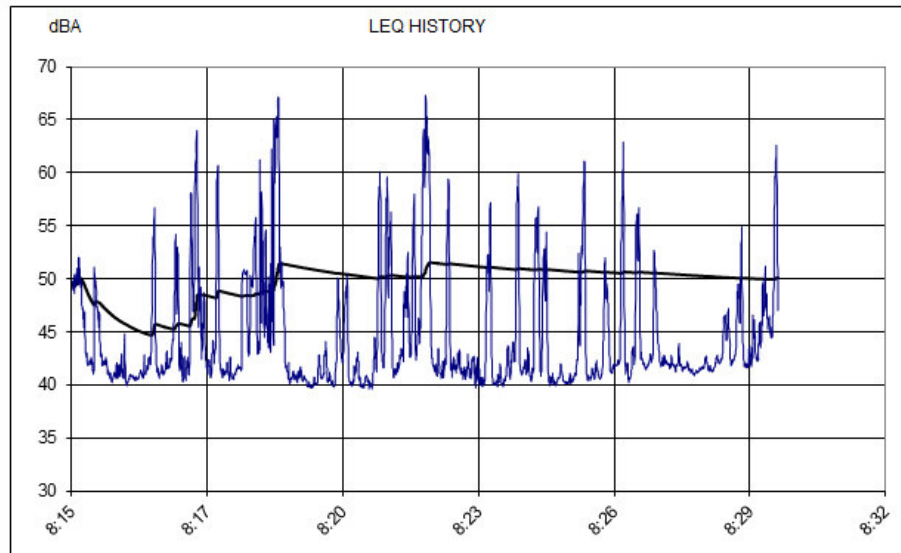
Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

Codice	Comune	Prov.	Localizzazione	Durata [m]	Leq (6- 22) [dBA]	Leq (22- 6) [dBA]
P3	BUSSETO	PR	S.C. del Balsemano	15	44,9	41,4
P4	BUSSETO	PR	Via I. Pizzetti	15	44,4	40,2
P5	BUSSETO	PR	S.P. 94 Busseto-Polesine	15	56,5	42,6
P6	BUSSETO	PR	S.P. 94 Busseto-Polesine	1440	52,8	43,2
P7	BUSSETO	PR	S.C. del Balsemano	118	57,4	

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

MISURA P1

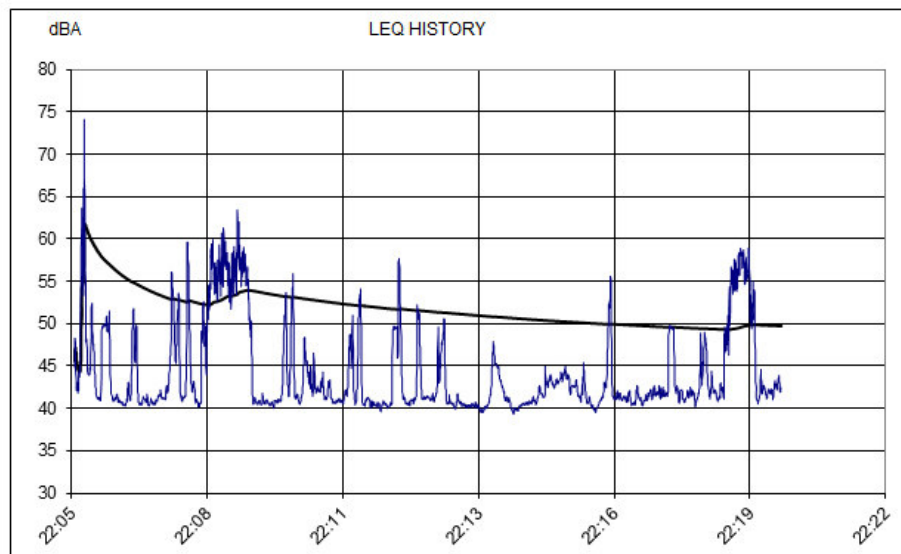
Data	22/01/2009	
Ora inizio	08:15:06	ora
Time step	0,125	sec
Peak	67,3	dBA
Livello equivalente	50,1	dBA
Time	15,0	m



L ₉₉	39,8	dB	L ₅₀	42,0	dB
L ₉₅	40,2	dB	L ₅	56,2	dB
L ₉₀	40,5	dB	L ₁	62,9	dB

MISURA P1

Data	22/01/2009	
Ora inizio	22:05:18	ora
Time step	0,125	sec
Peak	74	dBA
Livello equivalente	49,7	dBA
Time	15,0	m

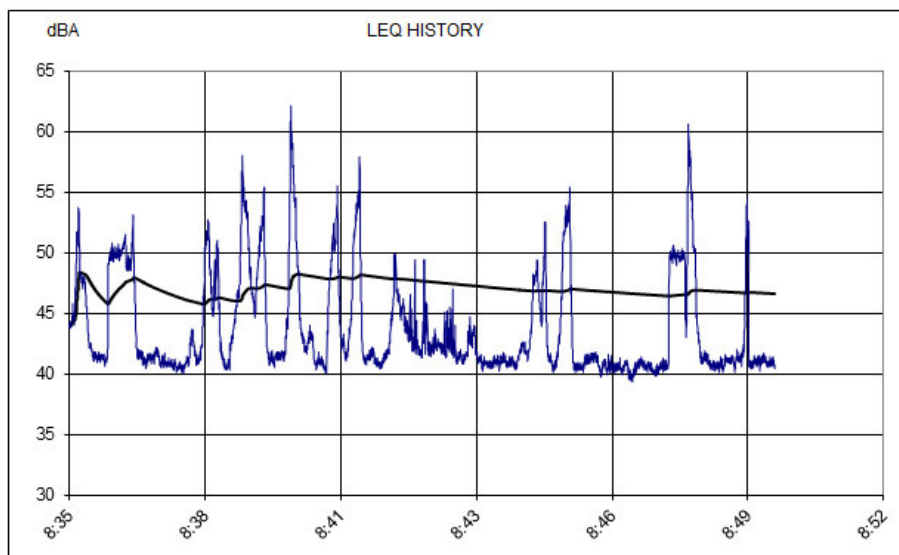


L ₉₉	39,8	dB	L ₅₀	41,7	dB
L ₉₅	40,2	dB	L ₅	56,6	dB
L ₉₀	40,4	dB	L ₁	59,3	dB

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

MISURA P2

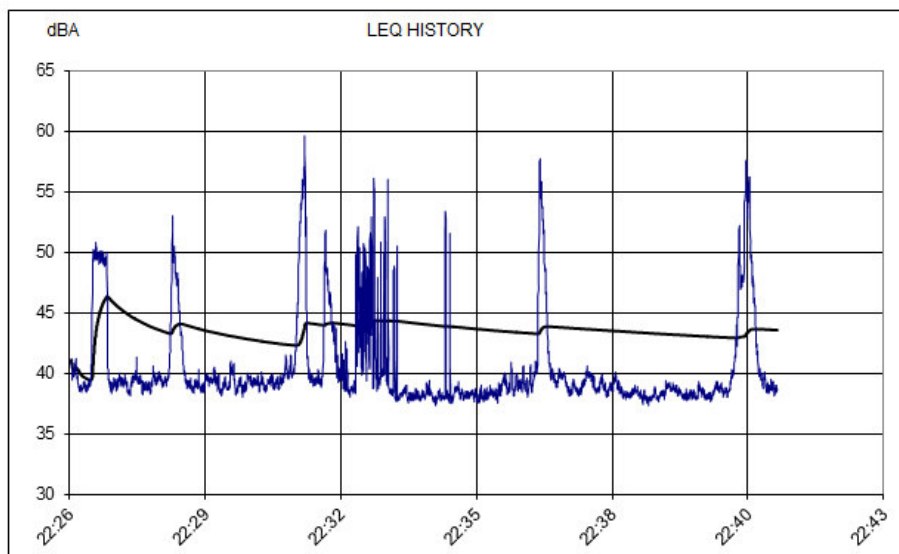
Data	22/01/2009
Ora inizio	08:35:13 ora
Time step	0,125 sec
Peak	62,1 dBA
Livello equivalente	46,6 dBA
Time	15,0 m



L ₉₉	40,0	dB	L ₅₀	41,6	dB
L ₉₅	40,4	dB	L ₅	52,4	dB
L ₉₀	40,6	dB	L ₁	56,7	dB

MISURA P2

Data	22/01/2009
Ora inizio	22:26:35 ora
Time step	0,125 sec
Peak	59,6 dBA
Livello equivalente	43,5 dBA
Time	15,0 m

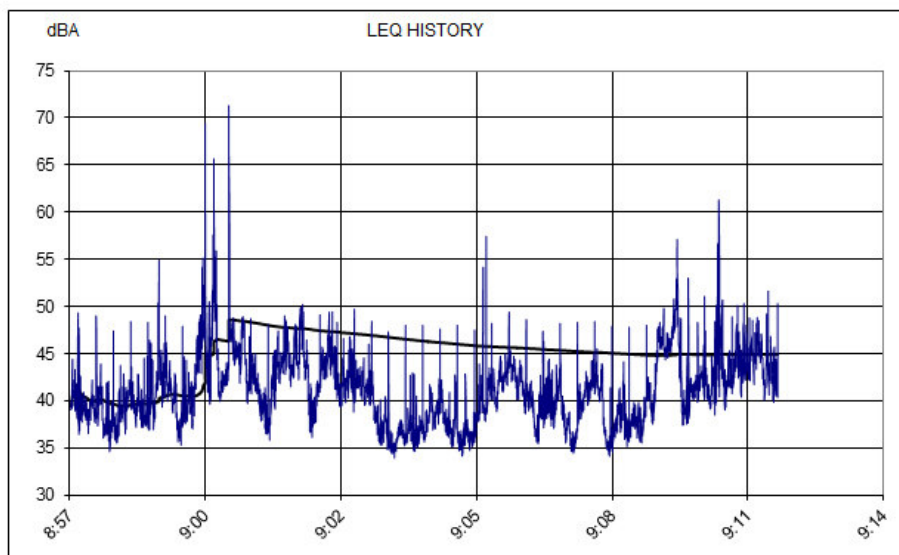


L ₉₉	37,7	dB	L ₅₀	39,0	dB
L ₉₅	37,9	dB	L ₅	49,7	dB
L ₉₀	38,1	dB	L ₁	55,2	dB

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

MISURA P3

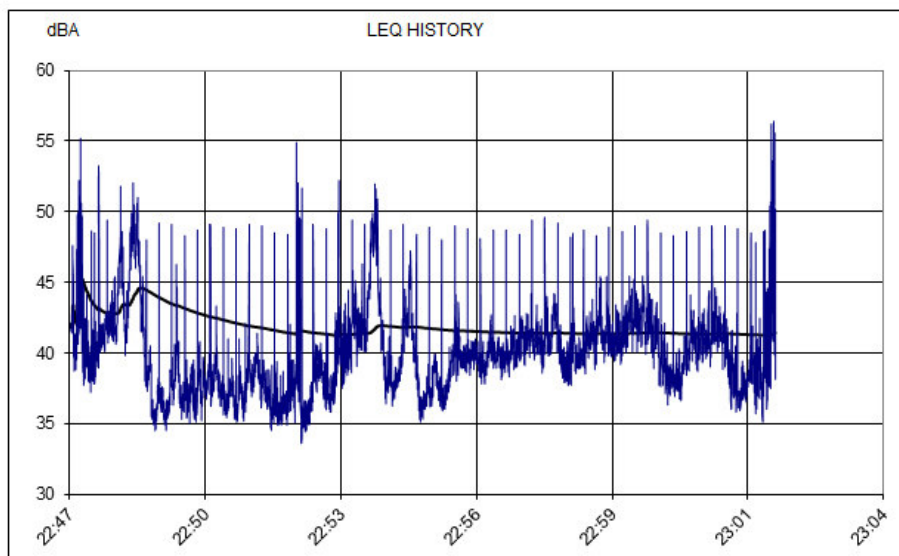
Data	22/01/2009	
Ora inizio	08:57:09	ora
Time step	0,125	sec
Peak	71,3	dBA
Livello equivalente	44,9	dBA
Time	15,0	m



L ₉₉	34,9	dB	L ₅₀	40,7	dB
L ₉₅	35,8	dB	L ₅	47,4	dB
L ₉₀	36,5	dB	L ₁	51,9	dB

MISURA P3

Data	22/01/2009	
Ora inizio	22:47:36	ora
Time step	0,125	sec
Peak	56,4	dBA
Livello equivalente	41,4	dBA
Time	15,0	m

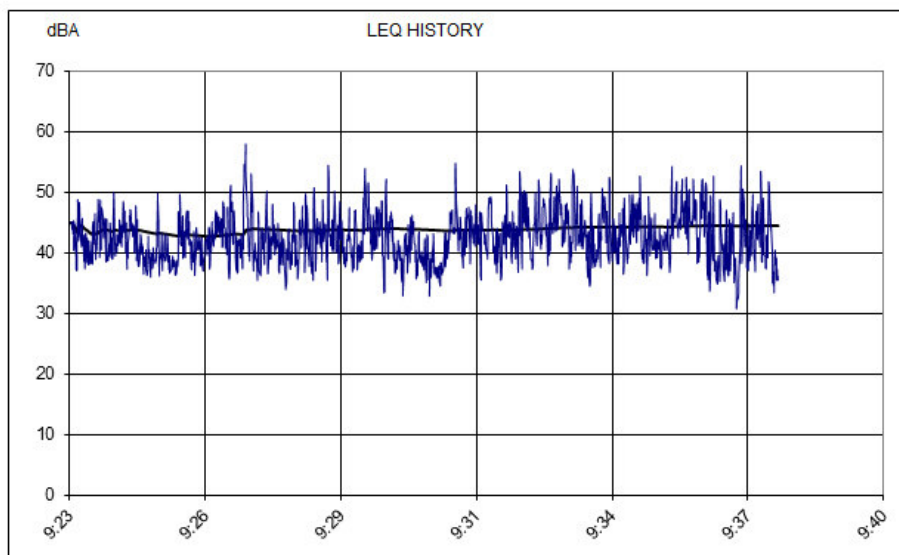


L ₉₉	35,3	dB	L ₅₀	39,7	dB
L ₉₅	36,0	dB	L ₅	46,2	dB
L ₉₀	36,6	dB	L ₁	49,8	dB

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

MISURA P4

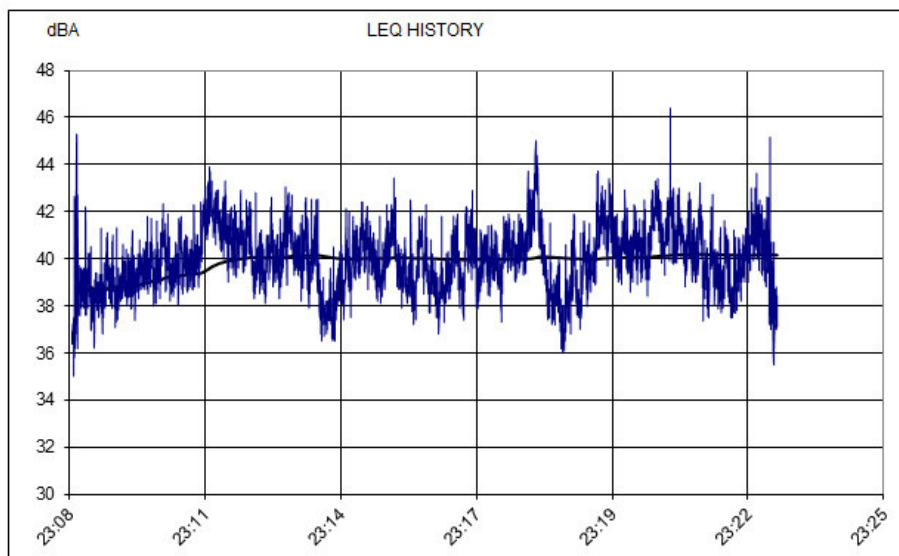
Data	22/01/2009	
Ora inizio	09:23:21	ora
Time step	0,125	sec
Peak	57,9	dBA
Livello equivalente	44,4	dBA
Time	15,0	m



L ₉₉	34,5	dB	L ₅₀	42,2	dB
L ₉₅	36,4	dB	L ₅	49,5	dB
L ₉₀	37,5	dB	L ₁	52,5	dB

MISURA P4

Data	22/01/2009	
Ora inizio	23:08:31	ora
Time step	0,125	sec
Peak	46,4	dBA
Livello equivalente	40,2	dBA
Time	15,0	m

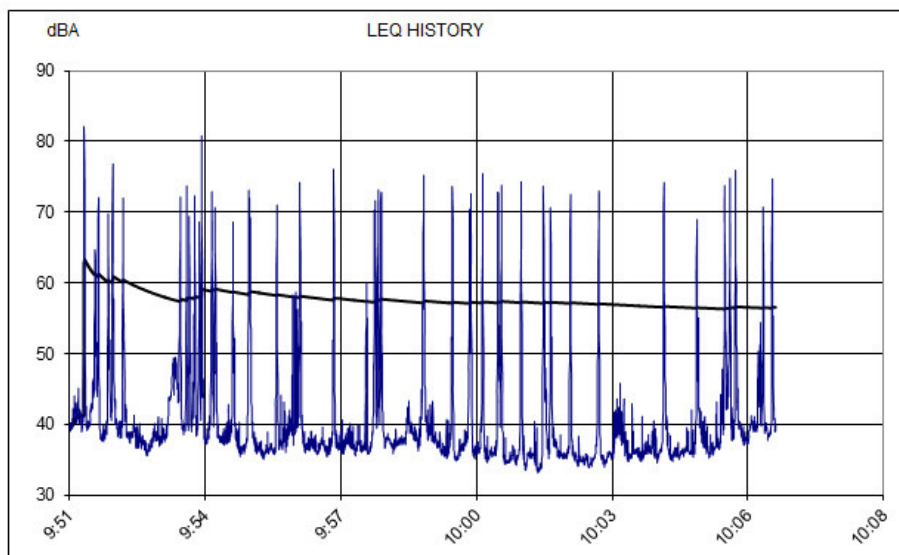


L ₉₉	36,8	dB	L ₅₀	39,9	dB
L ₉₅	37,8	dB	L ₅	42,2	dB
L ₉₀	38,3	dB	L ₁	43,0	dB

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

MISURA P5

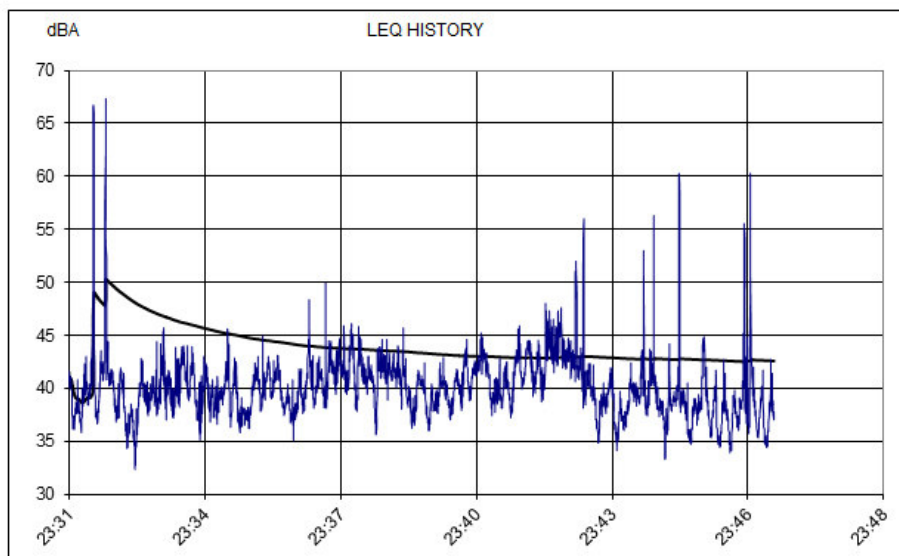
Data	22/01/2009	
Ora inizio	09:51:42	ora
Time step	0,125	sec
Peak	82,1	dBA
Livello equivalente	56,5	dBA
Time	15,0	m



L ₉₉	34,1	dB	L ₅₀	37,8	dB
L ₉₅	35,0	dB	L ₅	57,7	dB
L ₉₀	35,4	dB	L ₁	71,2	dB

MISURA P5

Data	22/01/2009	
Ora inizio	23:31:37	ora
Time step	0,125	sec
Peak	67,3	dBA
Livello equivalente	42,6	dBA
Time	15,0	m

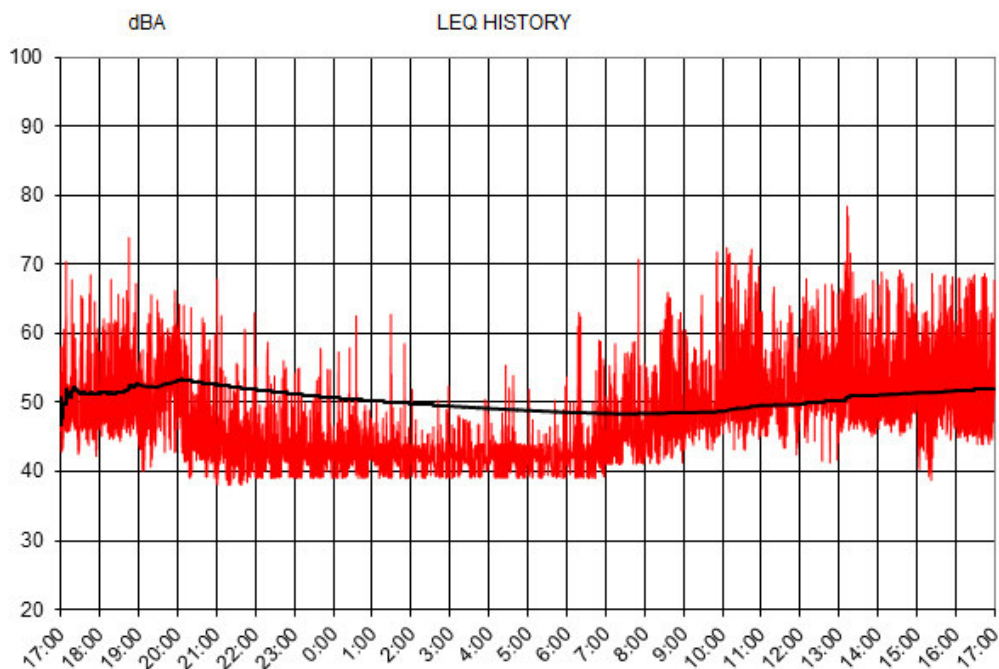


L ₉₉	34,8	dB	L ₅₀	39,8	dB
L ₉₅	36,1	dB	L ₅	44,0	dB
L ₉₀	37,0	dB	L ₁	48,3	dB

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

MISURA P6

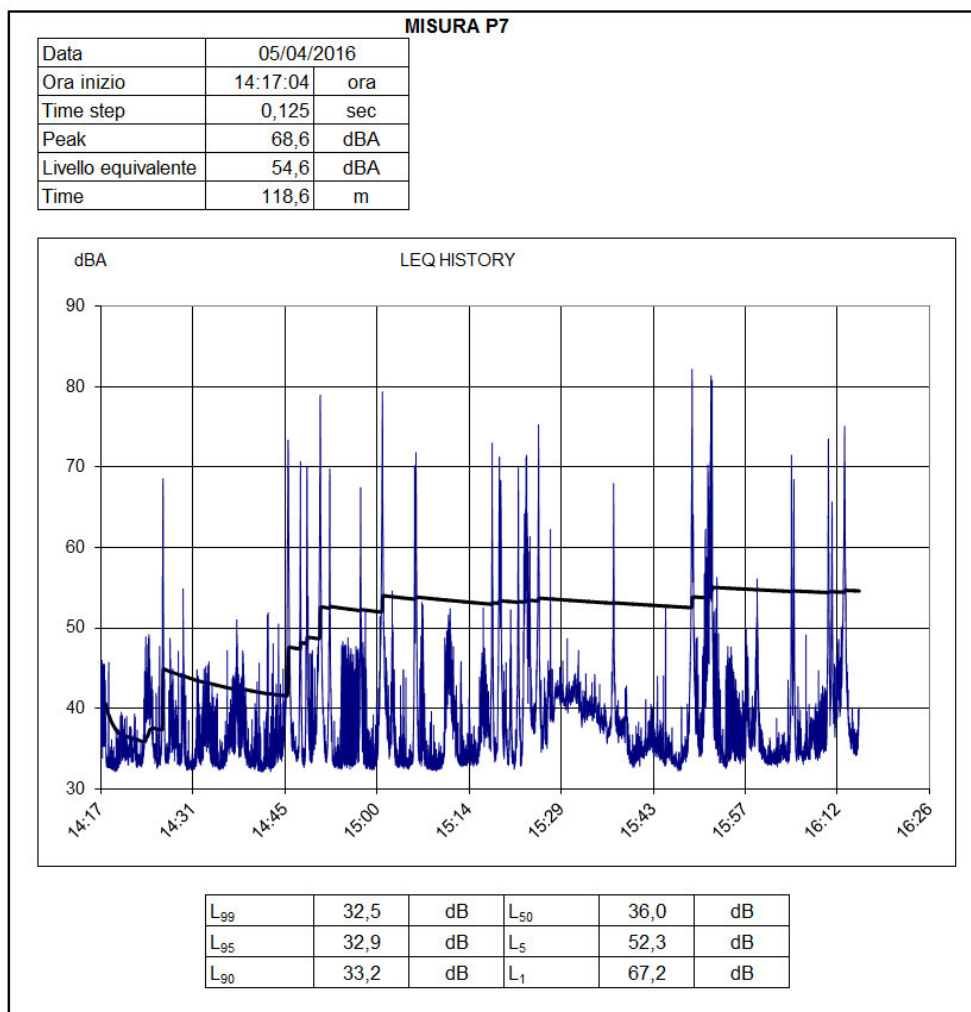
Data	2/9/15	
Ora inizio	17:00:00	h
Noise Event Thr	40	dBA



Livello equivalente totale	52,0	dBA
Livello equivalente diurno	52,8	dBA
Livello equivalente notturno	43,2	dBA

Time		Leq	L ₉₉	L ₉₅	L ₉₀	L ₅₀	L ₅	L ₁
da (h)	a (h)	dBA	dB	dB	dB	dB	dB	dB
17	18	51,4	43,0	43,9	44,8	47,6	56,5	61,4
18	19	53,5	45,2	45,7	46,2	49,4	58,9	62,3
19	20	53,9	40,9	43,3	44,5	51,3	59,0	61,0
20	21	50,5	39,7	41,1	41,9	44,8	57,6	59,7
21	22	46,7	38,4	39,2	39,8	42,6	50,6	58,6
22	23	44,1	39,1	39,4	39,9	42,5	47,7	53,2
23	24	43,7	39,1	39,4	39,8	42,1	47,3	52,5
24	1	44,2	39,1	39,7	40,5	42,8	46,6	50,4
1	2	43,3	39,2	40,0	40,8	42,3	44,8	49,2
2	3	42,2	39,1	39,4	39,7	42,0	43,9	46,2
3	4	42,4	39,3	39,8	40,1	42,2	44,0	46,5
4	5	42,4	39,1	39,5	39,8	42,3	44,0	47,2
5	6	42,6	39,1	39,4	39,7	42,0	43,9	46,2
6	7	42,2	39,2	39,7	40,1	42,3	47,6	57,2
7	8	45,3	41,1	41,5	41,8	45,2	53,0	56,5
8	9	48,7	41,9	42,7	43,2	46,5	54,9	60,4
9	10	50,0	43,8	44,9	45,4	47,7	53,2	60,4
10	11	51,0	44,4	46,5	47,4	50,5	60,9	67,2
11	12	55,6	43,7	45,2	45,7	49,3	55,7	61,2
12	13	51,4	44,2	48,0	49,2	52,9	60,0	64,3
13	14	55,1	45,8	46,5	47,1	51,7	62,7	67,9
14	15	55,4	46,1	47,0	47,4	50,9	61,0	66,3
15	16	55,4	41,9	44,8	46,3	51,9	60,7	64,7
16	17	55,9	44,3	45,2	45,6	50,2	62,7	67,1

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"



Nel corso della misura P7, posizionata alla distanza di 6.5 metri dal ciglio della strada comunale del Balsemano, sono transitate 18 automobili (picchi di circa 70 dB e poco oltre) e 4 Trattori (picchi di circa 80 dB). Le differenze nei picchi dipendono dalla tipologia di autovettura o mezzo pesante e dalla velocità di transito.

4 QUADRO DI RIFERIMENTO PREVISIONALE

4.1 Descrizione modello previsionale

Per la simulazione del rumore generato dal traffico stradale è stato utilizzato il modello previsionale CADNA A versione 4. Il modello messo a punto tiene in considerazione le caratteristiche geometriche e morfologiche del territorio e dell'edificato presente nell'area di studio, la tipologia delle superfici e della pavimentazione stradale, i traffici ed i relativi livelli sonori indotti, la presenza di schermi naturali alla propagazione del rumore, quale ad esempio lo stesso corpo stradale.

I calcoli sono stati svolti utilizzando il metodo del ray-tracing e sono basati sugli algoritmi e sui valori tabellari contenuti nel metodo di calcolo ufficiale francese NMPB-Routes-96.

La procedura di simulazione è la parte centrale e più delicata dello studio acustico presentandosi la necessità di gestire informazioni provenienti da fonti diverse e di estendere temporalmente ad uno scenario di lungo periodo i risultati di calcolo. E' stato pertanto necessario:

- realizzare un modello vettoriale tridimensionale del territorio “DTM Digital Terrain Model” esteso a tutto l'ambito di studio del tracciato stradale in progetto;
- realizzare un modello vettoriale tridimensionale dell'edificato “DBM Digital Building Model”, che comprende tutti i fabbricati indipendentemente dalla loro destinazione d'uso;
- definire gli effetti meteorologici sulla propagazione del rumore;
- definire i coefficienti di assorbimento per il terreno e gli edifici;
- definire i dati di traffico di progetto da assegnare alle linee di emissione.

In particolare il modello geometrico 3D finale contiene:

- morfologia del territorio;
- tutti i fabbricati di qualsiasi destinazione d'uso, sia quelli considerati ricettori sia quelli considerati in termini di ostacolo alla propagazione del rumore;
- altri eventuali ostacoli significativi per la propagazione del rumore;
- cigli marginali delle infrastrutture stradali in progetto, inclusi gli svincoli, e delle opere connesse esistenti, in variante o di nuova realizzazione.

Per una migliore gestione dei dati di ingresso e di uscita dal modello di calcolo CADNA A sono stati definiti e utilizzati dei protocolli di interscambio dati con un GIS (“Geographical Information System”).

4.2 Integrazione tra GIS e modello acustico

Il GIS (“Geographical Information System”) è un sistema informatico per la gestione dei dati georeferenziati, ossia di quelle entità fisiche alle quali è possibile associare un attributo che ne individua la posizione geografica. Il GIS è lo strumento attraverso il quale si è proceduto alla elaborazione della

cartografia di base, all'archiviazione dei dati sulle destinazioni d'uso dei ricettori, alla definizione dei punti di massima esposizione, alla produzione delle tavole grafiche, ecc.

La cartografia di base è stata georeferenziata secondo il sistema di riferimento UTM WGS84 (Fuso 32) utilizzando gli strumenti di proiezione cartografica di ArcGIS. Nella cartografia, ad ogni entità poligonale rappresentante un edificio, sono state associate tutte le informazioni che contraddistinguono l'edificio stesso nella realtà. Tra queste le più importanti sono la destinazione d'uso e altezza. Altre informazioni più complesse possono essere gestite o calcolate mediante gli strumenti messi a disposizione dal GIS, tra queste ad esempio l'identificazione dei punti di massima esposizione, la verifica delle facciate prime di finestre, la presenza di facciate silenziose, ecc.

L'interfacciamento e lo scambio dei dati con il modello previsionale CADNA A è stato reso possibile dall'uso di GEODATABASE, una tecnologia introdotta da ESRI a partire dalla versione 8.0 del software ArcGIS, che consente di memorizzare in tradizionali database relazionali non solo informazioni alfanumeriche ma anche informazioni geometriche, così come avviene in normali file CAD.

Il GEODATABASE consente di superare i limiti imposti dai file SHAPE (file di riferimento per quanto riguarda lo standard GIS) potendo usufruire appieno delle potenzialità di un database relazionale. In tal modo il GEODATABASE è accessibile anche da normali RDBMS (Relation Database Management System) o da software capaci di interfacciarsi con essi, come nel caso del modello previsionale CADNAA utilizzato per la mappatura acustica.

Questo modo di procedere, caratterizzato da un accentramento di tutti i dati in un unico sistema informatico, ha consentito di evitare una duplicazione delle informazioni e di eliminare questa tipica causa di errori.

Infine, i risultati dei calcoli previsionali svolti da CADNA A (curve isolivello, mappe di rumore, livelli sulle facciate dei ricettori, ecc.) sono stati esportati su Autocad dove è avvenuta la fase finale di analisi e la realizzazione delle mappe di rumore.

4.3 Descrizione NMPB96

Il metodo di calcolo NMPB-96 è raccomandato dal Decreto Legge 194, in attuazione alla direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale. La legislazione nazionale italiana ribadisce quanto affermato dal testo redatto dalla Commissione della comunità europea e pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea in data 22/08/2003 in merito alle linee guida relative ai metodi di calcolo.

Per il rumore da traffico veicolare è raccomandato il metodo di calcolo ufficiale francese «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)», citato in «Arreté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routieres, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6» e nella norma francese « XPS 31-133». Nella linea guida il metodo è denominato « XPS 31-133».

Il metodo di calcolo provvisorio è raccomandato per gli Stati membri che non dispongono di un metodo nazionale di calcolo e per quelli che desiderano cambiare il metodo di calcolo.

In NMPB il calcolo dell'emissione si basa sul livello di potenza sonora del singolo veicolo, che implica pertanto la suddivisione della sorgente stradale in singole sorgenti di rumore assimilate a sorgenti puntiformi.

Il livello di potenza sonora è ricavato a partire da un nomogramma (**Figura 4.1**), che riporta il livello equivalente orario all'isofonica di riferimento dovuto a un singolo veicolo in funzione della velocità del veicolo per differenti categorie di veicoli, classi di gradiente e caratteristiche del traffico.

Il livello di potenza sonora corretto in funzione del numero di veicoli leggeri e di veicoli pesanti nel periodo di riferimento e della lunghezza della sorgente stradale viene a sua volta scomposto in bande di ottava in accordo alla norma EN 1793-3:1997. Da considerare inoltre che:

1. la sorgente è localizzata a 0.5 m di altezza dal piano stradale. La distanza di riferimento del livello di emissione è a 30 m dal ciglio stradale ad un'altezza di 10 m;
2. il livello di emissione diminuisce con la velocità su valori bassi di transito, rimane costante per velocità medie e aumenta per velocità alte;
3. le categorie di veicoli prese in considerazione sono due: veicoli leggeri (GVM fino a 3.5 tonnellate) e veicoli pesanti (GVM superiore a 3.5 tonnellate);
4. non sono previsti valori di volumi di traffico caratteristici in funzione della categoria della strada e dell'intervallo di riferimento. Vengono invece distinte quattro tipologie di flusso veicolare:
 - "Fluid continuous flow" per velocità all'incirca costanti;
 - "Pulse continuous flow" per flusso turbolento con alternanza di accelerazioni e decelerazioni;
 - "Pulse accelerated flow" con la maggior parte dei veicoli in accelerazione;
 - "Pulse decelerated flow" con la maggior parte dei veicoli in decelerazione.
5. la pavimentazione stradale considerata è di tipo standard, ma sono apportabili correzioni compatibili con la ISO 11819-1 in funzione del tipo di asfalto e delle velocità;
6. l'influenza della pendenza della strada è inclusa nel nomogramma. Sono distinti tre casi: pendenza fino al 2%, pendenza superiore al 2% in salita e pendenza superiore al 2% in discesa.

La risposta di NMPB-Routes-96 citato nella norma francese XPS 31-133 in termini di rispondenza delle emissioni al parco circolante è una incognita rispetto alla quale è necessario procedere con cautela nella risposta: turn over, allargamento del traffico a mezzi provenienti dall'est, stato di manutenzione degli autoveicoli, ecc. possono influire molto su quella che potrebbe essere giudicata, in prima istanza, una sovrastima.

Il confronto delle emissioni NMPB-Routes-96 con le emissioni in uso in altri paesi europei (Figura 4.2) evidenzia una buona correlazione con i dati danesi riferiti al 1981 (RMV01) e al 2002 (RMV02) e, viceversa, una sovrastima di circa 2.5 dB rispetto alle emissioni utilizzate dal metodo di calcolo tedesco RLS90. Il confronto tra i valori di emissione LAE alla distanza di riferimento di 10 m e ad un'altezza di

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

1,5 m utilizzati per veicoli leggeri da diversi metodi di calcolo evidenzia che i valori di esposizione per gli standard NMPB e RLS sono simili per velocità superiori o uguali a 100 Km/h in caso di flusso indifferenziato, velocità e tipologia di flusso tipici di un tracciato autostradale.

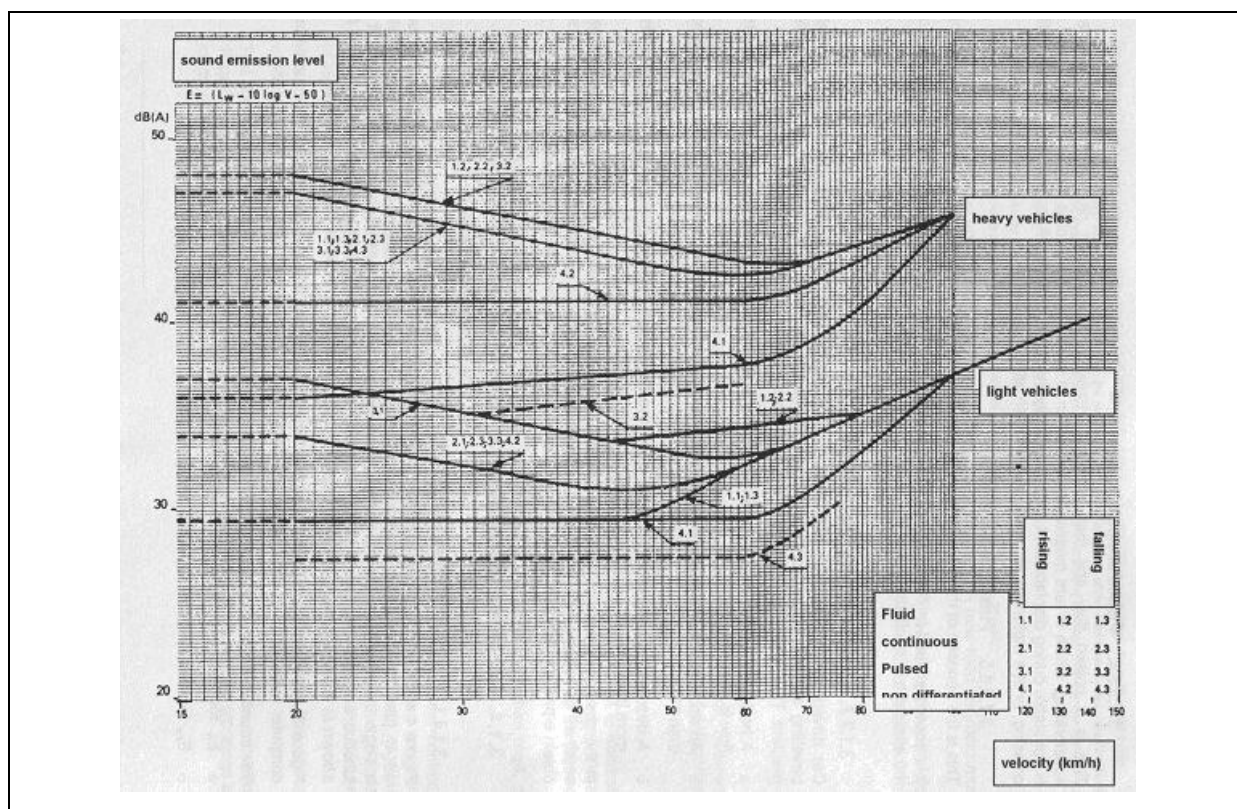


Figura 4.1 – Nomogramma NMPB

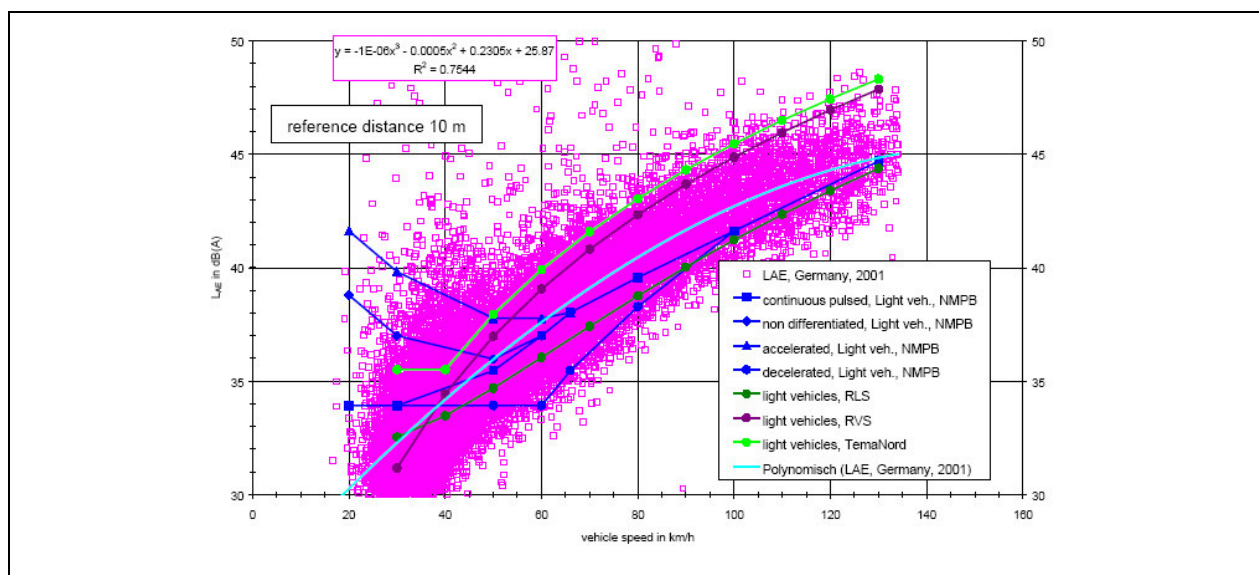


Figura 4.2 – Valori di emissione LAE in funzione della velocità per veicoli leggeri

Per quanto riguarda la divergenza geometrica, l'assorbimento atmosferico e l'effetto del terreno NMPB96 prevede quanto segue:

- Divergenza geometrica - Il decremento del livello di rumore con la distanza (A_{div}) avviene secondo una propagazione sferica.
- Assorbimento atmosferico - Attenuazione del livello di rumore in funzione della temperatura e dell'umidità dell'aria (A_{atm}). In NMPB le condizioni standard sono 15°C e 70% di umidità. Vanno considerati valori opportuni di coefficienti di assorbimento in accordo alla ISO 9613-1 per valori diversi della temperatura e umidità relativa.
- Effetto del terreno - L'attenuazione del terreno è valutata in modo differente in relazione alle condizioni meteorologiche di propagazione. In condizioni favorevoli il termine è calcolato in accordo al metodo indicato nell'ISO 9613-2. In condizioni omogenee è introdotto un coefficiente G del terreno, che è nullo per superfici riflettenti. In questo caso $A_{grd} = -3$ dB.

4.4 Evoluzione delle emissioni del parco circolante a lungo termine

In una logica di studio acustico a lungo termine è necessario considerare che il rumore determinato dall'esercizio stradale può variare sia in relazione all'aumento del traffico sia al turn-over del parco circolante. In particolare, la progressiva eliminazione dei veicoli pesanti e leggeri caratterizzati dalle maggiori classi di età, avrà come conseguenza pratica una riduzione del carico di rumore della sorgente.

Un corretto dimensionamento degli interventi di mitigazione richiede che l'atteggiamento di cautela e i margini di sicurezza del progettista non determinino un eccessivo sovradimensionamento delle opere di mitigazione, con conseguenti impatti indiretti legati ad esempio alla percezione visiva.

Per i paesi aderenti all'Unione Europea sono vigenti già dall'inizio degli anni '70 delle prescrizioni di omologazione che hanno obbligato i costruttori europei e gli importatori a considerare i limiti di emissione di rumore come fattore di progetto. Alla prima direttiva 70/156/CEE sono seguite successive regolamentazioni che hanno progressivamente abbassato i limiti di emissione (direttive 77/212/CEE, 84/424/CEE e 92/97/CEE) o modificato le prescrizioni tecniche del test di omologazione (Direttive 81/334/CEE, 84/372/CEE e 96/20/CEE). La **Figura 4.3** visualizza la variazione dei livelli massimi ammessi dai test per i veicoli leggeri e veicoli pesanti.

Senza entrare nel merito tecnico di conduzione dei test, descritti nella ISO 362, si ricorda che le misure degli autoveicoli sono svolte in un campo prova rettilineo a 7.5 m dall'asse di passaggio del veicolo, condotto alla velocità di 50 km/ora e sottoposto a partire da 10 m prima della posizione del microfono ad una brusca accelerazione con differenti rapporti di marcia inseriti. Per i veicoli pesanti e autobus i test riguardano differenti "range" di velocità. La riduzione delle emissioni in sede di omologazione non corrispondono, purtroppo, ad una pari riduzione di emissioni autostradali e di rumorosità immessa all'interno delle fasce di pertinenza. Il confronto tra le emissioni di rumore di veicoli leggeri e di veicoli pesanti a distanza di 25 anni evidenzia infatti che per le velocità di interesse autostradale le emissioni dei veicoli leggeri non sono di fatto cambiate mentre quelle dei veicoli pesanti hanno avuto viceversa una significativa riduzione, in particolare nel campo delle velocità medio-basse (**Figura 4.4**).

Le motivazioni di questo "insuccesso" per i veicoli leggeri e per le condizioni di traffico autostradale sono sostanzialmente riconducibili a quattro cause:

- i limiti di omologazione sono stati definiti in modo "generoso" (in accordo alle case costruttrici) e non in relazione alla migliore tecnologia disponibile;
- i cambiamenti via via introdotti nelle tecniche di misura e nelle modalità di test hanno compensato la riduzione dei valori limite;
- la differenza tra le emissioni del "veicolo medio" e le emissioni dei veicoli ai quali sono permesse emissioni più elevate sono aumentate a causa dell'aumento di larghezza dei pneumatici (+ 1 dBA), l'aumento della percentuale di penetrazione nel mercato dei veicoli diesel (+ 1 dBA), l'aumento di immatricolazioni di veicoli SUV (+ 2 dBA).
- i test di pass-by sono rappresentativi delle emissioni di un traffico accelerato / decelerato a bassa velocità (condizioni urbane) che, come noto, sono principalmente determinate dal motore/scappamento e meno dal rotolamento.

Attualmente sono in corso di preparazione in ambito ISO i nuovi metodi di prova che potranno correggere le incongruenze manifestate dall'attuale procedura. Da considerare a tal riguardo che lo stato dell'arte permetterebbe attualmente già di ridurre da 74 dBA a 71 dBA i limiti, per poi prefigurare nel medio-lungo termine il raggiungimento di 68 dBA applicando la migliore tecnologia disponibile. Viceversa, per i veicoli pesanti la riduzione dei limiti di omologazione ha permesso di raggiungere risultati significativi e non sono attesi ulteriori sostanziali correzioni. La valutazione del turno over del parco circolante permette di stimare una riduzione a lungo termine delle emissioni autoveicolari compresa tra 1.5-2 dBA.

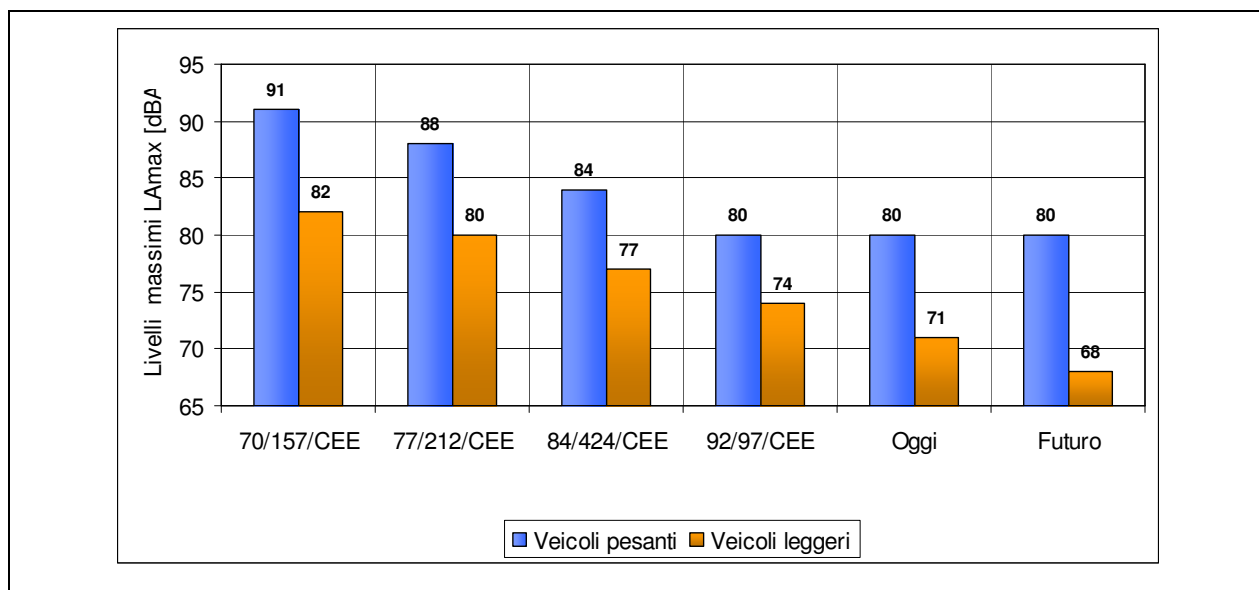


Figura 4.3 – Evoluzione storica e tendenze di medio termine

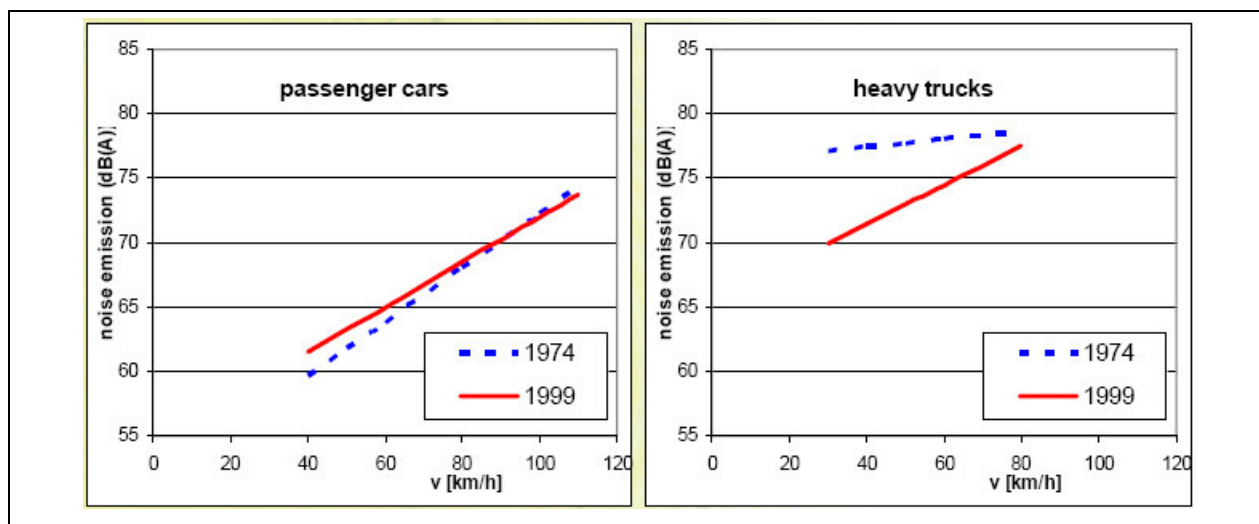


Figura 4.4 – Emissioni di rumore in funzione della velocità, veicoli leggeri e pesanti

4.5 Taratura del modello previsionale

Le componenti di incertezza associate all'uso di un modello previsionale possono essere notevolmente ridotte attraverso la fase di calibrazione. L'esperienza dimostra che un'adeguata calibrazione per confronto con misurazioni porta alla riduzione del valore finale dell'incertezza tipo composta.

La calibrazione deve avvenire di preferenza per confronto con misurazioni relative al sito e al caso specifico in esame. Per calibrare il modello di calcolo si variano i valori di alcuni parametri critici al fine di avvicinare i valori calcolati con i valori misurati: ciò richiede che si identifichino con cura i parametri che, per difficoltà nella stima o imprecisione del modello di calcolo, si ritiene abbiano maggiore responsabilità nella determinare differenze tra misure e calcoli. Tale operazione può essere effettuata ponendosi l'obiettivo di minimizzare la somma degli scarti quadratici tra valori calcolati ed i valori misurati.

Per la verifica del modello sono state utilizzate le misure effettuate durante la campagna di monitoraggio (v. cap. 3.7); in particolare sono stati esaminati i risultati ottenuti in postazioni in cui il rumore prevalente è quello di origine stradale. Si tratta della misura di lunga durata eseguite lungo la S.P. n. 94 di Busseto - Polesinee.

Il numero dei veicoli transitati, indicato nella *Tabella 3.1*, è stato rilevato nel corso delle misure fonometriche. Anche le velocità medie sono state stimate sulla base delle osservazioni dirette effettuate durante le misure: 50 km/h per i mezzi leggeri e 50-40 km/h per i mezzi pesanti.

Nella *Tabella 4.1* sono mostrati i risultati del modello di calcolo applicato ai punti di misura precedentemente descritti.

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

Tabella 4.1: Confronto tra i Livelli Equivalenti Misurati ed i Livelli Equivalenti Stimati negli Stessi Punti attraverso il Codice di Calcolo CADNA

Postazione	Codice postazione	Distanza arteria m	Velocità media Km/h	Transiti	Orario	Leq Misure	Leq Cadna	Differenza
				Mezzi/h	h	dB(A)	dB(A)	dB(A)
S.P. 94 di Busseto-Polesine	P6	40,0	Leg. =50,0 Pes. =40,0	Leg. =185 Pes. =11	17.00- 17.30	51,4	51,5	-0,1
S.P. 94 di Busseto-Polesine	P6	40,0	Leg. =50,0 Pes. =40,0	Leg. =30 Pes. =2	22.00- 22.30	44,1	44,9	-0,8
S.C. Balsemano	P7	6,5	Leg. =40,0 Pes. =40,0	Leg. =9 Pes. =2	15.15- 16.15	54,6	54,0	+0,6

Con le ipotesi sopra descritte, si osserva, in generale, una buona rispondenza tra i risultati del modello e le misurazioni eseguite.

5 DATI DI TRAFFICO

La stima degli impatti sulla qualità dell'aria attesi in fase di esercizio è stata affrontata attraverso l'analisi dei flussi di traffico forniti nella relazione *"Il modello di simulazione del traffico veicolare, gli scenari di simulazione"*, redatta dallo studio CAIRE per la Provincia di Parma. Tale documento fa parte delle Analisi di settore del Quadro conoscitivo del PTCP vigente.

In particolare è stato preso in considerazione lo scenario che contempla la realizzazione degli interventi previsti dal PTCP ed una domanda di traffico con crescita tendenziale al 2014 ("scenario 2b"), in cui è indicato anche il tratto della viabilità oggetto di studio. Lo studio di settore indica per la S.P. di Polesine un traffico diurno di 206 veicoli/ora con una percentuale di traffico pesante del 4,9%.

Nella costruzione del traffico di progetto si sono considerati gli scenari futuri dal 2014 al 2025 ammettendo una ripresa economica generalizzata abbinata anche ad un miglioramento del sistema infrastrutturale con potenziamento della rete autostradale.

Il contesto ampiamente analizzato individua un tasso di crescita di + 0,5% per i veicoli leggeri e + 1,2% per i veicoli pesanti. È inoltre ipotizzato il completo trasferimento del traffico sulla S.P. 94 sul Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine". Il traffico progettuale assume quindi i valori espressi nella seguente Tabella 5.1.

Tabella 5.1: Traffico sul Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine".

anno	L	P	%P	Tot
2014	196	10	4,9%	206
2015	197	10	4,9%	207
2016	198	10	4,9%	208
2017	199	10	5,0%	209
2018	200	10	5,0%	210
2019	201	11	5,0%	212
2020	202	11	5,1%	213
2021	203	11	5,1%	214
2022	204	11	5,1%	215
2023	205	11	5,2%	216
2024	206	11	5,2%	217
2025	207	11	5,2%	218

I dati di traffico riportati in Tabella 5.1 sono espressi in veicoli/ora.

Sulla S.C. del Balsemano il traffico è stato ipotizzato pari a:

- periodo diurno (6.00-22.00): traffico totale 53 v/h; percentuale traffico pesante 1,9%;
- periodo notturno (22.00-6.00): traffico totale 7 v/h; percentuale traffico pesante 14,3%.

6 PREVISIONE LIVELLI DI RUMORE SUI RICETTORI E MAPPATURA ACUSTICA

6.1 Ambito di mappatura

La mappatura acustica dell'asse principale è stata estesa ad un "buffer" territoriale esteso per 300 m rispetto al ciglio stradale dell'asse della Tangenziale di Busseto.

L'ambito di mappatura del clima acustico ante-operam è stato fatto coincidere con quello del post-operam, in modo da rendere visibile l'impatto nelle aree di previsto inserimento delle nuove opere connesse e delle varianti alle medesime.

6.2 Il modello geometrico

Il modello geometrico tridimensionale utilizzato è stato costruito partendo dalla cartografia disponibile e dagli elaborati di progetto, convertiti da coordinate rettilinee in coordinate UTM.

Gli ostacoli come terrapieni, cavalcavia, svincoli od ondulazioni del terreno sono stati inclusi nel modello geometrico.

Gli edifici sono stati disegnati partendo dalle polilinee del loro contorno geometrico in pianta ed appoggiati alla ricostruzione della geometria del terreno ad una quota pari a quella del terreno in quel punto. L'altezza degli edifici è stata inserita moltiplicando il numero di piani per un'altezza media di 3 m.

6.3 Caratteristiche di impedenza dei materiali

Per quanto riguarda i coefficienti di assorbimento dei materiali:

- a tutte le strade è stato assegnato il coefficiente previsto dal modello per l'asfalto liscio;
- a tutti gli edifici è stato assegnato un valore medio di perdita per riflessione pari a 1 dB al fine di considerare la presenza di facciate generalmente lisce, che utilizzano anche materiali parzialmente fonoassorbenti (intonaco grossolano, rivestimenti in lastre di cemento, ecc.) e di balconi;
- coefficiente di assorbimento copertura terreno: è stato assegnato un coefficiente G variabile tra 0 (terreno liscio fortemente riflettente) e 1 (terreno frastagliato, ricoperto di vegetazione e fortemente assorbente). Tale attribuzione è stata fatta in base alla mappatura Corine Land Cover.

6.4 Localizzazione dei punti di calcolo

6.4.1 Ricettori residenziali e non residenziali (industriali, commerciali, terziari)

Cadna A consente di posizionare i punti di calcolo su ogni facciata dell'edificio e ad ogni piano cui è stata assegnata un'altezza standard pari a 3 m. Il primo punto di calcolo è ad una altezza pari a 1.8 m dal piano campagna e poi ogni 3 m di altezza dell'edificio.

Le previsioni acustiche sono state effettuate su tutti i punti così definiti per il periodo diurno e notturno, ad 1 metro di distanza dalla facciata, considerando anche il contributo dato dalla riflessione sulla facciata stessa.

6.4.2 Aree di espansione residenziali, commerciali, industriali e a servizio

E' stato previsto un punto di calcolo sui vertici del poligono che definisce ciascuna area di espansione, posizionato ad un'altezza di 4 m dal piano campagna. Sono state prese in considerazione tutte le aree incluse nell'ambito di studio.

6.5 Scenari simulati

Sono stati simulati i seguenti scenari:

- *Scenario di stato attuale*: sono state simulate le sorgenti stradali presenti ad oggi nell'ambito di studio, anche se non trattate come opere connesse nell'ambito del progetto, nelle condizioni di traffico fornite dallo studio sulla mobilità e il traffico, allegato al PTCP, per lo scenario di stato attuale, trascurando gli effetti riduttivi indotti dalla crisi economica nel periodo 2008-2014;
- *Scenario di post operam 2014* sono state simulate le sorgenti stradali, le opere connesse sia come potenziamenti o riqualifiche di viabilità esistenti, sia come nuove viabilità di varianti o tangenziali di viabilità esistenti, secondo le caratteristiche planoaltimetriche fornite dal progetto stradale e le condizioni di traffico definite dallo studio sulla mobilità e il traffico, allegato al PTCP, per lo scenario per lo scenario progettuale al 2014;
- *Scenario di post operam 2025*: sono state simulate le sorgenti stradali, le opere connesse sia come potenziamenti o riqualifiche di viabilità esistenti, sia come nuove viabilità di varianti o tangenziali di viabilità esistenti, secondo le caratteristiche planoaltimetriche fornite dal progetto stradale e le condizioni di traffico definite dallo studio sulla mobilità e il traffico;
- *Scenario di post operam con mitigazioni*: riproduce lo scenario di post operam considerando tutti gli interventi di mitigazione previsti.

6.6 Metodologia di dimensionamento degli interventi di mitigazione

Il dimensionamento degli interventi di mitigazione acustica ha lo scopo di identificare le azioni progettuali dalle quali derivare uno scenario acustico futuro a lungo termine conforme agli obiettivi posti dalla normativa.

In accordo al DMA 29.11.2000 sono valutati come interventi di mitigazione l'impiego di pavimentazioni drenanti/fonoassorbenti e il progetto plano-altimetrico delle barriere antirumore.

A valle di questo primo dimensionamento estensivo sono valutati i livelli di rumore sui ricettori esposti di tipo residenziale, al fine di completare, con una logica di ragionevolezza, gli interventi proposti. Massima attenzione è destinata agli insediamenti residenziali che inglobano edifici sensibili.

Le verifiche di calcolo finale permettono infine di identificare i ricettori per i quali devono essere previsti degli interventi sul ricettore, previa verifica dei valori di fonoisolamento ipotizzati nei calcoli. Nella stima del valore all'interno dell'edificio si assume, in accordo anche con gli Enti di controllo, un valore cautelativo minimo di 17-20 dB (A) dell'isolamento dei serramenti. Se tale attenuazione non è sufficiente per garantire i limiti di riferimento interni (35 dBA sensibili, 40 dBA residenziali, 45 dBA edifici scolastici) il ricettore sarà segnalato tra quelli che potrebbero necessitare di interventi di risanamento di tipo diretto.

Per questi ricettori sarà prevista nelle successive fasi di progettazione e realizzazione dell'opera, l'acquisizione d'informazioni integrative con lo scopo di accertare la reale presenza di esuberi rispetto ai limiti di legge e la reale necessità quindi di attuare interventi di risanamento di tipo diretto.

6.7 Risultati delle simulazioni acustiche

6.7.1 Risultati delle Simulazioni nella fase ante-operam

In base ai flussi di traffico ipotizzati nel § 5 si sono stimati, attraverso il codice di calcolo *CADNA*, i livelli di pressione sonora previsti presso i ricettori esposti distanti fino a 300 metri dai bordi esterni della tangenziale di Busseto.

Nello studio acustico sono stati considerati solamente i ricettori residenziali e i ricettori non residenziali che comunque prevedono la presenza o la fruizione (ricettori commerciali ed industriali), per i quali valgono i soli limiti diurni. Poiché in generale tali limiti risultano sempre rispettati le valutazioni di dettaglio e lo studio delle mitigazioni acustiche sono state svolte per i soli ricettori residenziali, con l'esclusione degli edifici abbandonati.

Di seguito nella tabella 6.1 si riporta una sintesi dei risultati analitici delle simulazioni che, per ogni edificio, riporta il livello equivalente più critico in facciata per l'intero perimetro esterno. Nelle citate tabelle sono rappresentati:

- il codice dei ricettori;
- la classificazione acustica dei ricettori esaminati e la presenza di eventuali fasce di pertinenza di cui al DPR 142/2004;
- i livelli d'immissione dati dalla somma del rumore prodotto dalle arterie stradali del bacino acustico esaminato; non sono considerate altre sorgenti di carattere fisso;
- il raffronto dei livelli d'immissione con i limiti legislativi.

Tabella 6.1 - Livelli d'immissione ai ricettori esposti e sensibili modellati con software CADNA A nella situazione ante-operam. Il livello d'immissione è quello massimo riscontrabile in tutta la superficie del fabbricato.

Nome ricettore	Livello d'immissione rumore attuale (dBA)		Limiti PZA (dBA)		Superamento		Limiti DPR 30 marzo 2004, n. 142 viabilità esistente (dBA)		Superamento	
	day	nigth	day	nigth	day	nigth	day	nigth	day	nigth
1	48,1	40,7	60	50	NO	NO	65	55	NO	NO
2	49,6	41,7	60	50	NO	NO	65	55	NO	NO
3	46,5	38,9	60	50	NO	NO	65	55	NO	NO
4	50,7	43,3	60	50	NO	NO	65	55	NO	NO
5	50,8	43,6	65	55	NO	NO	65	55	NO	NO
6	53,1	45,8	65	55	NO	NO	65	55	NO	NO
7	53,6	45,8	60	60	NO	NO	70	60	NO	NO
8	55,5	47,9	65	55	NO	NO	70	60	NO	NO
9	53,4	45,9	65	55	NO	NO	70	60	NO	NO
10	52,5	47,8	60	50	NO	NO				
11	47,9	43,3	60	50	NO	NO				
12	53,3	48,7	60	50	NO	NO				
13	51,9	47,2	60	50	NO	NO				
14	49,2	44,6	60	50	NO	NO				
15	57,3	52,6	65	55	NO	NO				
16	54,6	50	65	55	NO	NO				
17	50,7	46,1	60	50	NO	NO				
18	49,4	44,9	60	50	NO	NO				
19	40,4	34,5	60	50	NO	NO				
20	39,1	34,2	55	45	NO	NO				
21	39,4	33,6	55	45	NO	NO				
22	51,5	44,1	60	50	NO	NO	70	60	NO	NO
23	49,9	42,2	65	55	NO	NO	70	60	NO	NO
24	56,2	48,4	65	55	NO	NO	70	60	NO	NO
25	63,4	55,3	70	60	NO	NO	70	60	NO	NO
26	53	45,2	70	60	NO	NO	70	60	NO	NO

Analizzando la precedente tabella 6.1 si evince che non sono presenti esuberi dei limiti di classe definiti in sede di Piano di Classificazione Acustica.

Nelle Fig. 6.1 e 6.2 sono riportate le mappa acustica ante-operam rispettivamente per il periodo diurno e notturno.

6.7.2 Risultati delle Simulazioni nella fase post-operam

In base ai flussi di traffico ipotizzati nel § 5 si sono stimati, attraverso il codice di calcolo CADNA, i livelli di pressione sonora previsti presso i ricettori esposti distanti fino a 300 metri dai bordi esterni della tangenziale di Busseto.

Nello studio acustico sono stati considerati solamente i ricettori residenziali e i ricettori non residenziali che comunque prevedono la presenza o la fruizione (ricettori commerciali ed industriali), per i quali valgono i soli limiti diurni. Poiché in generale tali limiti risultano sempre rispettati le valutazioni di dettaglio e lo studio delle mitigazioni acustiche sono state svolte per i soli ricettori residenziali, con l'esclusione degli edifici abbandonati.

Di seguito nella tabella 6.2 si riporta una sintesi dei risultati analitici delle simulazioni che, per ogni edificio, riporta il livello equivalente più critico in facciata per l'intero perimetro esterno. Nelle citate tabelle sono rappresentati:

- il codice dei ricettori e i piani di cui si compongono;
- la presenza delle fasce di pertinenza;
- i livelli d'immissione dati dalla somma del rumore prodotto dalle arterie stradali del bacino acustico esaminato nella fase ante-operam;
- i livelli d'immissione dati dalla somma del rumore prodotto dalle arterie stradali del bacino acustico esaminato nella fase post-operam;
- il raffronto dei livelli d'immissione con i limiti legislativi.

Le simulazioni sono state effettuate preliminarmente senza prevedere alcuna opera di mitigazione.

Tabella 6.2 - Livelli d'immissione ai ricettori esposti e sensibili modellati con software CADNA A nella situazione post-operam al 2025. Il livello d'immissione è quello massimo riscontrabile in tutta la superficie del fabbricato.

Nome ricettore	Livello d'immissione rumore attuale (dBA)		Limiti PZA (dBA)		Superamento		Limiti DPR 30 marzo 2004, n. 142 viabilità esistente (dBA)		Superamento	
	day	nigth	day	nigth	day	nigth	day	nigth	day	nigth
1	48,8	41,7	60	50	NO	NO	65	55	NO	NO
2	50,3	42,6	60	50	NO	NO	65	55	NO	NO
3	47,3	40,2	60	50	NO	NO	65	55	NO	NO
4	51,4	44,1	60	50	NO	NO	65	55	NO	NO
5	51,2	44,2	65	55	NO	NO	65	55	NO	NO
6	53,4	46,2	65	55	NO	NO	65	55	NO	NO
7	54,2	46,5	60	50	NO	NO	70	60	NO	NO
8	55,9	48,3	65	55	NO	NO	70	60	NO	NO

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

Nome ricettore	Livello d'immissione rumore attuale (dBA)		Limiti PZA (dBA)		Superamento		Limiti DPR 30 marzo 2004, n. 142 viabilità esistente (dBA)		Superamento	
	day	nigth	day	nigth	day	nigth	day	nigth	day	nigth
9	53,7	46,2	65	55	NO	NO	70	60	NO	NO
10	52,6	47,8	60	50	NO	NO	70	60	NO	NO
11	48,6	43,8	60	50	NO	NO	-	-	-	-
12	53,7	48,9	60	50	NO	NO	-	-	-	-
13	53,7	48,3	60	50	NO	NO	-	-	-	-
14	50,5	45,5	60	50	NO	NO	-	-	-	-
15	60,9	53,7	65	55	NO	NO	-	-	-	-
16	57,1	51,2	65	55	NO	NO	-	-	-	-
17	51,3	46,5	60	50	NO	NO	-	-	-	-
18	50	45,3	60	50	NO	NO	-	-	-	-
19	51,6	44,3	60	50	NO	NO	-	-	-	-
20	47	40,7	55	45	NO	NO	-	-	-	-
21	46,6	40,4	55	45	NO	NO	-	-	-	-
22	54,5	46,9	60	50	NO	NO	70	60	NO	NO
23	49,8	42,9	65	55	NO	NO	70	60	NO	NO
24	55,2	47,3	65	55	NO	NO	70	60	NO	NO
25	62,9	55,1	70	60	NO	NO	70	60	NO	NO
26	55	46,9	70	60	NO	NO	70	60	NO	NO

A seguito della redistribuzione del traffico per la presenza della tangenziale di Busseto, si ottiene nella fase post-operam un generale miglioramento dello scenario acustico nel centro urbano di Busseto.

Per i ricettori posti lungo il tracciato della tangenziale, ovviamente, si registra un peggioramento del clima acustico. In ogni caso sono comunque rispettati i limiti assoluti diurni e notturni del piano di classificazione acustica.

Riguardo all'area di espansione residenziali sono stati ipotizzati alla distanza di 20 metri dal ciglio della tangenziale costruzioni di 2, 3 e 4 piani. Anche in questo caso si ha il rispetto dei limiti assoluti diurni e notturni del piano di classificazione acustica.

Piano	Livello d'immissione rumore attuale (dBA)		PCA	Limiti PZA (dBA)		Superamento	
	day	nigth		day	nigth	day	nigth
1	58,2	50,3	IV	65	55	NO	NO
2	58,4	50,4	IV	65	55	NO	NO
3	58,5	50,5	IV	65	55	NO	NO

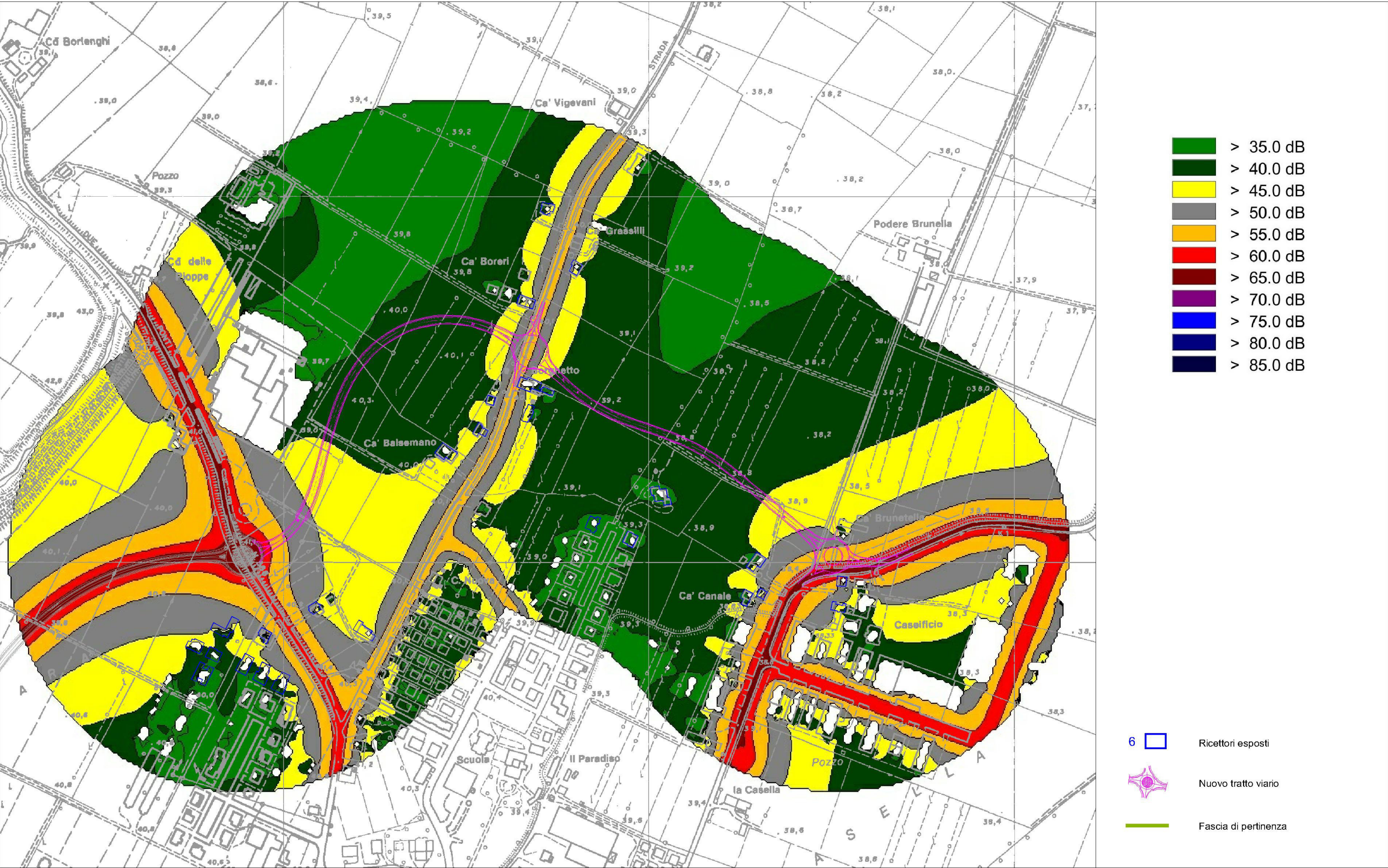


Figura 6.1: Mappa acustica nel periodo diurno dello stato di fatto – scala 1:5.000



Figura 6.2: Mappa acustica nel periodo notturno dello stato di fatto – scala 1:5.000

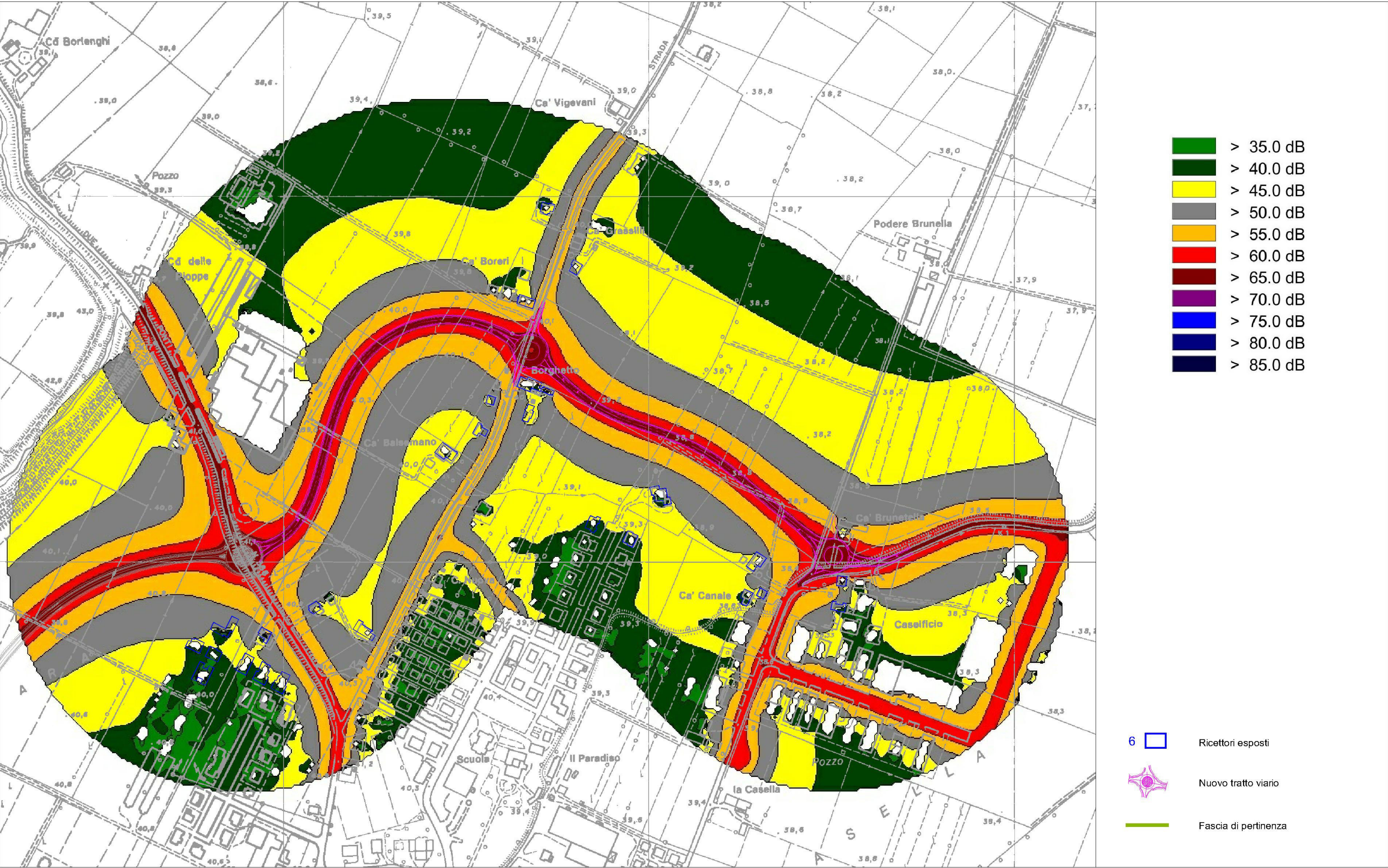


Figura 6.3: Mappa acustica nel periodo diurno dello stato di progetto – scala 1:5.000

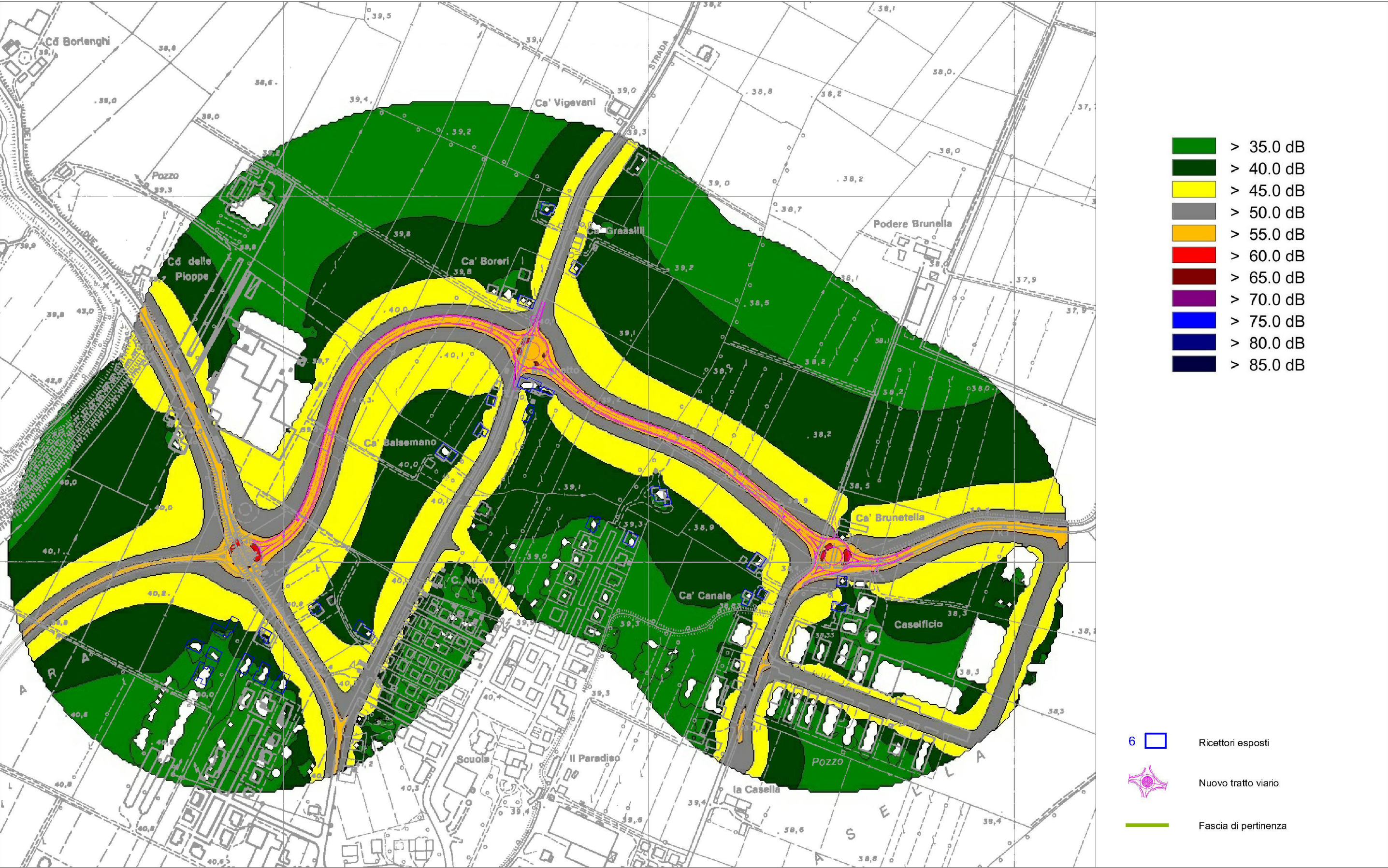


Figura 6.4: Mappa acustica nel periodo notturno dello stato di progetto – scala 1:5.000

7 SINTESI DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE ACUSTICA

7.1 Pavimentazione stradale

Sul tracciato Tangenziale di Busseto è prevista la posa di pavimentazione in asfalto liscio. Si assume una prestazione acustica media nella vita della pavimentazione di 0 dBA.

7.2 Interventi sui ricettori

La verifica sui ricettori con livelli superiori ai limiti di legge non ha evidenziato la presenza di edifici per i quali valori minimi di fonoisolamento di 17-20 dBA non sono sufficienti a garantire il rispetto del limite in ambiente abitativo.

Non si ritiene pertanto sussistano casi in cui l'intervento o la verifica di intervento sia da prevedersi.

8 IMPATTO ACUSTICO NELLA FASE DI CANTIERE

Nel presente capitolo sono valutati gli impatti acustici nella fase di cantiere del progetto della Tangenziale di Busseto.

Le fasi maggiormente critiche del progetto relative alla fase di cantiere (esecuzione dell'opera), sono caratterizzate da una grande variabilità temporale.

Trascurando la fase di armamento, il cui impatto acustico è sicuramente inferiore rispetto alla fase di costruzione dell'infrastruttura, si considera che le sorgenti sonore siano sostanzialmente raggruppabili in macchine operatrici ed in mezzi adibiti al trasporto.

Le prime hanno una distribuzione spaziale abbastanza prevedibile e delimitata, mentre i secondi si distribuiscono lungo l'intero percorso che collega la zona di lavorazione con i siti di origine e destinazione dei materiali trasportati (rispettivamente cave e discariche).

Per ciascuna tipologia di macchine di cantiere è stata valutata l'emissione sonora tipica (livelli di potenza sonora delle sorgenti in dBA), e da questa, tramite il modello di calcolo previsionale ISO 9613, è stato possibile stimare i livelli sonori a cui saranno esposti i ricettori prospicienti il tratto di linea in costruzione. Sono disponibili sulla base di rilevamenti eseguiti in altri cantieri similari copiosi dati fonometrici, relativi a diverse tipologie di macchine di cantiere (v. Tab. 8.1).

Tabella 8.1 – Rilevi eseguiti nel 2001 su macchine della VIP.

N.	Sorgente	Dist. m	Ora Inizio hh:mm:ss	Durata mm:ss	MaxP dBA	MaxL dBA	MinL dBA	Leq dBA	SEL dBA	L10 dBA	L50 dBA	L90 dBA	Lw dBA
1	Escav. per pali LS108 - LinkBelt	15	10:58:16	03:07	108.9	92.0	73.7	82.0	104.7	85.0	79.0	77.0	116.5
2	Motopompa Univac	4	11:04:07	00:14	109.0	90.2	75.2	86.0	97.5	88.5	86.0	76.0	109.0
3	Autobetoniera durante il getto	4.5	11:07:59	01:27	116.0	88.6	82.7	84.9	104.4	85.5	84.5	84.0	109.0
4	Gru a cavo Ruston Bucyrus E38	9	11:12:13	02:35	104.4	87.3	71.8	75.7	97.7	76.5	75.0	72.5	105.8
5	Escav. per pali Solmec R312HD	5	11:19:42	01:47	110.8	95.2	77.1	81.2	101.5	82.5	80.0	78.0	106.2
6	Escavat. cingolato con martello Fiat Allis FE28HD	6	11:23:05	01:36	108.3	92.0	82.1	85.2	105.0	86.5	84.5	83.0	111.8
7	Motopompa Caffini	5	11:27:40	01:02	108.7	87.5	83.4	85.7	103.7	86.5	85.5	84.5	110.7
8	Escav. cingolato con benna Fiat Hitachi FH220	5	11:30:08	01:18	121.4	103.5	75.5	82.7	101.6	82.5	77.5	76.0	107.7
9	Escavat. cingolato con martello Kobelco	7	11:32:30	01:11	120.3	101.3	72.2	94.1	112.7	98.5	90.0	73.0	122.0
10	Carr.elevatore F.lli Dieci	5	11:35:05	00:43	101.4	81.6	69.9	76.4	92.7	79.5	75.0	71.5	101.4
11	Escav. cingolato con benna Fiat Hitachi FH220.3	6	11:37:38	01:19	113.0	95.5	76.1	81.5	100.5	81.5	80.0	78.0	108.1
12	Pala cingolata Komaco	15	11:44:28	01:33	103.7	82.6	70.4	76.3	95.9	78.5	75.0	72.0	110.8
13	Autobetoniera durante il lavaggio	5	11:47:55	00:45	102.0	86.4	84.2	85.4	102.0	85.5	85.0	85.0	110.4
14	Escav. cing. con benna CAT 320B	10	11:50:55	02:10	107.9	90.6	61.6	78.1	99.2	81.5	75.5	69.0	109.1
15	Escav. per diaframmi C50	14	11:56:10	03:23	118.0	100.5	69.7	82.5	105.6	83.5	75.0	71.5	116.4

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

N.	Sorgente	Dist. m	Ora Inizio hh:mm:ss	Durata mm:ss	MaxP dBA	MaxL dBA	MinL dBA	Leq dBA	SEL dBA	L10 dBA	L50 dBA	L90 dBA	Lw dBA
	INS – Casagrande												
16	Carrello a forca con rimorchio	6	12:01:58	02:08	110.6	92.7	63.4	76.7	97.8	78.0	70.0	67.0	103.3
17	Autocarro	4	12:06:48	00:26	108.2	83.2	62.9	74.1	88.2	80.0	67.5	64.0	97.1
18	Escav. con rotari per pali LS108 – LinkBelt	50	12:39:15	05:44	97.1	79.5	67.1	72.2	97.7	74.0	72.0	69.5	117.2
19	Escav. cingolato con martello Fiat Allis (Pamoter)	8	15:57:03	02:01	116.3	96.6	77.6	91.4	112.3	94.0	91.0	86.5	120.5
20	Ponteggio Mobile Errebi	8	16:00:59	00:18	103.2	84.2	72.6	82.3	94.8	83.0	82.5	80.0	111.4
21	Trivella cingolata idraulica per pali CMV	15	16:03:35	02:25	113.7	97.5	78.3	83.0	104.6	83.5	81.0	79.5	117.5
22	Escav. con rotari per pali RB	15	16:07:10	04:15	106.4	89.8	77.4	82.6	106.7	84.5	81.5	79.0	117.1
23	Autobetoniera durante il lavaggio	8	16:12:53	01:19	104.4	87.4	75.6	84.8	103.9	85.5	85.0	78.5	113.9
24	Escav. cingolato con martello Fiat Allis FE28HD	10	16:15:24	02:07	117.8	100.2	77.4	90.9	111.9	94.0	89.5	80.5	121.9
25	Gru a cavo 22-RB (a servizio trivella)	7	16:30:00	05:07	107.6	92.6	72.6	76.8	101.6	78.0	74.5	73.0	104.7
26	Escav. per pali LS108 - LinkBelt	7	16:36:09	02:36	104.7	90.2	79.1	83.0	104.9	84.5	82.5	80.5	110.9
27	Trivella cingolata idraulica per micropali	6	16:42:32	01:53	107.4	88.6	71.9	77.8	98.4	79.5	77.0	73.5	104.4
28	Escav. cing. con benna CAT 320B	10	16:45:00	01:41	102.1	80.2	70.5	73.7	93.7	74.5	73.5	72.0	104.7
29	Carrello elevatore F.Ili Dieci ET35-HVT3	5	16:48:42	00:31	100.4	87.3	74.8	78.3	93.2	80.5	76.5	75.0	103.3
30	Escav. Cingolato con martello CAT 325LN	7	16:54:02	03:06	115.7	98.2	74.0	87.2	109.9	91.5	82.5	77.5	115.1

8.1 Stima degli impatti da rumore prodotti dalle macchine di cantiere

Nella stima degli impatti da rumore prodotti dalle macchine di cantiere occorre considerare i seguenti aspetti:

- definizione delle fasi e modalità di lavorazione;
- definizione delle caratteristiche d'emissione sonora delle sorgenti;
- localizzazione spazio-temporale delle sorgenti;
- calcolo delle mappature isolivello.

Le sorgenti sonore, nonostante siano tutte di tipo "mobile" e sia lecita la "diluizione" del periodo d'effettivo funzionamento (tipicamente 4-8 ore) sull'intera durata del periodo diurno (16 ore), sono considerate tutte in funzionamento contemporaneo.

Di ciascuna sorgente sonora, comunque, è sempre indicata anche la durata del periodo d'effettivo funzionamento.

Per quanto riguarda la determinazione delle isofoniche di emissione (basata sulla metodologia e sui modelli descritti nell'allegato A) si deve precisare che tale attività ha richiesto una preventiva schematizzazione delle attività relative ad un tipico cantiere di costruzione. Ciascun cantiere è suddiviso in 4 sottocantieri, all'interno dei quali si svolgono lavorazioni differenziate.

Sono state adottate le ipotesi di seguito descritte, che chiaramente, essendo riferite ancora ad un progetto preliminare di costruzione della linea, sono per forza di cose schematiche e semplificate.

8.1.1 Traiettoria di lavoro

La posizione dei macchinari varierà in modo casuale durante la giornata lavorativa e quindi non è possibile determinare in modo esatto le singole traiettorie.

Data la ristrettezza della zona in cui operano le singole macchine è stato ipotizzato che la posizione, in corrispondenza della quale si ha la maggiore probabilità di trovare una macchina operatrice, è quella relativa all'asse dell'infrastruttura.

8.1.2 Trasporto inerti al fronte di avanzamento

Oltre alle emissioni relative ai macchinari occorre considerare anche quelle relative al trasporto degli inerti, al fronte d'avanzamento lavori.

Quest'attività si svolge essenzialmente lungo la viabilità urbana circostante, ed il suo effetto si disperde in modo imprevedibile. Si è assunto tuttavia che, nelle immediate vicinanze della zona in cui sono in corso le lavorazioni, anche i mezzi adibiti al trasporto si muovano lungo l'asse della nuova infrastruttura, facendo impiego della sede della stessa come di una corsia preferenziale di passaggio.

8.1.3 Zona sorgente di rumore

In corrispondenza del fronte d'avanzamento stradale si svolgono diverse attività che possono essere suddivise nelle seguenti fasi temporali:

- scavo del cassonetto di sottofondo stradale;
- sovrastruttura stradale: stesa strati e loro compattazione;
- finitura superficiale e realizzazione della pavimentazione (asfaltatura).

Sulla base dei suddetti dati, per ciascuna fase dei lavori prevista è stato possibile quantificare la potenza sonora complessiva, ed il livello sonoro “medio massimo”. Nella seguente Tab. 8.2 sono riportati i periodi più critici relativi a determinate attività.

Tabella 8.2 – Potenze acustiche associate alle attività di cantiere maggiormente rumorose.

Attività	L _{WA} , TOTALE (dBA)	Tempo di funzionamento (ore/giorno)
Scavi del cassonetto di sottofondo stradale o di trincee	108.4	8
Realizzazione della sovrastruttura stradale	111.2	8
Asfaltatura	107.6	8

Oltre alle emissioni acustiche prodotte dalle macchine operatrici sono state anche considerate quelle relative al trasporto degli inerti.

Queste ultime sono state valutate considerando la traiettoria dei camion che trasportano il materiale coincidente con l'asse dell'infrastruttura, e statisticamente provenienti sia dal lato d'avanzamento, sia da quello opposto del cantiere. Questa considerazione ha permesso di sommare le emissioni acustiche relative al trasporto dei materiali con quelle relative alle altre macchine operatrici.

Per l'approvvigionamento di un cantiere, nel corso della realizzazione della sovrastruttura stradale, sono previsti circa 30 camion/giorno che, tenendo conto anche dei viaggi di ritorno a vuoto equivalgono ad un rumore sostanzialmente continuo per l'intera giornata lavorativa.

8.2 Ricettori esposti

Nelle tabelle che seguono sono riportati gli elenchi dei ricettori soggetti ad impatto nelle fasi di costruzione della Tangenziale di Busseto situate a distanze inferiori ai 150 metri. In particolare sono riportati:

- il comune di appartenenza;
- la sigla del ricettore esposto;
- la classe acustica, come definita nel piano di Classificazione dei rispettivi territori Comunali;
- il limite assoluto diurno della classe di appartenenza;
- tipologia del ricettore esposto o sensibile;
- il livello di immissione diurno desunto dalle valutazioni analitiche con software CADNA A;
- la distanza minima dal cantiere.

Tabella 8.3 – Elenco ricettori coinvolti nelle attività di cantiere della tangenziale di Busseto

Nome	Comune	distanza infrastruttura	Classe	Limite diurno PZA	Tipologia	Condizioni abitative	Livello d'immissione rumore diurno
				(6-22)			(6-22)
01	Busseto	166	III	60	Residenziale	Abitato	48,1
02	Busseto	142	III	60	Residenziale	Abitato	49,6
03	Busseto	142	III	60	Residenziale	Abitato	46,5
04	Busseto	135	III	60	Residenziale	Abitato	50,7
05	Busseto	146	IV	65	Residenziale	Abitato	50,8
06	Busseto	162	IV	65	Residenziale	Abitato	53,1
07	Busseto	91	III	60	Residenziale	Abitato	53,6
08	Busseto	98	IV	65	Residenziale	Abitato	55,5
09	Busseto	92	IV	65	Residenziale	Abitato	53,4
10	Busseto	151	III	60	Residenziale	Abitato	52,5
11	Busseto	140	III	60	Residenziale	Abitato	47,9
12	Busseto	98	III	60	Residenziale	Disabitato	53,3
13	Busseto	51	III	60	Residenziale	Abitato	51,9
14	Busseto	57	III	60	Residenziale	Abitato	49,2
15	Busseto	20	IV	65	Residenziale	Abitato	57,3
16	Busseto	35	IV	65	Residenziale	Abitato	54,6
17	Busseto	98	III	60	Residenziale	Abitato	50,7
18	Busseto	163	III	60	Residenziale	Abitato	49,4
19	Busseto	60	III	60	Residenziale	Abitato	40,4
20	Busseto	132	II	55	Residenziale	Abitato	39,1
21	Busseto	138	II	55	Residenziale	Abitato	39,4
22	Busseto	57	III	60	Residenziale	Abitato	51,5
23	Busseto	78	IV	65	Residenziale	Disabitato	49,9
24	Busseto	98	IV	65	Residenziale	Disabitato	56,2
25	Busseto	15	V	70	Residenziale	Abitato	63,4
26	Busseto	41	V	70	Residenziale	Abitato	53

8.3 Impatto acustico nella fase di realizzazione dell'infrastruttura

Le principali fasi operative comprendono:

- scavi per la realizzazione del cassonetto e delle trincee;
- realizzazione della sovrastruttura stradale (rilevati);
- asfaltatura;
- trasporto inerti.

8.3.1 Impatto acustico nella fase di scavo

Gli scavi sono relativi all'esecuzione dei cassonetti di sottofondo stradale e alla realizzazione delle trincee.

I ricettori direttamente coinvolti dall'intervento di scavo del cassonetto di sottofondo stradale sono elencati in Tab. 8.4. Assumendo le condizioni maggiormente critiche, l'analisi dell'impatto acustico può essere determinata attraverso l'esplicazione della norma ISO 9613, sulla base delle seguenti considerazioni:

- la morfologia del suolo è pianeggiante; l'altezza della sorgente è stata quindi considerata pari a 1.0 metri, mentre quella dei ricettori pari a 1.5 metri;
- gli aspetti climatici della zona considerati, sono l'umidità relativa media annua durante il periodo diurno pari a UR = 50% e la Temperatura media annua durante il periodo diurno pari a Tm = 15°.

Tabella 8.4 – Situazione d'impatto ai ricettori esposti e sensibili durante le operazioni di scavo.

Codice ricettore	distanza sorgente-ricettore (m)	livello attività (dB)	livello ante operam (dB)	livello totale (dB)	Limiti di zona day dBA	Superam. -	Leq differenz. dBA	Limiti diff. dBA	Superam. -	Limite attività dBA	Superam. -
01	166	50,7	48,1	52,6	60	NO	4,5	5	NO	70	NO
02	142	52,2	49,6	54,1	60	NO	4,5	5	NO	70	NO
03	142	52,2	46,5	53,2	60	NO	6,7	5	SI	70	NO
04	135	52,7	50,7	54,8	60	NO	4,1	5	NO	70	NO
05	146	51,9	50,8	54,4	65	NO	3,6	5	NO	70	NO
06	162	50,9	53,1	55,2	65	NO	2,1	5	NO	70	NO
07	91	56,5	53,6	58,3	60	NO	4,7	5	NO	70	NO
08	98	55,8	55,5	58,7	65	NO	3,2	5	NO	70	NO
09	92	56,4	53,4	58,2	65	NO	4,8	5	NO	70	NO
10	151	51,6	52,5	55,1	60	NO	2,6	5	NO	70	NO
11	140	52,3	47,9	53,7	60	NO	5,8	5	SI	70	NO
12	98	55,8	53,3	57,7	60	NO	4,4	5	NO	70	NO
13	51	62,3	51,9	62,7	60	SI	10,8	5	SI	70	NO
14	57	61,2	49,2	61,4	60	SI	12,2	5	SI	70	NO
15	20	73,4	57,3	73,5	65	SI	16,2	5	SI	70	SI
16	35	66,3	54,6	66,6	65	SI	12,0	5	SI	70	NO
17	98	55,8	50,7	57,0	60	NO	6,3	5	SI	70	NO
18	163	50,9	49,4	53,2	60	NO	3,8	5	NO	70	NO
19	60	60,6	40,4	60,7	60	SI	20,3	5	SI	70	NO
20	132	52,9	39,1	53,1	55	NO	14,0	5	SI	70	NO
21	138	52,5	39,4	52,7	55	NO	13,3	5	SI	70	NO
22	57	61,2	51,5	61,6	60	SI	10,1	5	SI	70	NO
23	78	58,0	49,9	58,7	65	NO	8,8	5	SI	70	NO
24	98	55,8	56,2	59,0	65	NO	2,8	5	NO	70	NO
25	15	78,1	63,4	78,2	70	SI	14,8	5	SI	70	SI
26	41	64,6	53	64,9	70	NO	11,9	5	SI	70	NO

Le operazioni di scavo costituiscono una fonte rumorosa, molto impattante sull'ambiente acustico. Il superamento del limite di $L_{Aeq} = 70$ dBA, di cui alla D.G. della Regione Emilia Romagna n. 2002/45 del 21/1/2002, è superato per i ricettori 15 e 26.

8.3.2 Impatto acustico nella fase di realizzazione della sovrastruttura stradale

La realizzazione della sovrastruttura stradale consiste nella sovrapposizione di più strati di materiale inerte (pietrischi, stabilizzato, ecc.).

I ricettori direttamente coinvolti dall'intervento sono elencati in Tab. 8.6. Assumendo le condizioni maggiormente critiche, l'analisi dell'impatto acustico può essere determinata attraverso l'esplicazione delle norme ISO 9613, sulla base delle seguenti considerazioni:

- la morfologia del suolo è pianeggiante; l'altezza della sorgente è stata quindi considerata pari a 1.0 metri, mentre quella dei ricettori pari a 1.5 metri;
- gli aspetti climatici della zona considerati, sono l'umidità relativa media annua durante il periodo diurno pari a UR = 50% e la Temperatura media annua durante il periodo diurno pari a $T_m = 15^\circ$.

Tabella 7.8 – Situazione d'impatto ai ricettori esposti e sensibili durante le operazioni di realizzazione della sovrastruttura stradale.

Codice ricettore	distanza sorgente-ricettore (m)	livello attività (dB)	livello ante operam (dB)	livello totale (dB)	Limiti di zona day dBA	Superam. -	Leq differenz. dBA	Limiti diff. dBA	Superam. -	Limite attività dBA	Superam. -
01	166	53,5	48,1	54,6	60	NO	6,5	5	SI	70	NO
02	142	55,0	49,6	56,1	60	NO	6,5	5	SI	70	NO
03	142	55,0	46,5	55,6	60	NO	9,1	5	SI	70	NO
04	135	55,5	50,7	56,7	60	NO	6,0	5	SI	70	NO
05	146	54,7	50,8	56,2	65	NO	5,4	5	SI	70	NO
06	162	53,7	53,1	56,4	65	NO	3,3	5	NO	70	NO
07	91	59,3	53,6	60,3	60	SI	6,7	5	SI	70	NO
08	98	58,6	55,5	60,3	65	NO	4,8	5	NO	70	NO
09	92	59,2	53,4	60,2	65	NO	6,8	5	SI	70	NO
10	151	54,4	52,5	56,6	60	NO	4,1	5	NO	70	NO
11	140	55,1	47,9	55,9	60	NO	8,0	5	SI	70	NO
12	98	58,6	53,3	59,7	60	NO	6,4	5	SI	70	NO
13	51	65,1	51,9	65,3	60	SI	13,4	5	SI	70	NO
14	57	64,0	49,2	64,1	60	SI	14,9	5	SI	70	NO
15	20	76,2	57,3	76,3	65	SI	19,0	5	SI	70	SI
16	35	69,1	54,6	69,3	65	SI	14,7	5	SI	70	NO
17	98	58,6	50,7	59,2	60	NO	8,5	5	SI	70	NO
18	163	53,7	49,4	55,0	60	NO	5,6	5	SI	70	NO
19	60	63,4	40,4	63,5	60	SI	23,1	5	SI	70	NO
20	132	55,7	39,1	55,8	55	SI	16,7	5	SI	70	NO
21	138	55,3	39,4	55,4	55	SI	16,0	5	SI	70	NO
22	57	64,0	51,5	64,2	60	SI	12,7	5	SI	70	NO
23	78	60,8	49,9	61,2	65	NO	11,3	5	SI	70	NO

Codice ricettore	distanza sorgente-ricettore	livello attività	livello ante operam	livello totale	Limiti di zona day	Superam.	Leq differenz.	Limiti diff.	Superam.	Limite attività	Superam.
	(m)	(dB)	(dB)	(dB)	dBA	-	dBA	dBA	-	dBA	-
24	98	58,6	56,2	60,6	65	NO	4,4	5	NO	70	NO
25	15	80,9	63,4	81,0	70	SI	17,6	5	SI	70	SI
26	41	67,4	53	67,6	70	NO	14,6	5	SI	70	NO

Le operazioni di realizzazione del rilevato stradale costituiscono una fonte rumorosa, molto impattante sull'ambiente acustico. Il superamento del limite di $L_{Aeq} = 70$ dBA, di cui alla D.G. della Regione Emilia Romagna n. 2002/45 del 21/1/2002, è superato per i ricettori 15 e 25.

8.3.3 Impatto acustico nella fase di asfaltatura

La realizzazione della sovrastruttura stradale consiste nella sovrapposizione di più strati di conglomerato bituminoso.

I ricettori direttamente coinvolti dall'intervento sono elencati in Tab. 8.7. Assumendo le condizioni maggiormente critiche, l'analisi dell'impatto acustico può essere determinata attraverso l'esplicazione delle norme ISO 9613, sulla base delle seguenti considerazioni:

- la morfologia del suolo è pianeggiante; l'altezza della sorgente è stata quindi considerata pari a 1.0 metri, mentre quella dei ricettori pari a 1.5 metri;
- gli aspetti climatici della zona considerati, sono l'umidità relativa media annua durante il periodo diurno pari a $UR = 50\%$ e la Temperatura media annua durante il periodo diurno pari a $T_m = 15^\circ$.

Tabella 8.7 – Situazione d'impatto ai ricettori esposti e sensibili durante le operazioni di realizzazione della sovrastruttura stradale.

Codice ricettore	distanza sorgente-ricettore	livello attività	livello ante operam	livello totale	Limiti di zona day	Superam.	Leq differenz.	Limiti diff.	Superam.	Limite attività	Superam.
	(m)	(dB)	(dB)	(dB)	dBA	-	dBA	dBA	-	dBA	-
01	166	49,9	48,1	52,1	60	NO	4,0	5	NO	70	NO
02	142	51,4	49,6	53,6	60	NO	4,0	5	NO	70	NO
03	142	51,4	46,5	52,6	60	NO	6,1	5	SI	70	NO
04	135	51,9	50,7	54,4	60	NO	3,7	5	NO	70	NO
05	146	51,1	50,8	54,0	65	NO	3,2	5	NO	70	NO
06	162	50,1	53,1	54,9	65	NO	1,8	5	NO	70	NO
07	91	55,7	53,6	57,8	60	NO	4,2	5	NO	70	NO
08	98	55,0	55,5	58,3	65	NO	2,8	5	NO	70	NO
09	92	55,6	53,4	57,7	65	NO	4,3	5	NO	70	NO
10	151	50,8	52,5	54,8	60	NO	2,3	5	NO	70	NO
11	140	51,6	47,9	53,1	60	NO	5,2	5	SI	70	NO
12	98	55,0	53,3	57,2	60	NO	3,9	5	NO	70	NO
13	51	61,5	51,9	62,0	60	SI	10,1	5	SI	70	NO
14	57	60,4	49,2	60,7	60	SI	11,5	5	SI	70	NO
15	20	72,6	57,3	72,8	65	SI	15,5	5	SI	70	SI

Codice ricettore	distanza sorgente- ricettore	livello attività	livello ante operam	livello totale	Limiti di zona day	Superam.	Leq differenz.	Limiti diff.	Superam.	Limite attività	Superam.
	(m)	(dB)	(dB)	(dB)	dBA	-	dBA	dBA	-	dBA	-
16	35	65,6	54,6	65,9	65	SI	11,3	5	SI	70	NO
17	98	55,0	50,7	56,4	60	NO	5,7	5	SI	70	NO
18	163	50,1	49,4	52,8	60	NO	3,4	5	NO	70	NO
19	60	59,8	40,4	59,9	60	NO	19,5	5	SI	70	NO
20	132	52,1	39,1	52,3	55	NO	13,2	5	SI	70	NO
21	138	51,7	39,4	51,9	55	NO	12,5	5	SI	70	NO
22	57	60,4	51,5	60,9	60	SI	9,4	5	SI	70	NO
23	78	57,2	49,9	58,0	65	NO	8,1	5	SI	70	NO
24	98	55,0	56,2	58,7	65	NO	2,5	5	NO	70	NO
25	15	77,3	63,4	77,5	70	SI	14,1	5	SI	70	SI
26	41	63,8	53	64,2	70	NO	11,2	5	SI	70	NO

Le operazioni di asfaltatura costituiscono una fonte rumorosa, molto impattante sull'ambiente acustico.

Il superamento del limite di $L_{Aeq} = 70$ dBA, di cui alla D.G. della Regione Emilia Romagna n. 2002/45 del 21/1/2002, è superato per i ricettori 15 e 25.

8.4 Considerazioni conclusive

Nella fase di cantiere per la realizzazione della nuova viabilità si verifica per due ricettori, il superamento del limite di $L_{Aeq} = 70$ dBA, di cui alla D.G. della Regione Emilia Romagna n. 2002/45 del 21/1/2002. Si tratta tuttavia di operazioni limitate nel tempo che per ogni ricettore possono essere stimati in non più di 5 giorni lavorativi. In relazione alle situazioni d'impatto elencate in precedenza per la fase di cantiere si prescrivono le seguenti ulteriori misure di mitigazione:

- all'interno dei cantieri le macchine in uso dovranno operare in conformità alle direttive CE in materia d'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto, così come recepite dalla legislazione italiana;
- all'interno degli stessi dovranno comunque essere utilizzati tutti gli accorgimenti tecnici e gestionali al fine di minimizzare l'impatto acustico verso l'esterno;
- le attività dei cantieri devono essere eseguite nei giorni feriali dalle ore 7.00 alle ore 20.00;
- nelle situazioni di elevato impatto acustico, oltre i limiti previsti dalla legislazione vigente, la ditta appaltatrice dei lavori si deve impegnare a comunicare preventivamente ai residenti, le fasce orarie e i periodi nei quali si eseguiranno attività molto rumorose;
- la comunicazione deve essere inviata con congruo anticipo e deve essere contestualizzata con l'andamento reale delle lavorazioni;
- nelle situazioni di elevato impatto acustico si dovranno posizionare barriere antirumore mobili.

9 COMPONENTE VIBRAZIONI

Nel capitolo presente capitolo si sviluppa una descrizione dettagliata degli impatti attesi in fase di cantiere per la componente ambientale “vibrazioni”.

9.1 Riferimenti normativi

In materia di vibrazioni risulta assente una normativa italiana di settore, perciò è necessario prendere a riferimento gli standard tecnici quali Norme UNI o Norme ISO:

- UNI 9614 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”;
- UNI 9916 “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni negli edifici”;
- ISO 2631/1 e 2631/2 “Evaluation of human exposure to whole-body vibration”.

Il problema della percezione umana alle vibrazioni in termini di limiti di danno sono trattati negli allegati della norma UNI 9916, e risultano più elevati, a ciascuna frequenza, dei limiti di percezione individuati dalla norma UNI 9614.

A questo proposito, la sensibilità umana è variabile con la frequenza, e dipende dall'asse cartesiano considerato rispetto al riferimento relativo al corpo umano. Le curve di sensibilità umana sono codificate dalla norma tecnica UNI 9614, rispetto ai sistemi di riferimento per persone sdraiate, sedute o in piedi, riportato nelle seguenti figure:

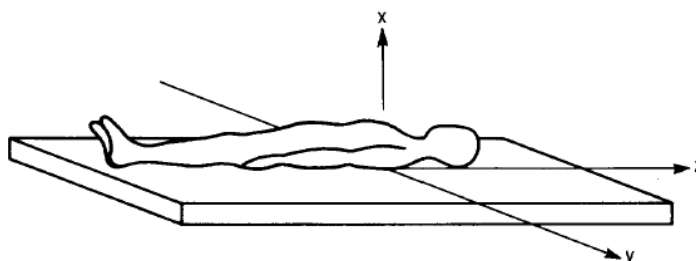


Figura 9.1 – Sistema cartesiano di riferimento per persona coricata

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

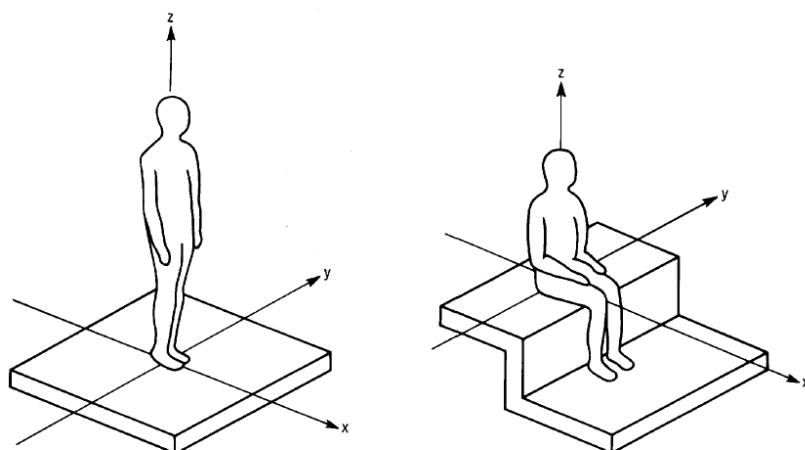


Figura 9.2 – Sistema cartesiano di riferimento per persona in piedi o seduta

La successiva figura mostra l'andamento spettrale delle curve di ponderazione da applicare al segnale di accelerazione rilevato, onde rendere equivalente la percezione umana alle varie frequenze.

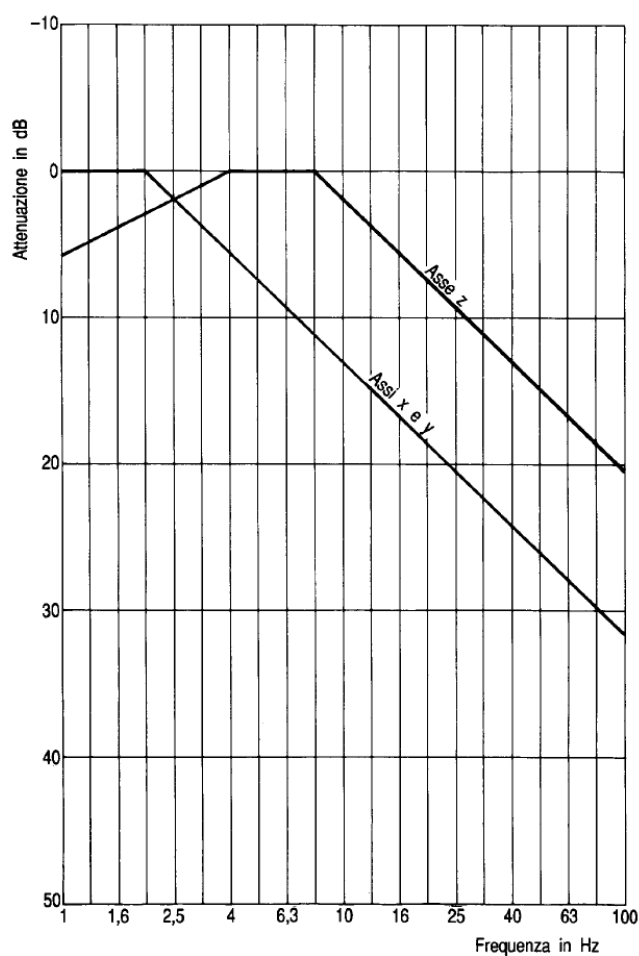


Figura 9.3 – Curva di ponderazione assi X, Y e asse Z

Nel caso considerato, tuttavia, la popolazione si troverà esposta indifferentemente su uno dei tre assi, a seconda della giacitura dei soggetti, che è ovviamente non predeterminale e variabile nel corso delle 24 ore. In tali casi, la norma UNI9614 prevede l'impiego di una curva di ponderazione per asse generico (o meglio, per asse non definibile), che è riportata nella seguente figura.

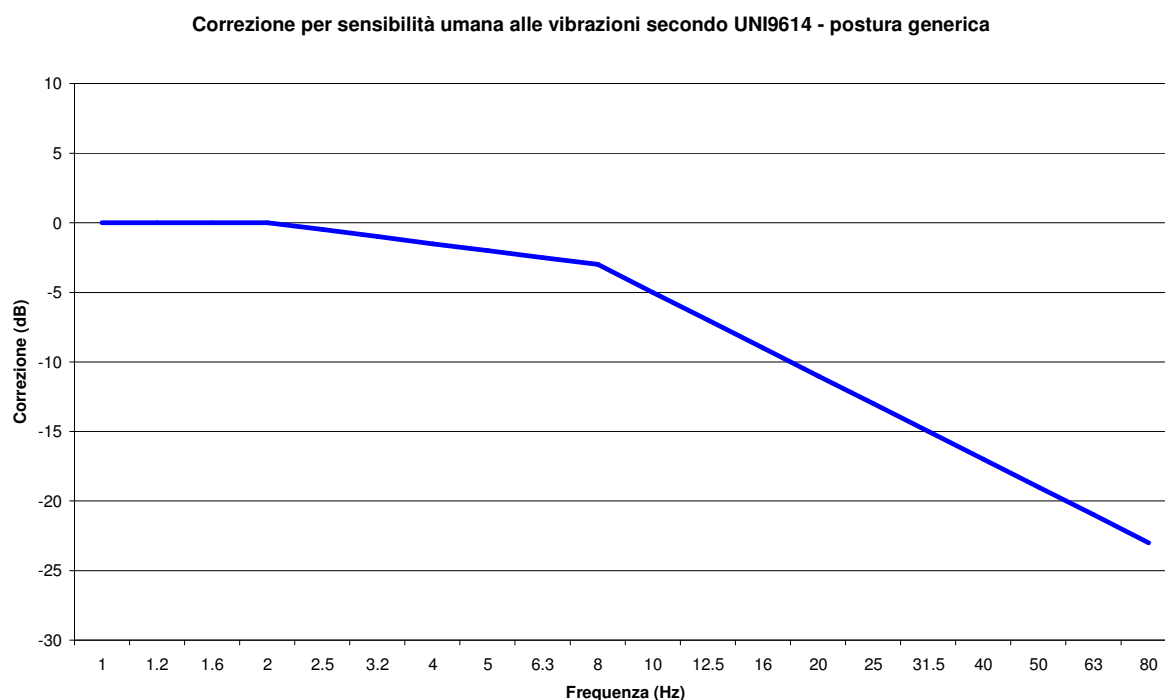


Figura 9.4 – Curva di ponderazione asse generico

Si può notare come questa curva non introduca alcuna variazione ai livelli di accelerazione misurati da 1 a 2 Hz, per poi ridurre progressivamente i valori al crescere della frequenza. A partire dagli 8 Hz, la curva ha una pendenza di 6 dB/ottava, e corrisponde dunque alla conversione fra accelerazione e velocità. Poiché lo spettro tipico di emissione di vibrazioni causate dal transito ferroviario e stradale non contiene energia significativa al di sotto degli 8 Hz, si conclude che la sensibilità umana alle vibrazioni è direttamente proporzionale alla velocità di vibrazione, e non all'accelerazione.

La norma UNI9614 prevede di valutare il livello complessivo di accelerazione ponderata nell'intervallo da 1 ad 80 Hz: se il segnale disturbante è caratterizzato da un'emissione concentrata entro una singola banda di 1/3 di ottava, è sufficiente correggere il valore misurato applicando la correzione riportata in Fig. 3.4 (ad esempio essa vale -19 dB a 50 Hz). Se viceversa lo spettro è continuo ed esteso a più bande, occorre anzitutto calcolare il livello di accelerazione corretto a ciascuna frequenza, indi sommare energeticamente i livelli di accelerazione alle varie frequenze onde ricavare il valore complessivo:

$$L_{acc,w,tot} = 10 \cdot \lg \left[\sum_i 10^{(L_{acc,i} + C_i)/10} \right]$$

Questa metodica rende tuttavia le cose molto complicate in presenza di fenomeni di propagazione che, come abbiamo visto, producono un'attenuazione con la distanza che dipende fortemente dalla frequenza. Occorre, infatti, effettuare un calcolo separato della propagazione a ciascuna frequenza, e ricalcolare poi, punto per punto, il livello di accelerazione complessiva ponderata.

La valutazione della propagazione con la distanza, e conseguentemente l'individuazione delle aree ove si verificano livelli di accelerazione ponderata in eccesso al limite di accettabilità individuato dalla norma UNI9614, è quindi effettuata con la metodologia multifrequenza, come dettagliatamente illustrato nei successivi capitoli.

La norma UNI 9614 (punto 3.3) suddivide gli edifici in base alla loro destinazione d'uso in 4 classi, ipotizzando quindi una differente sensibilità alle vibrazioni:

- aree critiche (per es. camere operatorie ospedaliere, laboratori, locali in cui si svolgono lavori manuali delicati, etc).
- abitazioni;
- uffici;
- fabbriche.

La stessa norma, al punto 5, stabilisce quale soglia di percezione delle vibrazioni i seguenti valori:

- 5 mm/sec² (74 dB) per l'asse z;
- 3,6 mm/sec² (71 dB) per gli assi x e y.

Ancora la norma UNI, al punto A1 dell'appendice A, ai fini della valutazione del disturbo dovuto a vibrazioni, indica dei limiti per le accelerazioni con riferimento alla tollerabilità a fenomeni vibratorii, per i diversi assi e per le 4 classi di edifici:

Tabella 9.1: Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per l'asse z.

Ricettore	a (m/s ²)	L (dB)
aree critiche	5.0 10 ⁻³	74
Abitazioni (notte)	7.0 10 ⁻³	77
Abitazioni (giorno)	10.0 10 ⁻³	80
Uffici	20.0 10 ⁻³	86
Fabbriche	40.0 10 ⁻³	92

Tabella 9.2: Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per gli assi x e y

Ricettore	a (m/s ²)	L (dB)
aree critiche	3.6 10 ⁻³	71
abitazioni (notte)	5.0 10 ⁻³	74
abitazioni (giorno)	7.2 10 ⁻³	77
Uffici	14.4 10 ⁻³	83
Fabbriche	28.8 10 ⁻³	89

La norma UNI9614 definisce infine il valore numerico del limite di accettabilità per edifici residenziali, corrispondente ad un valore del livello di accelerazione complessiva, ponderata secondo asse generico, pari a 74 dB per il periodo notturno. La norma stabilisce inoltre che, per edifici residenziali, nel periodo diurno sono ammissibili livelli di vibrazioni superiori (77 dB anziché 74).

Tale limite è da intendersi riferito al livello di accelerazione (ponderata per asse generico) rilevata sul pavimento degli edifici, quindi alla presenza dei fenomeni di attenuazione/amplificazione propri dell'edificio stesso, descritti al successivo cap. 9.2.

I livelli di accelerazione al suolo tali da non indurre il superamento del valore limite all'interno degli edifici dovranno essere più bassi di alcuni dB (tipicamente 5).

Concludendo il limite di accettabilità per un edificio ad uso residenziale è cautelativamente pari a 69 dB.

9.2 Metodologia

Il fenomeno delle vibrazioni è stato analizzato per i moti delle strutture edili con frequenze comprese fra 1 e 80 Hz. La caratterizzazione è effettuata in termini di valore medio efficace (RMS) della velocità (mm/s) e dell'accelerazione (in mm/s²): la velocità è il parametro per valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici, mentre l'accelerazione è quello per valutare la percezione umana. Per la misurazione delle vibrazioni, si utilizzano normalmente accelerometri, che ovviamente forniscono il livello di accelerazione.

I valori dell'accelerazione "a" sono agevolmente trasformabili nei corrispondenti valori di velocità "v", nota la frequenza "f", tramite la relazione:

$$v = \frac{a}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

Convenzionalmente, in analogia con le analisi del rumore, i valori di velocità dell'accelerazione sono valutabili sulla scala dei dB, tramite le relazioni:

$$L_{acc} = 20 \cdot \lg \left[\frac{a}{a_0} \right] \qquad L_{vel} = 20 \cdot \lg \left[\frac{v}{v_0} \right]$$

Nelle quali compaiono i valori di riferimento $a_0 = 0.001 \text{ mm/s}^2$ e $v_0 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s}$.

Va osservato che un determinato evento vibratorio dà luogo, in generale, a valori in dB di accelerazione e velocità del tutto diversi, in funzione dalle frequenze interessate.

Il passaggio continuo di veicoli sopra un'arteria stradale è fonte d'emissione di vibrazioni nel terreno circostante. Esse possono propagarsi agli edifici situati entro distanze limitate in relazione alla natura del terreno o suolo e dai livelli di vibrazione indotti sul pavimento stradale.

L'origine fisica del fenomeno è la stessa che causa l'emissione primaria di rumore.

L'eccitazione è principalmente in senso verticale, ma nel corso della propagazione nel terreno e dell'interazione con gli edifici possono svilupparsi rilevanti componenti di movimento anche in senso orizzontale.

9.2.1 Propagazione delle vibrazioni nel terreno

Le vibrazioni si propagano nel terreno circostante, alla zona della sorgente, subendo un'attenuazione dipendente dalla natura del terreno, dalla frequenza del segnale, e dalla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto.

Si deve distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale:

- a) Onde di compressione (onda P)
- b) Onde di taglio (onda S)
- c) Onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L)

I primi due tipi sono onde di volume ("body-waves"), mentre le onde di superficie, come dice il nome, si propagano sull'interfaccia fra due strati con diverse proprietà meccaniche, principalmente quindi sulla superficie di separazione fra terreno ed aria. La seguente figura mostra schematicamente i diversi tipi di onde.

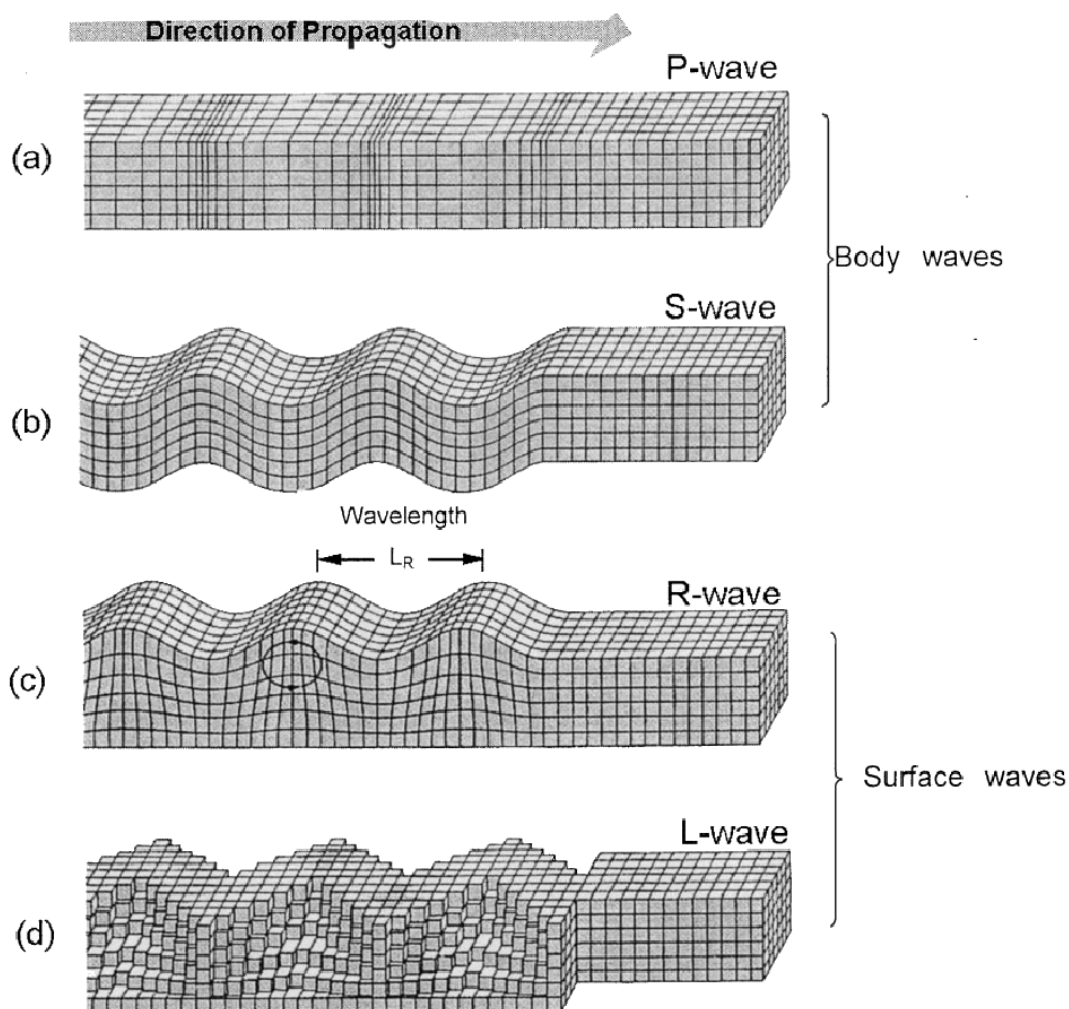


Figura 9.5 – Vari tipi di onde di volume e di superficie.

Va anche osservato che il tipo d) (onde L) non è facilmente eccitato dal transito veicolare, in quanto richiederebbe l'imposizione di moti orizzontali alla fonte delle vibrazioni. Nella pratica, in caso di fondazioni dirette (linea a raso o in rilevato, o nel caso dei viadotti con fondazioni superficiali dirette), si può ritenere un predominio delle onde di superficie, in particolare di tipo R che corrono sull'interfaccia suolo-aria. Nel caso invece di fondazioni profonde (ad es. Pali) si hanno anche onde di compressione e di taglio e le onde di superficie R tendono a correre sulle superfici di separazione fra strati diversi del terreno.

Va inoltre osservato che la velocità di propagazione dei diversi tipi di onde non è la stessa: le onde di compressione (onde P) sono le più veloci, mentre le onde di taglio e di superficie viaggiano con velocità più basse, in dipendenza del valore del modulo di Poisson del terreno. La seguente figura mostra il rapporto fra velocità di propagazione delle onde P ed R riferito alla velocità di propagazione delle onde di superficie S.

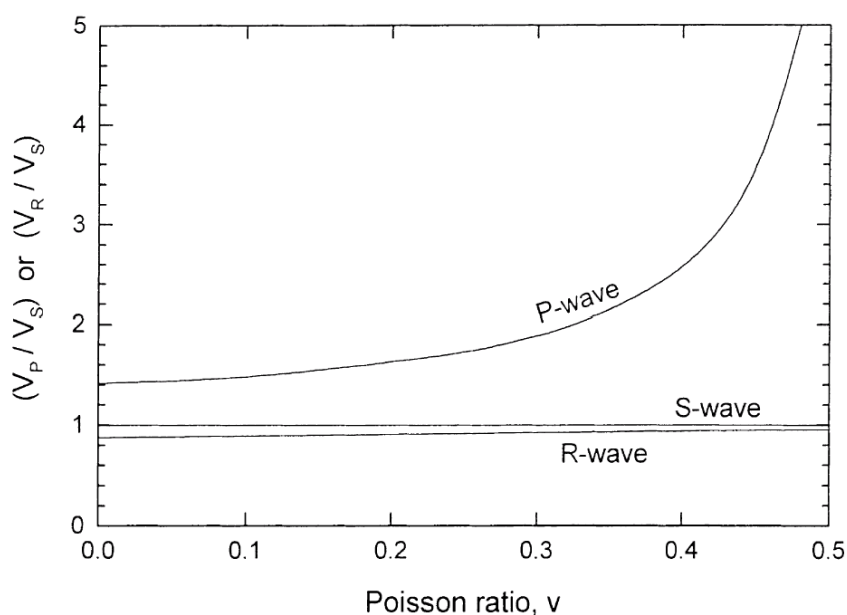


Figura 9.6 – Velocità relativa delle onde P ed R rispetto alle onde S

Il modello di propagazione impiegato, valido per tutti tre i tipi di onde considerati (P, S, R) è basato sulla seguente formulazione:

$$a(d, f) = a(d_0, f) \cdot \left(\frac{d_0}{d} \right)^n \cdot e^{-2\pi \cdot f \cdot \eta / c \cdot (d - d_0)}$$

dove:

η = fattore di perdita del terreno;

c = velocità di propagazione in m/s

f = frequenza in Hz;

d = distanza in m;

d_0 = distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione, assunta pari a 5 m .

L'esponente "n" varia secondo il tipo di onda e di sorgente di vibrazioni (v. Tab. 3.3).

La propagazione delle onde vibrazionali è modellata adottando le seguenti ipotesi:

- La zona di cantiere (dove è prevista la realizzazione del muro in calcestruzzo e del rilevato arginale) è considerata come una sorgente emittente la cui lunghezza corrisponde alla lunghezza dei mezzi d'opera utilizzati nelle varie fasi lavorative;
- la propagazione dell'energia vibrazionale avviene sulla superficie del suolo per mezzo di onde di Rayleigh, la cui ampiezza decresce esponenzialmente in direzione verticale, perpendicolarmente alla superficie del suolo. L'effetto delle onde primarie, secondarie e di Love è trascurato;

- Ogni sorgente emette energia vibrazionale in superficie in modo omnidirezionale.

Tabella 9.3: Valori del coefficiente di attenuazione in relazioni ai vari tipi di onde

Values of attenuation coefficient due to radiation damping for various combinations of source location and type (from Ref. [9])

Source location	Source type	Induced wave	n
Surface	Point	Body wave	2.0
		Surface wave	0.5
	Infinite line	Body wave	1
		Surface wave	0
In-depth	Point	Body wave	1.0
	Infinite line		0.5

Sulla base di quanto affermato emerge che le condizioni maggiormente critiche in termini di impatto da vibrazione si manifestano per sorgenti concentrate, con esponente $n = 0.5$ per le onde di superficie (predominanti in caso di sorgente posta in superficie), e $n = 1$ per le onde di volume (predominanti in caso di sorgente profonda, come nel caso di fondazione su pali).

Emerge quindi che la propagazione delle vibrazioni, a partire da una sorgente posta in profondità, è dotata, anche nel caso di terreno omogeneo, di una più rapida attenuazione al crescere della distanza dalla sorgente medesima.

Il termine esponenziale $e^{-2\pi \cdot f \cdot \eta / c \cdot (d-d_0)}$ descrive il fenomeno di dissipazione energetica in calore, che cresce proporzionalmente alla frequenza. In altri termini le vibrazioni alle alte frequenze si estinguono dopo un breve percorso, mentre quelle alle frequenze più basse si propagano a distanze maggiori. Il rapporto η/c dipende dal tipo di terreno, ed assume valori elevati nel caso di suoli soffici, mentre assume valori molto modesti nel caso di pavimentazioni rigide in CLS.

A titolo illustrativo, la seguente figura mostra l'attenuazione del livello di accelerazione in funzione della distanza dalla sorgente e della frequenza, avendo ipotizzato un valore di velocità di propagazione "c" pari a 200 m/s ed un fattore di smorzamento pari a $\eta = 0,05$. Tali valori sono abbastanza tipici di terreni fini argillosi e limosi mediamente compatti e di terreni sabbiosi da sciolti a mediamente densi, per propagazione superficiale.

Dalla figura si può osservare come a bassa frequenza l'attenuazione sia modesta anche a distanze notevoli, mentre a frequenze più elevate a qualche decina di metri di distanza dalla sorgente le attenuazioni sono molto grandi.

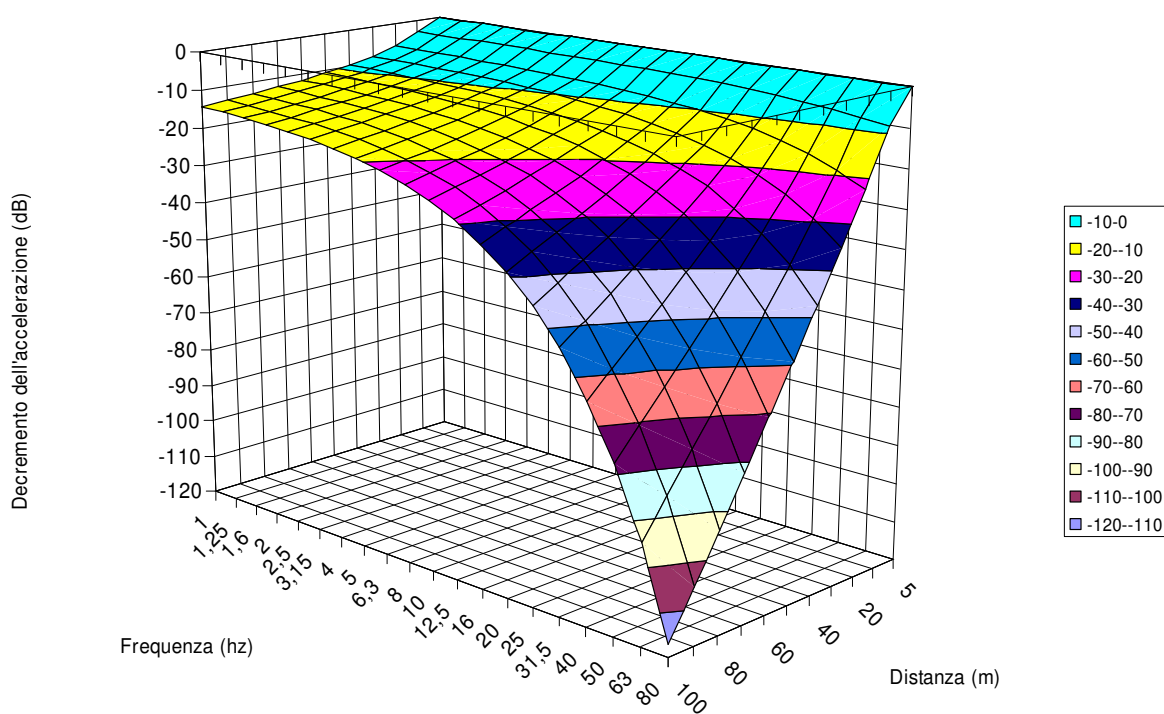


Figura 9.7 – Attenuazione in funzione della frequenza e della distanza per onde superficiali.

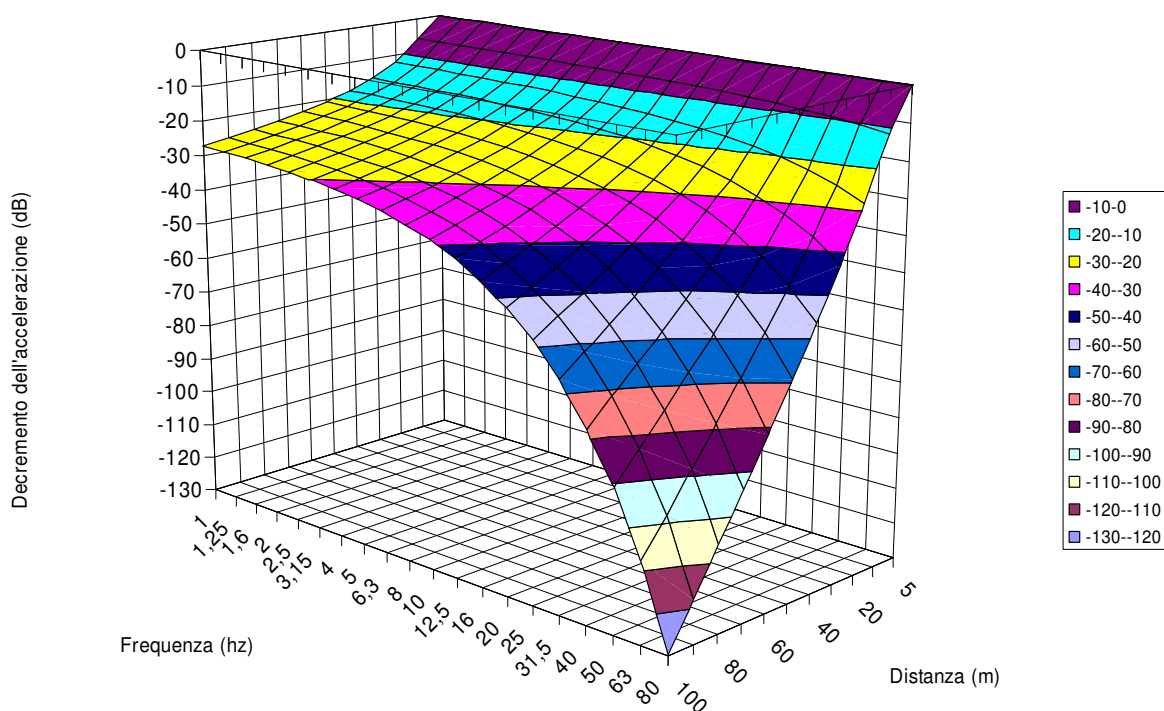


Figura 9.8 – Attenuazione in funzione della frequenza e della distanza per onde di volume.

Si deve anche tenere conto che, se nel terreno si hanno superfici di separazione fra strati con diversa impedenza meccanica, una quota di energia è riflessa da tali superfici di discontinuità e non è quindi

percepita al di là di esse. In particolare, se l'eccitazione avviene al di sotto dello strato superficiale sovraconsolidato, l'interfaccia fra esso ed il terreno incoerente sottostante riduce l'ampiezza delle vibrazioni che riescono ad attraversare tale interfaccia. Il fattore che esprime tale attenuazione, sempre minore di 1, è legato al rapporto fra le impedenze dei due strati (si rammenta che l'impedenza è data dal prodotto fra la velocità di propagazione delle onde di taglio e la densità del materiale). Esso è espresso dalla seguente relazione:

$$F_r = \frac{1 + \frac{\rho_2 \cdot c_2}{\rho_1 \cdot c_1}}{2}$$

In cui il pedice 1 si riferisce al materiale con impedenza più bassa dei due. Se ad esempio consideriamo l'interfaccia fra uno strato profondo soffice ed incoerente, con densità ρ_1 pari a 1850 kg/m³ ed una velocità di propagazione delle onde di taglio pari a 150 m/s, ed uno strato superficiale sovraconsolidato, con densità ρ_2 pari a 1900 kg/m³ e velocità di propagazione pari a 400 m/s, si ha un fattore di attenuazione per riflessione F_r pari a 0,68, cioè pari a -3.3 dB.

9.2.2 Attenuazioni ed amplificazioni nella struttura degli edifici

Il modello semplificato di propagazione illustrato nel precedente paragrafo si riferisce ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, supposto omogeneo ed isotropo (perlomeno all'interno di ogni strato). In presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi di fondazione di vario genere, accade che i livelli di accelerazione riscontrabili all'interno degli edifici stessi possono presentare sia attenuazioni, sia amplificazioni rispetto ai livelli sul terreno.

In particolare, diversi sistemi di fondazione producono un'attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante; tale aspetto è legato al fatto che l'interfaccia terreno-struttura non è perfettamente solidale, e pertanto genera fenomeni dissipativi. Detto fenomeno è condizionato dalla tipologia delle fondazioni (a platea, su plinti isolati, su travi rovescie, su pali, etc.). Nel caso di fondazioni a platea la grande area di contatto con il terreno determina una perdita di accoppiamento praticamente di 0 dB alle basse frequenze, sino alla frequenza di risonanza della fondazione.

Per le altre tipologie di fondazioni possono essere utilizzate curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione della fondazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno (figura 3.9).

Va inoltre preso in esame il fenomeno della risonanza strutturale di elementi dei fabbricati, in particolare dei solai: allorché la frequenza di eccitazione coincide con la frequenza naturale di oscillazione libera della struttura, la stessa manifesta un rilevante aumento dei livelli di vibrazione rispetto a quelli presenti alla base della stessa.

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

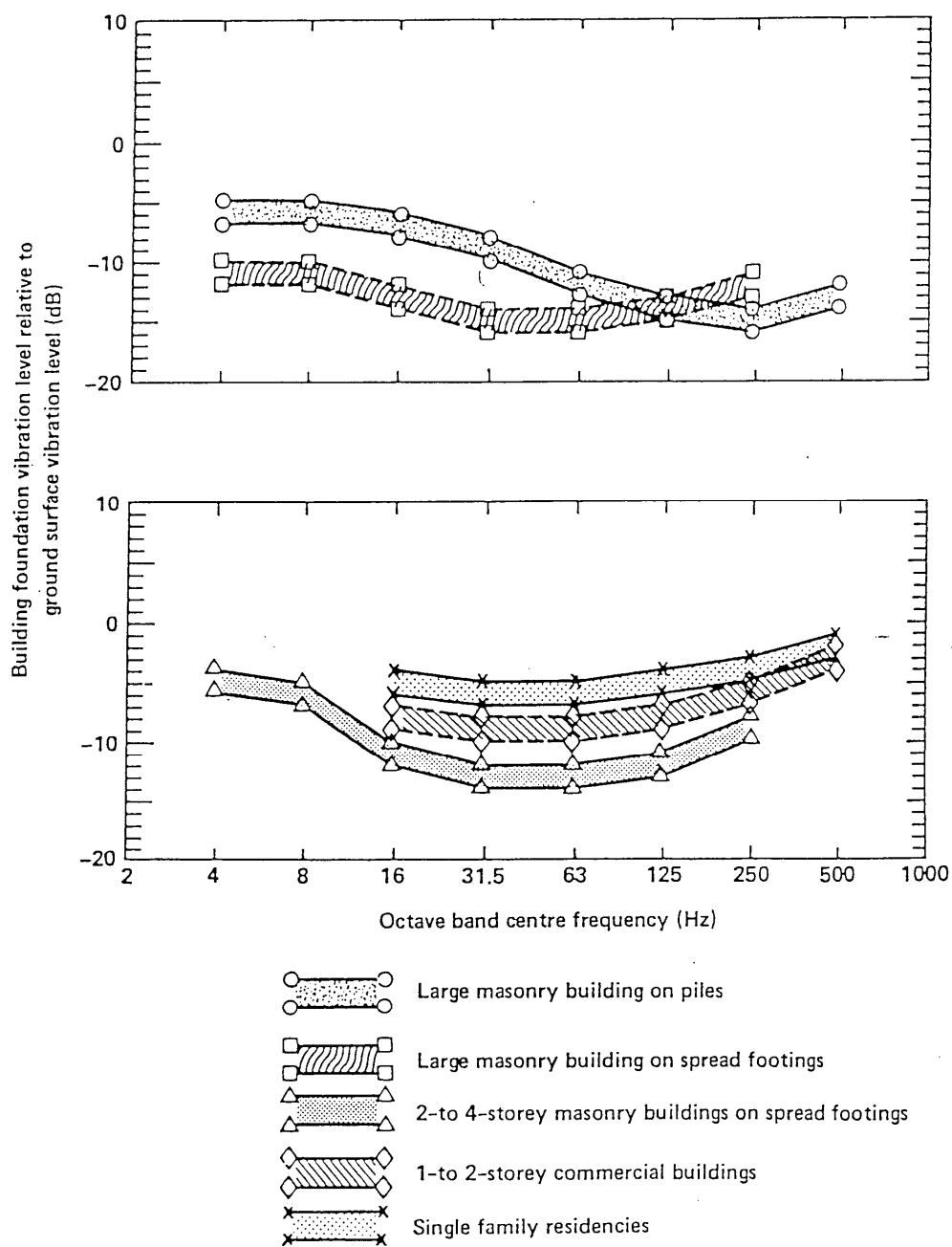


Figura 9.9 – Attenuazione dovuta a diversi tipi di fondazione

In fig. 9.10 è evidenziato il possibile campo di amplificazione delle vibrazioni dovuto alla risonanza dei solai, che come si nota oscilla fra 5 e 12 dB nel campo di frequenze rilevanti dal punto di vista del traffico stradale.

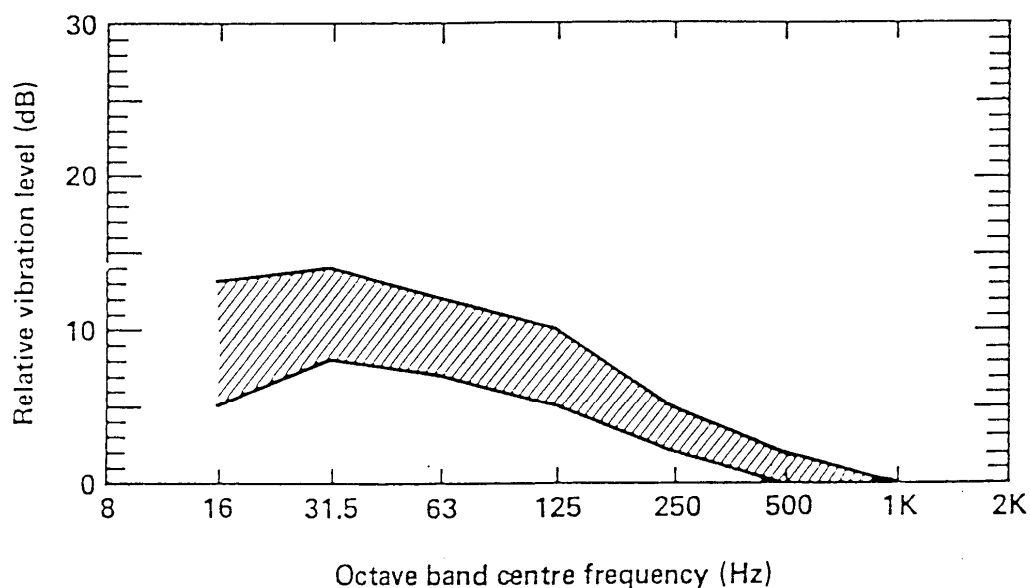


Figura 9.10 – Amplificazione prodotta dai solai

Fortunatamente passando da ogni piano a quello sovrastante si verifica una progressiva riduzione dei livelli di vibrazione trasmessi. La fig. 9.11 mostra il campo di variabilità tipico di tale attenuazione interpiano.

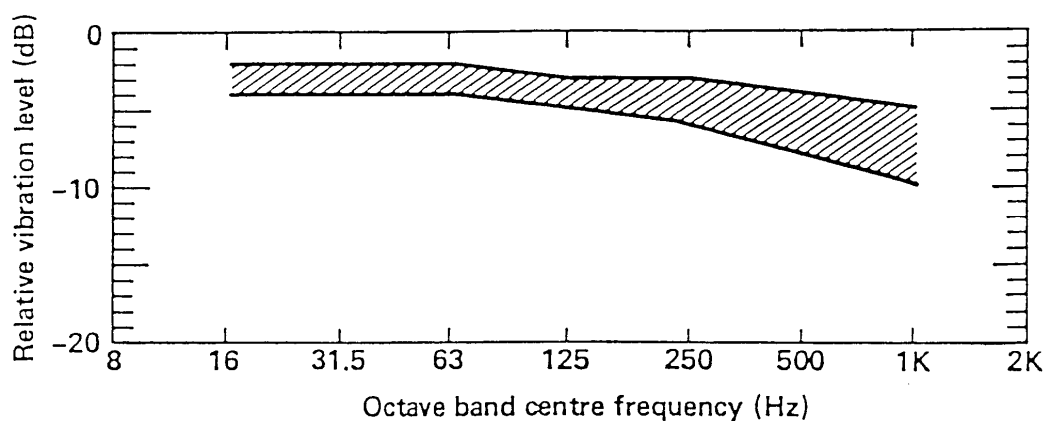


Figura 9.11 – Attenuazione da un piano al successivo

Un'analisi dei dati disponibili in bibliografia mostra che:

- in base ai dati prodotti dalle Ferrovie Tedesche, e desumibili dalla norma DIN 4150, gli incrementi per risonanza possono essere dell'ordine di 3 – 8 volte, con rari casi fino a 15 volte;
- le misure di Ishii e Tachibana mostrano un'attenuazione interpiana che varia progressivamente da 3 dB ai piani bassi sino a 1 dB negli ultimi piani di un edificio a 10 piani con struttura in CLS armato e acciaio;

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

- le misure effettuate dalle Ferrovie Svizzere hanno mostrato che mediamente i livelli di accelerazione misurati sui pavimenti sono superiori di circa 5 dB rispetto a quelli misurati sul terreno, in alcuni casi si può arrivare ad un incremento anche di 20 dB nel caso del pavimento del piano terra con frequenza di risonanza di circa 40 Hz.

E' ovvio quindi come l'effetto complessivo di questi fenomeni possa in genere portare ad una variazione dei livelli di vibrazione, misurati al centro dei solai, da 0 a +12 dB rispetto ai livelli sul terreno.

Una stima dell'effetto locale di riduzione/amplificazione di ciascun edificio è possibile parametrizzando gli effetti combinati secondo il seguente schema.

Innanzitutto si valuta l'attenuazione delle fondazioni. Essa è assunta pari a 0 dB per le fondazioni a platea, a 3 dB per fondazioni su travi rovescie in CLS, ed a 5 dB nel caso di fondazioni in muratura o comunque nel caso di fondazioni che non abbiano capacità di immorsamento.

Si valuta poi l'amplificazione dovuta alla risonanza dei solai. Il valore di base assunto è un'amplificazione di 5 dB per solai in latero-cemento con frequenza propria di 20 Hz. A questo valore di base si aggiungono i seguenti effetti:

- Effetto della variazione della frequenza di risonanza: se la stessa è maggiore di 20 Hz e minore di 40 Hz, si incrementa linearmente il valore di base, che viene fatto variare da 5 dB a 20 Hz sino a 20 dB a 40 Hz

- Effetto dell'incastro del solaio:

Appoggio semplice	-2.0	dB
Incastro imperfetto	0.0	dB
Incastro perfetto	+5.0	dB

- Rapporto rigidezza/peso specifico del materiale

Solaio in laterocemento	0.0	dB
Volte o archi in muratura	-4.0	dB

- Spessore del solaio:

h = 40 cm	+8.0	dB
h = 30 cm	+3.0	dB
h = 24 cm	0.0	dB
h = 12 cm	-2.5	dB

- Luce del solaio

L = 10 m	-4.0	dB
L = 7 m	-3.0	dB
L = 5 m	-2.0	dB
L = 4 m	0.0	dB

L = 3.5 m +3.0 dB

L = 3.0 m +8.0 dB

- Attenuazione interpiano: si assume prudenzialmente una riduzione di 1 dB per ogni piano al di sopra del piano terra.

Sulla base delle parametrizzazioni suddette, diviene possibile stimare in maniera approssimata per ogni edificio, note le sue caratteristiche costruttive, l'eventuale effetto di amplificazione massima sul solaio più sfavorito.

9.3 Sorgente di vibrazioni

Lo spettro di emissione dei macchinari di cantiere e dei mezzi che percorrono il 3° tronco della Tangenziale di Busseto è stato reperito dalla bibliografia specializzata "L.H. Watkins - "Environmental impact of roads and traffic" - Appl. Science Publ., che alle pagine 231-241 riporta una serie di dati sperimentali sull'emissione di vibrazioni da parte di svariati tipi di mezzi.

Da tale raccolta di dati è stato estratto lo spettro di emissione dei seguenti mezzi elencati peraltro nel precedente capitolo 1.5:

- autocarro: spettro di emissione illustrato in Fig. 9.12;
- compattatore a rullo vibrante: spettro di emissione illustrato in Fig. 9.13;
- pala cingolata: spettro di emissione illustrato in Fig. 9.14;
- pala gommata: spettro di emissione illustrato in Fig. 9.15.

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

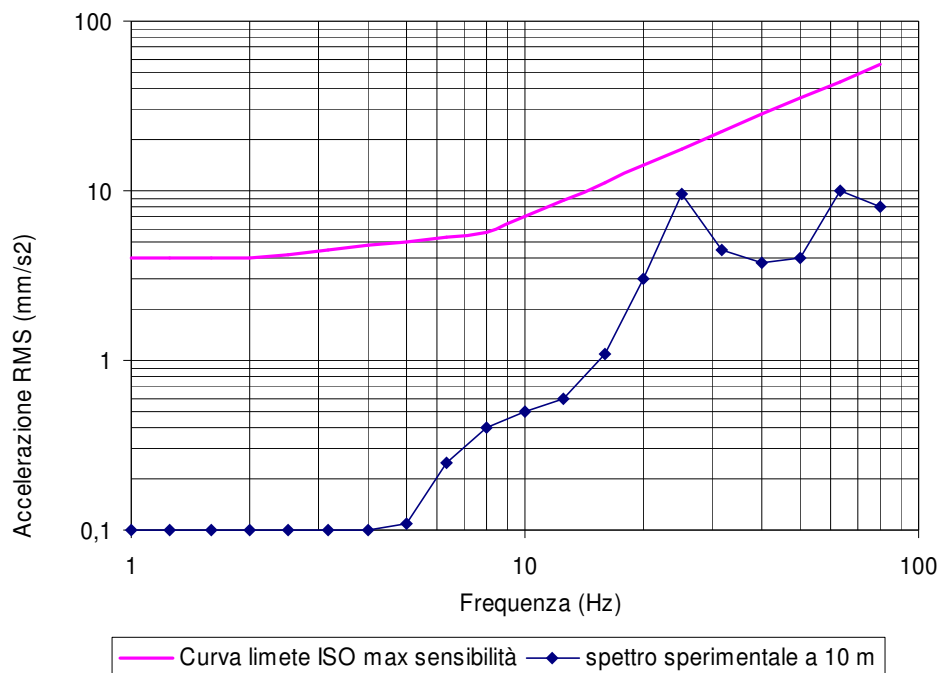


Figura 9.12 - Spettro di emissione della sorgente di un autocarro

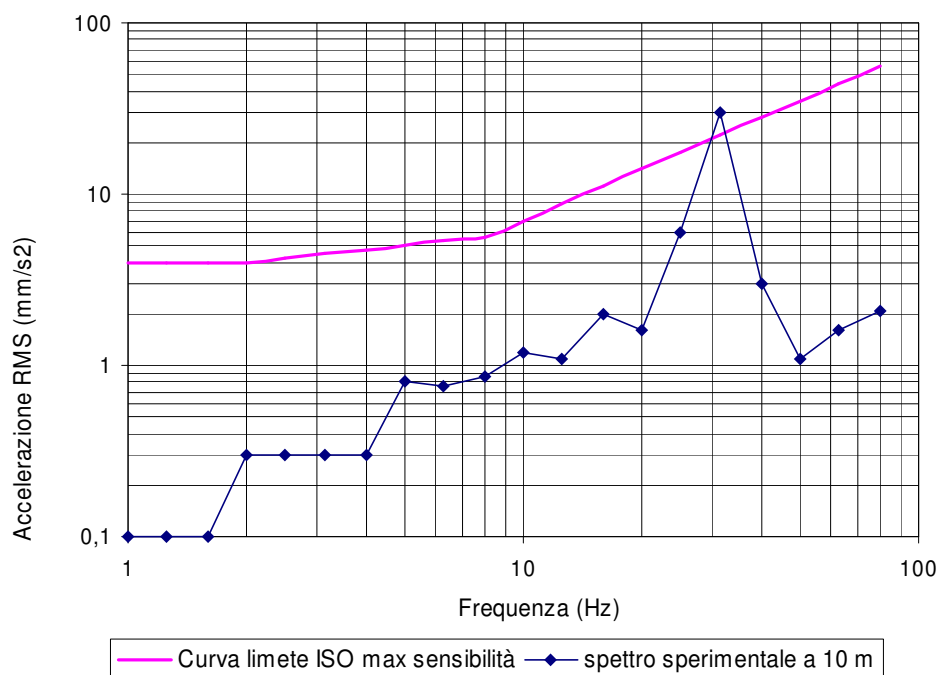


Figura 9.13 - Spettro di emissione della sorgente di un compattatore a rullo vibrante

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

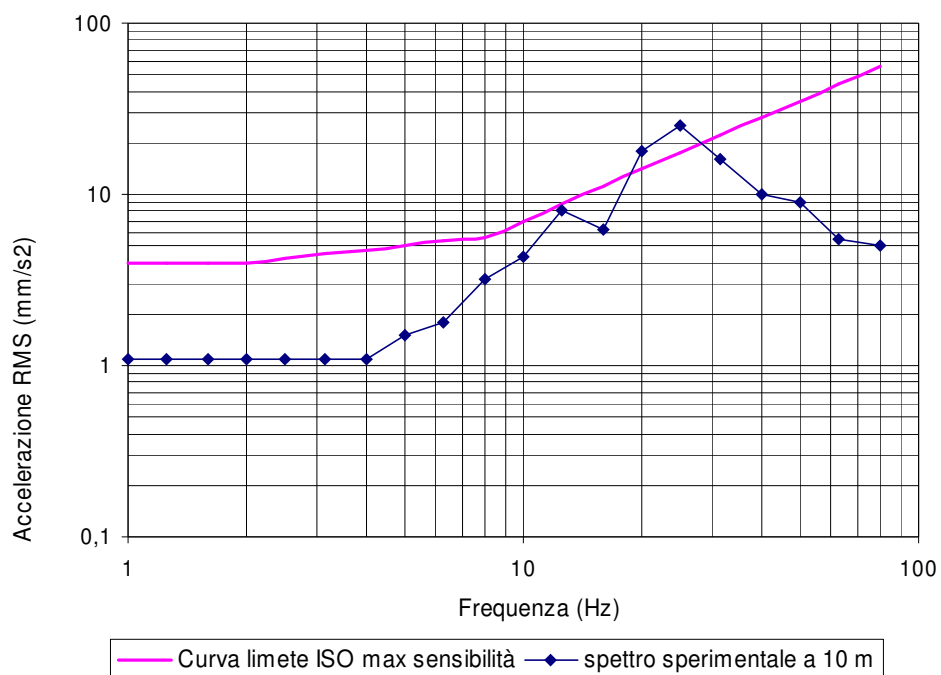


Figura 9.14 - Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata

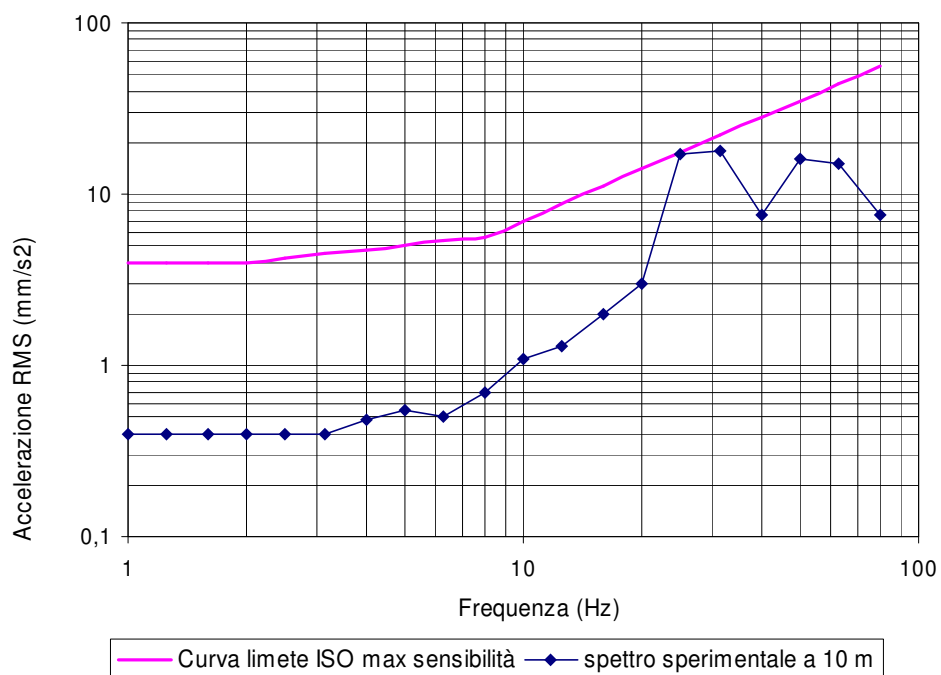


Figura 9.15 - Spettro di emissione della sorgente di una pala gommata

9.4 Proprietà meccaniche del terreno

Il tracciato della tangenziale di Busseto, in tutto il suo sviluppo, copre un'area di grande estensione che ricade completamente nei depositi di canale fluviale e argine prossimale. Si tratta di un'unità geologica, rientranti nell'arco temporale dell'Olocene, costituita da litologie a comportamento coesivo.

In particolare l'opera per tutto il suo sviluppo è caratterizzata da terreni di fondazione prevalentemente argillosi e limosi con locali intercalazioni di limi sabbiosi e/o argille organiche.

Sulla base delle litologie affioranti sono riportate in seguito le principali caratteristiche geotecniche stimate in riferimento ai dati reperibili dalla letteratura specializzata:

- Peso di volume - $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata - $C_u = 40 - 60 \text{ kPa}$
- Angolo di resistenza al taglio - $\phi' = 28 - 33 (^{\circ})$
- Coefficiente di Poisson - $\nu = 0,3 - 0,4$
- Velocità onde di superficie $V_R = 166 \text{ m/s}$
- Velocità onde di taglio $V_S = 180 \text{ m/s}$

9.5 Valutazione della propagazione della propagazione delle vibrazioni

La valutazione della propagazione delle vibrazioni è sviluppata implementando la sorgente di vibrazione (mezzo di trasporto e/o di cantiere) definita nel precedente cap. 9.3 con i dati caratteristici delle onde di superficie relative alle tipologie di terreno affioranti (v. cap. 9.4).

Sulla base dell'utilizzo delle fonti dei dati, è stata derivata la legge di propagazione delle vibrazioni con la distanza.

9.5.1 Propagazione delle vibrazioni indotte da un autocarro

I dati di riferimento dei terreni affioranti sono:

- velocità di propagazione delle onde di superficie: $V_R = 167 \text{ m/s}$;
- fattore di smorzamento: $\eta = 0.05$.

Sulla base di tali dati, utilizzando lo spettro tipico di emissione del mezzo pesante e la legge di propagazione tarati sperimentalmente, è possibile estrapolare lo spettro del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza dall'area di cantiere.

E' stato assunto un valore di emissione di 85.0 dB alla distanza di 10 m dall'asse del cantiere, riferito al passaggio di un mezzo pesante.

La seguente figura mostra la progressiva modifica che lo spettro della sollecitazione subisce al variare della distanza dall'asse del cantiere.

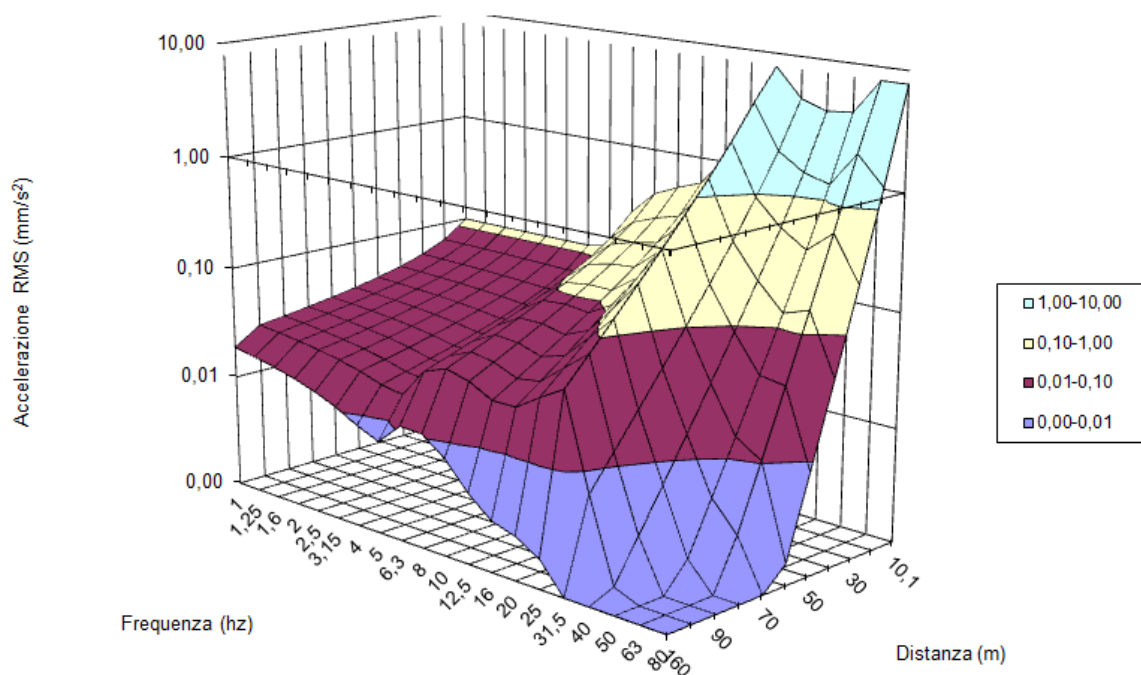


Figura 9.16 – Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza

A ciascuna distanza dall'asse del cantiere diventa a questo punto agevole calcolare il livello complessivo di accelerazione ponderata, come somma dei livelli alle singole frequenze. Operando in questo modo è stata calcolata la legge di variazione del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza dal cantiere, che è mostrata graficamente nella figura seguente.

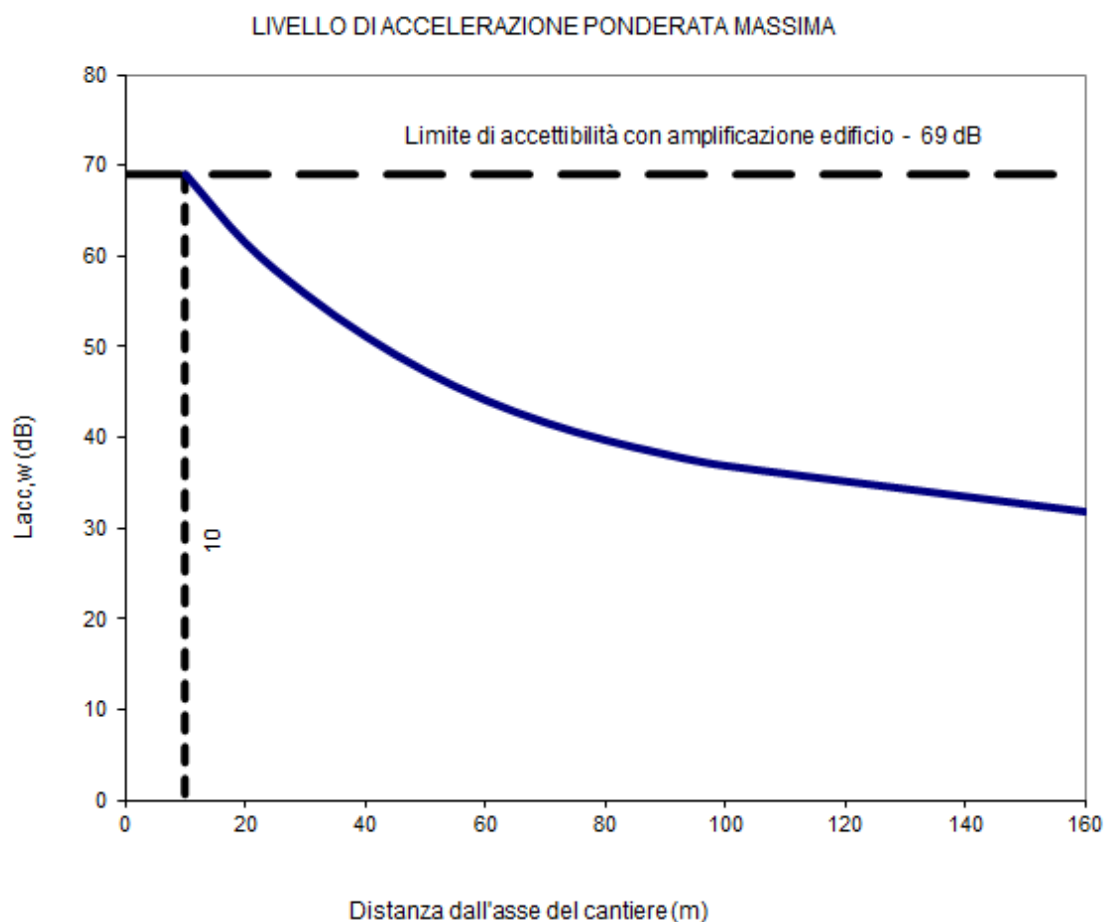


Figura 9.17 – Livello di accelerazione massimo in funzione della distanza dal cantiere

Nella Figura 9.17 è stata anche indicata la linea orizzontale corrispondente al limite di accettabilità (69 dB) tenuto conto dei possibili effetti di amplificazioni prodotti dagli edifici (qui assunti mediamente pari a 5 dB, ma in realtà variabili da edificio ad edificio). Per essere più precisi, il valore esatto della distanza dall'asse del cantiere a cui tale limite prudenziale, pari a $74 - 5 = 69$ dB, è raggiunto e indicato anche numericamente, ad una distanza pari a circa 10,1 m.

Questo significa che tutti i recettori posti a distanze maggiori sono sicuramente esenti da ogni tipo di problematica vibrazionale. In realtà, anche i recettori situati a distanza inferiore ai 10,1 m dall'asse del cantiere non necessariamente saranno caratterizzati da livelli di accelerazione ponderata eccedenti il limite di norma, in quanto non necessariamente si avrà una amplificazione dovuta alla risonanza dei solai dell'ordine dei 5 dB.

9.5.2 Propagazione delle vibrazioni indotte da un rullo vibrante

I dati di riferimento dei terreni affioranti sono:

- velocità di propagazione delle onde di superficie: $V_R = 167$ m/s;
- fattore di smorzamento: $\eta = 0.05$.

Sulla base di tali dati, utilizzando lo spettro tipico di emissione del mezzo pesante e la legge di propagazione tarati sperimentalmente, è possibile estrapolare lo spettro del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza dall'area di cantiere.

E' stato assunto un valore di emissione di 89.8 dB alla distanza di 10 m dall'asse del cantiere, riferito al passaggio di un mezzo pesante.

La seguente figura mostra la progressiva modifica che lo spettro della sollecitazione subisce al variare della distanza dall'asse del cantiere.

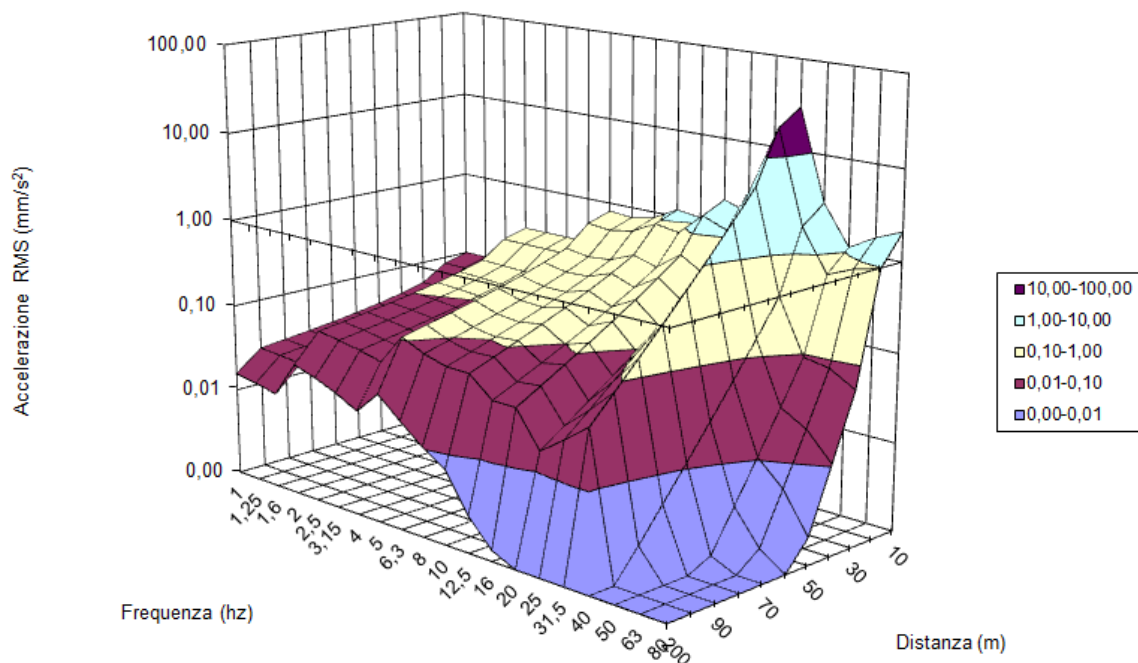


Figura 9.18 – Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza

A ciascuna distanza dall'asse del cantiere diventa a questo punto agevole calcolare il livello complessivo di accelerazione ponderata, come somma dei livelli alle singole frequenze. Operando in questo modo è stata calcolata la legge di variazione del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza dal cantiere, che è mostrata graficamente nella figura seguente.

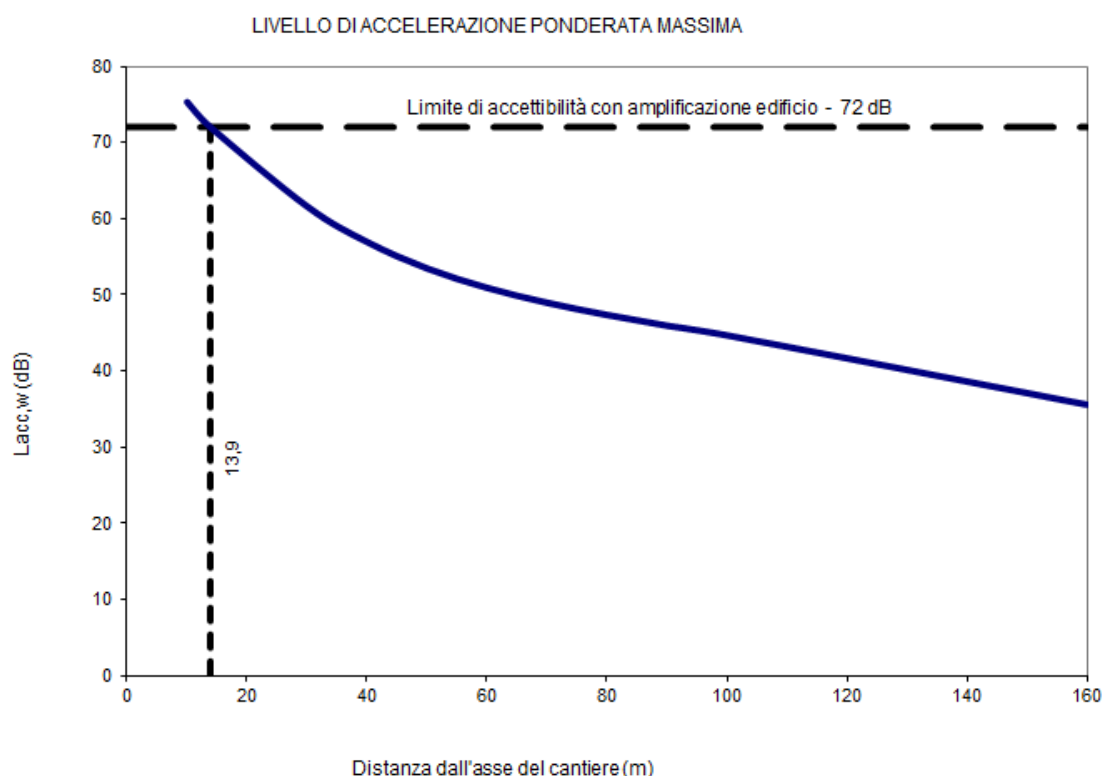


Figura 9.19 – Livello di accelerazione massimo in funzione della distanza dal cantiere

Nella Figura 9.19 è stata anche indicata la linea orizzontale corrispondente al limite di accettabilità (72 dB) tenuto conto dei possibili effetti di amplificazioni prodotti dagli edifici (qui assunti mediamente pari a 5 dB, ma in realtà variabili da edificio ad edificio). Per essere più precisi, il valore esatto della distanza dall'asse del cantiere a cui tale limite prudenziale, pari a $77 - 5 = 72$ dB, è raggiunto e indicato anche numericamente, ad una distanza pari a circa 14 m.

Questo significa che tutti i recettori posti a distanze maggiori sono sicuramente esenti da ogni tipo di problematica vibrazionale. In realtà, anche i recettori situati a distanza inferiore ai 14,0 m dall'asse del cantiere non necessariamente saranno caratterizzati da livelli di accelerazione ponderata eccedenti il limite di norma, in quanto non necessariamente si avrà una amplificazione dovuta alla risonanza dei solai dell'ordine dei 5 dB. I ricettori potenzialmente a rischio sono il n. 15 e il n. 25 (v. Fig. 2.1). Si tratta tuttavia di attità di breve durata.

9.5.3 Propagazione delle vibrazioni indotte da una pala cingolata

I dati di riferimento dei terreni affioranti sono:

- velocità di propagazione delle onde di superficie: $V_R = 167$ m/s;
- fattore di smorzamento: $\eta = 0.05$.

Sulla base di tali dati, utilizzando lo spettro tipico di emissione del mezzo pesante e la legge di propagazione tarati sperimentalmente, è possibile estrapolare lo spettro del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza dall'area di cantiere.

E' stato assunto un valore di emissione di 92.0 dB alla distanza di 10 m dall'asse del cantiere, riferito al passaggio di un mezzo pesante.

La seguente figura mostra la progressiva modifica che lo spettro della sollecitazione subisce al variare della distanza dall'asse del cantiere.

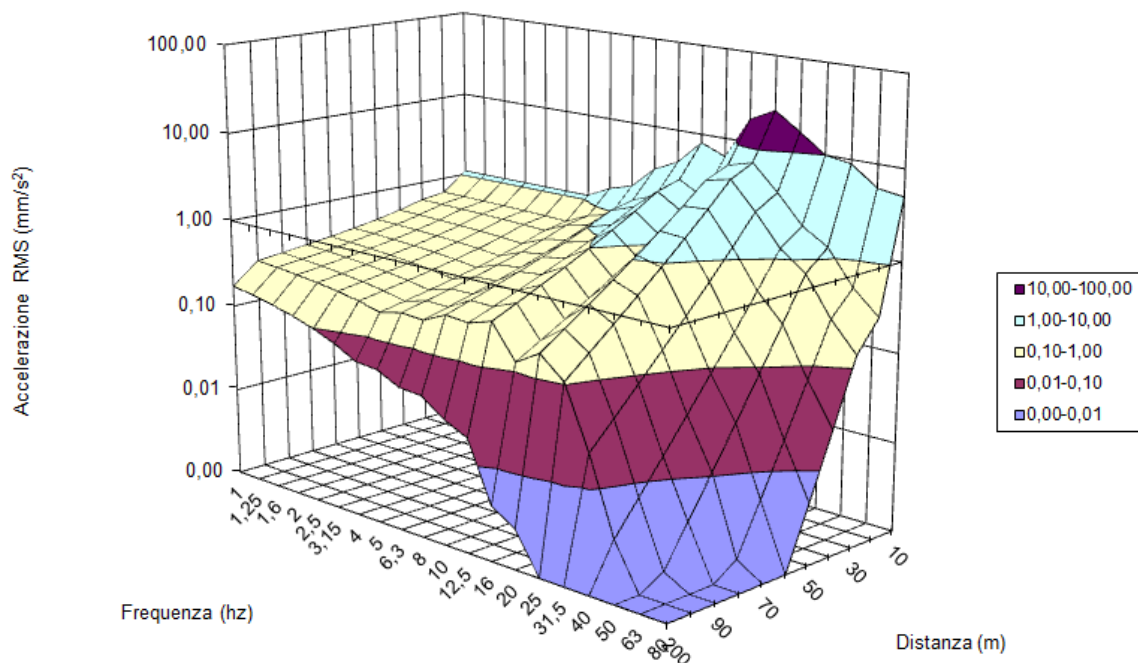


Figura 9.20 – Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza

A ciascuna distanza dall'asse del cantiere diventa a questo punto agevole calcolare il livello complessivo di accelerazione ponderata, come somma dei livelli alle singole frequenze. Operando in questo modo è stata calcolata la legge di variazione del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza dal cantiere, che è mostrata graficamente nella figura seguente.

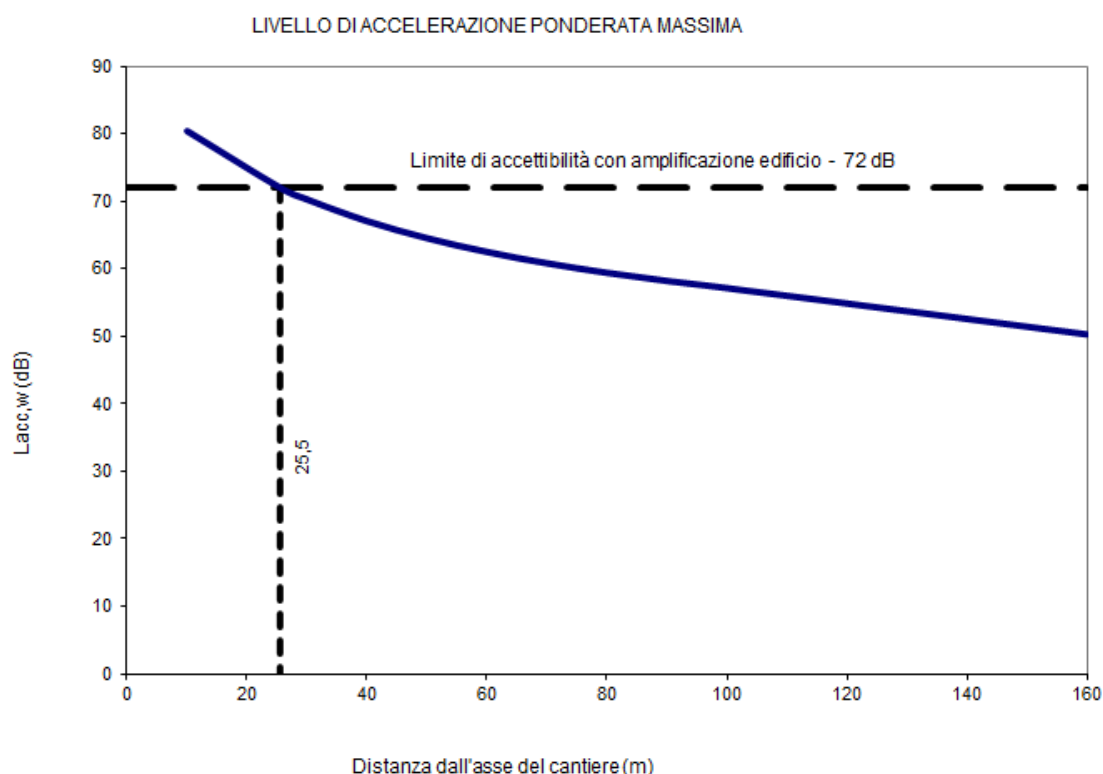


Figura 9.21 – Livello di accelerazione massimo in funzione della distanza dal cantiere

Nella Figura 9.21 è stata anche indicata la linea orizzontale corrispondente al limite di accettabilità (72 dB) tenuto conto dei possibili effetti di amplificazioni prodotti dagli edifici (qui assunti mediamente pari a 5 dB, ma in realtà variabili da edificio ad edificio). Per essere più precisi, il valore esatto della distanza dall'asse del cantiere a cui tale limite prudenziale, pari a $77 - 5 = 72$ dB, è raggiunto e indicato anche numericamente, ad una distanza pari a circa 25,5 m.

Questo significa che tutti i recettori posti a distanze maggiori sono sicuramente esenti da ogni tipo di problematica vibrazionale. In realtà, anche i recettori situati a distanza inferiore ai 25,5 m dall'asse del cantiere non necessariamente saranno caratterizzati da livelli di accelerazione ponderata eccedenti il limite di norma, in quanto non necessariamente si avrà una amplificazione dovuta alla risonanza dei solai dell'ordine dei 5 dB. I ricettori potenzialmente a rischio sono il n. 15 e il n. 25 (v. Fig. 2.1). Si tratta tuttavia di atti di breve durata.

9.5.4 Propagazione delle vibrazioni indotte da una pala gommata

I dati di riferimento dei terreni affioranti sono:

- velocità di propagazione delle onde di superficie: $V_R = 167$ m/s;
- fattore di smorzamento: $\eta = 0.05$.

Sulla base di tali dati, utilizzando lo spettro tipico di emissione del mezzo pesante e la legge di propagazione tarati sperimentalmente, è possibile estrapolare lo spettro del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza dall'area di cantiere.

E' stato assunto un valore di emissione di 90.9 dB alla distanza di 10 m dall'asse del cantiere, riferito al passaggio di un mezzo pesante.

La seguente figura mostra la progressiva modifica che lo spettro della sollecitazione subisce al variare della distanza dall'asse del cantiere.

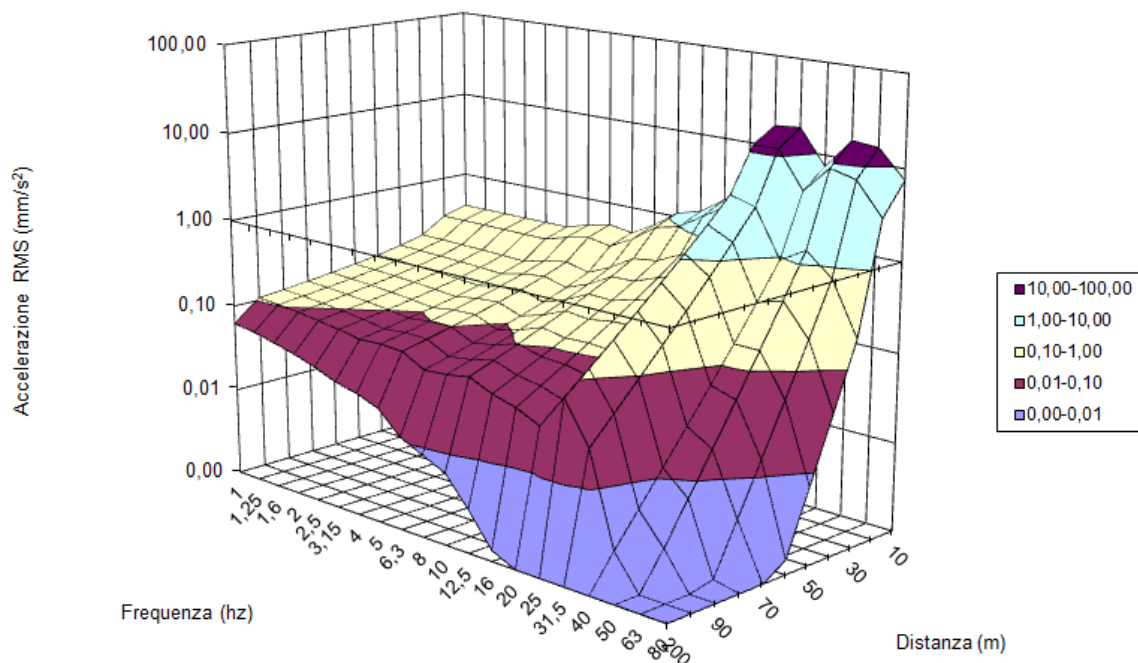


Figura 9.22 – Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza

A ciascuna distanza dall'asse del cantiere diventa a questo punto agevole calcolare il livello complessivo di accelerazione ponderata, come somma dei livelli alle singole frequenze. Operando in questo modo è stata calcolata la legge di variazione del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza dal cantiere, che è mostrata graficamente nella figura seguente.

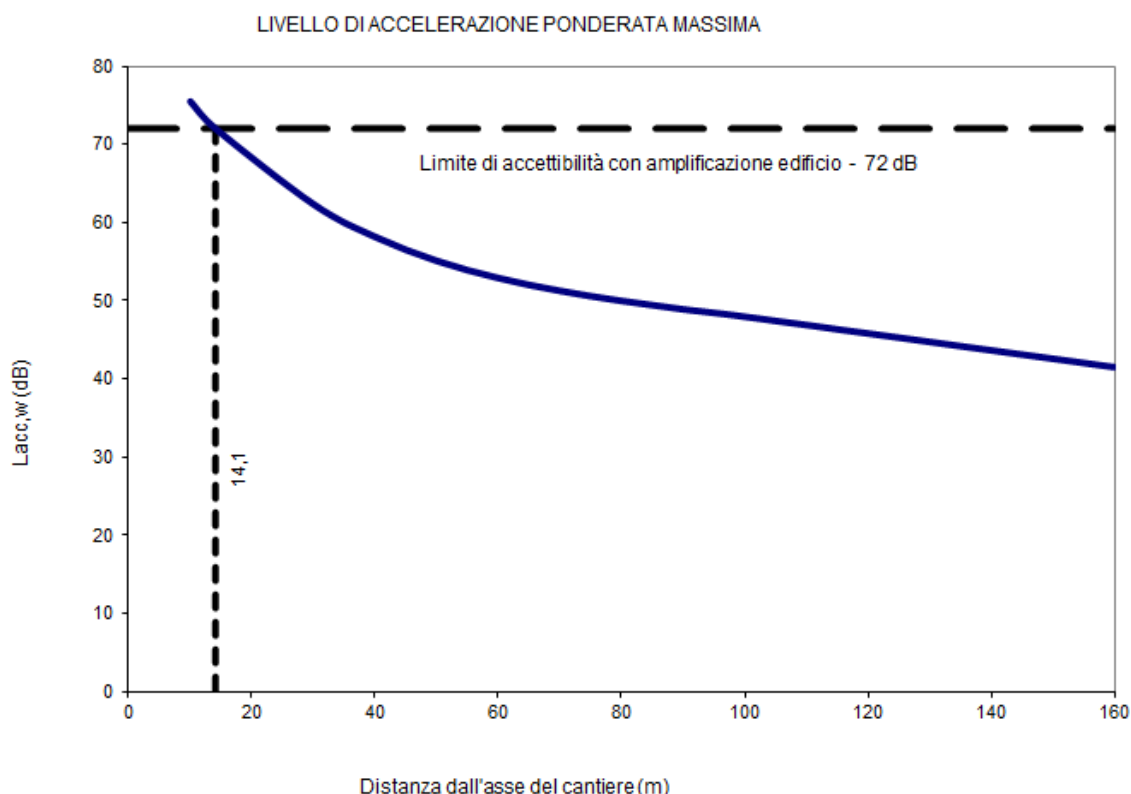


Figura 9.23 – Livello di accelerazione massimo in funzione della distanza dal cantiere

Nella Figura 9.23 è stata anche indicata la linea orizzontale corrispondente al limite di accettabilità (72 dB) tenuto conto dei possibili effetti di amplificazioni prodotti dagli edifici (qui assunti mediamente pari a 5 dB, ma in realtà variabili da edificio ad edificio). Per essere più precisi, il valore esatto della distanza dall'asse del cantiere a cui tale limite prudenziale, pari a $77 - 5 = 72$ dB, è raggiunto e indicato anche numericamente, ad una distanza pari a circa 14,1 m.

Questo significa che tutti i recettori posti a distanze maggiori sono sicuramente esenti da ogni tipo di problematica vibrazionale. In realtà, anche i recettori situati a distanza inferiore ai 14,1 m dall'asse della strada non necessariamente saranno caratterizzati da livelli di accelerazione ponderata eccedenti il limite di norma, in quanto non necessariamente si avrà un'amplificazione dovuta alla risonanza dei solai dell'ordine dei 5 dB. I ricettori potenzialmente a rischio sono il n. 15 e il n. 25 (v. Fig. 2.1). Si tratta tuttavia di attività di breve durata.

9.6 Conclusioni

Sulla base delle valutazioni analitiche e delle considerazioni effettuate emerge quanto segue:

- la determinazione della sorgente vibrazionale è stata basata estesamente su rilievi strumentali reperibili dalla bibliografia specializzata;

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

- il livello di accettabilità è stato scelto pari a 72 dB nella fase di cantiere e di 69 dB nella fase di esercizio; tali valori prendono in considerazione rispettivamente i valori di 77 dB e di 74 dB che rappresenta il limite diurno e notturno per gli edifici residenziali, desunto dalla norma UNI9614, e il valore di 5 dB relativo ad eventuali amplificazioni per effetto dei solai;
- è preso in considerazione il traffico pesante considerando come rappresentativi 4 mezzi d'opera con livello di vibrazione non ponderato associato al singolo evento (SEVL – Single Event Vibration Level) pari a: autocarro $SEVL_{truck} = 85$ dB alla distanza di 10 m; rullo vibrante $SEVL_{rullo} = 89,8$ dB alla distanza di 10 m; pala cingolata $SEVL_{pala-cingolata} = 92$ dB alla distanza di 10 m; pala gommata $SEVL_{pala-gommata} = 90,9$ dB alla distanza di 10 m;
- le proprietà dei terreni, in termini di velocità delle onde di superficie e dei fattori di smorzamento, sono state desunte dalla bibliografia specializzata sulla base delle litologie affioranti;
- riassumendo le verifiche effettuate presentano quindi due livelli di incertezza dei quali uno relativo alla mancanza delle tipologie costruttive degli edifici presenti al contorno del cantiere, e l'altro legato alla mancanza di misurazioni accurate sulle caratteristiche di propagazione delle onde superficiali per le varie litologie attraversate;
- sulla base dei dati a disposizione è emerso che la propagazione dei livelli di vibrazione è da considerare superiore al limite di accettabilità (72 dB) entro una fascia di 14 - 26 metri dal ciglio del cantiere;
- altro aspetto da tenere in considerazione sono le caratteristiche dell'edificio; nel presente studio è stato considerato a priori che ogni edificio sia, in ogni caso, soggetto ad effetti di amplificazione, quantificabili in 5 dB, i quali non è detto che si verifichino;

Nel tratto interessato dal cantiere i ricettori potenzialmente esposti, perché compresi a distanze inferiori alla fascia di 14 - 26 metri sono riportati nella seguente tabella 9.4.

Tabella 9.4 - Caratterizzazione dei ricettori esposti

Ricettore	Via	Distanza minima area di cantiere (m)	Opera
15	S.P. n. 94 Busseto Polesine	20	Muro 1
25	S.C. Balsemano	15	Muro 1

I ricettori elencati nella precedente Tabella 9.4 saranno potenzialmente assoggettati ad impatto da vibrazione durante lo scavo delle fondazioni.

I fronti di scavo hanno generalmente un'evoluzione piuttosto rapida in relazione alla potenzialità di sbancamento prevista pari a 1.000 m³/day, L'esposizione dei ricettori maggiormente vicini è generalmente vincolata a non più di 1 giorno lavorativo.

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

Tenendo in considerazione le incertezze strutturali dei fabbricati e della propagazione delle vibrazioni nella fase di cantiere risulta problematico, in relazione all'operatività dei mezzi d'opera all'incertezza delle traiettorie di lavoro, predisporre delle efficaci misure per la componente vibrazioni.

Potranno essere comunque organizzate delle misure palliative consistenti in:

- valutazione dell'analisi di consistenza dell'edificio da effettuare prima dell'inizio del periodo di cantierizzazione;
- nelle situazioni di potenziale elevato impatto vibrazionale, oltre i limiti previsti dalla normativa vigente, la ditta appaltatrice dei lavori si deve impegnare a comunicare preventivamente ai residenti, le fasce orarie e i periodi nei quali si eseguiranno attività molto disturbanti;
- la comunicazione deve essere inviata con congruo anticipo e deve essere contestualizzata con l'andamento reale delle lavorazioni.

10 BIBLIOGRAFIA

- 1 Direttiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.
- 2 J. Hinton, Position Paper, Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, WG-AEN, Birmingham, 2004.
- 3 AR-INTERIM-CM "Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping", Final report Part A 25 marzo 2003.
- 4 DPR 30 Marzo 2004, n. 142 "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447".
- 5 DM 29 Novembre 2000 "Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore".
- 6 DPR 18 Novembre 1998, n. 459 "Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario".
- 7 Raccomandazione della Commissione del 6 agosto 2003 (2003/613/CE) concernente le linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità.
- 8 Guide du Bruit des Transports Terrestres - Prevision des Niveaux Sonores, CETUR 1980.
- 9 SETRA-CERTU-LCPC-CSTB "NMPB-Routes-96 ", 1996.
- 10 UNI11143-1 Acustica, "Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti. Parte 1: Generalità", 2005
- 11 C.A.Bertetti, M.Masoero, M.Paviotti, Convegno AIA "Mappatura del rumore: aspetti tecnici", Convegno La Direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale e il suo impatto sulla legislazione italiana: prospettive, attese, proposte", 2004.
- 12 EN 1793-3:1997 "Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Normalized traffic noise spectrum".
- 13 EN ISO 11819-1:2001 "Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Statistical Pass-By method".
- 14 DM 16/03/98 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico"
- 15 DPR 30 Marzo 2004, n. 142 "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447".

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

- 16 DPR 18 Novembre 1998, n. 459 "Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario".
- 17 UNI11143-1 Acustica, "Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti. Parte 1: Generalità", 2005
- 18 C.A.Bertetti, M.Masoero, M.Paviotti, Convegno AIA "Mappatura del rumore: aspetti tecnici", Convegno La Direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale e il suo impatto sulla legislazione italiana: prospettive, attese, proposte", 2004.
- 19 AC BERTETTI, M. MASOERO, L.MATTIUZZO, "Effetti meteorologici sulla propagazione del rumore: 5 casi studio nazionali" , AIA Ancona 2005
- 20 AC BERTETTI, M. MASOERO, L.MATTIUZZO, "Meteorological effects on road noise propagation: a case study", Forum Acusticum, Budapest 2005
- 21 A.C.BERTETTI, M.MASOERO, "Impatto ambientale delle infrastrutture di trasporto: procedure, misurazione e controllo", Infrastructura 8-12 marzo 2005

ALLEGATO A – RIFERIMENTI LEGISLATIVI

A1- Definizioni

I termini tecnici, utilizzati nel presente documento, derivano dall'art. 2 della Legge n. 447 del 26/10/1995 e nell'allegato A del DPCM 01/03/1991.

- Inquinamento acustico: l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi.
- Ambiente abitativo: ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive, salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive.
- Sorgenti sonore fisse: gli impianti tecnici degli edifici e le altre installazioni unite agli immobili anche in via transitoria il cui uso produca emissioni sonore; le infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali, marittime, industriali, artigianali, commerciali ed agricole; i parcheggi; le aree adibite a stabilimenti di movimentazione merci; i depositi dei mezzi di trasporto di persone e merci; le aree adibite ad attività sportive e ricreative.
- Sorgenti sonore mobili: tutte le sorgenti sonore non comprese al punto precedente.
- Valori limite d'emissione: il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa.
- Valori limite d'immissione: il valore massimo di rumore che può essere emesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori.
- Valori d'attenzione: il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente.
- Valori di qualità: i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla Legge n. 447.
- Livello di rumore residuo (Lr): è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A" che si rileva quando si escludono le specifiche sorgenti disturbanti. Esso deve essere misurato con le identiche modalità impiegate per la misura del rumore ambientale.
- Livello di rumore ambientale (La): è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A" prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato

tempo. Il rumore ambientale è costituito dall'insieme del rumore residuo e da quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti.

- Livello differenziale di rumore: differenza tra il livello $leq(A)$ di rumore ambientale e quello del rumore residuo.

Il concetto di livello differenziale si applica solo ai valori di immissione e pertanto i valori limite di immissione sono distinti in:

- valori limite assoluti, determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale;
- valori limite differenziali, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo.

A2 - D.P.C.M. 01/03/1991

Il 01/03/1991 è stato emanato il D.P.C.M. dal titolo "Limiti massimi d'esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno"; nell'allegato "A" al D.P.C.M. citato sono sancite le modalità di misura del livello sonoro (quantificato in modo univoco tramite il Livello di Pressione Sonora Continuo Equivalente Ponderato "A", L_{AeqT}) e le penalizzazioni nel caso di rumori con componenti impulsive o tonali.

Nell'allegato "B" sono invece riportati i limiti massimi di rumorosità ammessa in funzione della destinazione d'uso del territorio (v. Tab. All. A1).

Tabella All. A1 – Classi di destinazione d'uso del territorio comunale.

Classe	Denominazione	Descrizione
<i>Classe I</i>	Aree particolarmente protette	Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione; aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.
<i>Classe II</i>	Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale	Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali
<i>Classe III</i>	Aree di tipo misto	Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici
<i>Classe IV</i>	Aree d'intensa attività	Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

	umana	veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e linee ferroviarie; le aree portuali; le aree con limitata presenza di piccole industrie
<i>Classe V</i>	Aree prevalentemente industriali	Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità d'abitazioni
<i>Classe VI</i>	Aree esclusivamente industriali	Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive d'insediamenti abitativi

Tabella All. A2 – Valori limite di immissioni validi in regime definitivo.

Classe	Classi di destinazione d'uso del territorio	Limiti assoluti (dBA)		Limiti differenziali (dBA)	
		notturno	diurno	notturno	diurno
I	Aree particolarmente protette	40	50	3	5
II	Aree prevalentemente residenziali	45	55	3	5
III	Aree di tipo misto	50	60	3	5
IV	Aree di intensa attività umana	55	65	3	5
V	Aree prevalentemente industriali	60	70	3	5
VI	Aree esclusivamente industriali	70	70	-	-

L'applicabilità dei limiti suddetti è subordinata alla zonizzazione del territorio (v. Tab. All. A1), che compete ai singoli Comuni. In attesa che essi provvedano a tale incombenza, valgono comunque limiti provvisori basati sulla zonizzazione urbanistica (v. Tab. All. A3).

Tabella All. A3 – Valori limite di immissione validi in regime transitorio.

Zonizzazione	Limiti assoluti (dBA)		Limiti differenziali (dBA)	
	notturno	diurno	notturno	diurno
A (art.2 DM 02/04/1968)	55	65	3	5
B (art.2 DM 02/04/1968)	50	60	3	5
Altre (tutto il territorio)	60	70	3	5
Esclusivamente industriali	70	70	-	-

Le aree residenziali di completamento sono usualmente classificate in zona B, mentre i centri storici in zona A.

Va tuttavia precisato che una lettura pedissequa del testo del D.P.C.M. citato porta ad escludere l'applicabilità dei limiti provvisori alle sorgenti mobili, giacché il testo della norma recita testualmente: *"In attesa della suddivisione del territorio comunale nelle zone di cui alla tabella 1, si applicano per le sorgenti sonore fisse i seguenti limiti di accettabilità: etc. etc."*

Tuttavia la nuova Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico, di cui si riferisce in un successivo paragrafo, ha modificato in maniera definitiva questo punto, perché include esplicitamente le infrastrutture di trasporto fra le sorgenti sonore fisse.

Va infine precisato che, a livello di misurazione del rumore ambientale, il D.P.C.M. distingue chiaramente fra sorgenti sonore fisse e mobili. Per queste ultime il Livello Equivalente va misurato (o calcolato) relativamente all'**intera durata** del periodo di riferimento considerato (diurno e notturno), mentre per le sorgenti fisse la misura va limitata all'effettiva durata del fenomeno rumoroso.

Oltre ai limiti assoluti, di cui si è ampiamente riferito sopra, il D.P.C.M. 1 marzo 1991 prevede anche limiti di tipo differenziale: nessuna sorgente sonora **specificata** può portare ad un innalzamento della rumorosità superiore a 5 dB diurni e 3 dB notturni, misurati **negli ambienti abitativi**, a finestre aperte. Normalmente si assume che, sebbene a rigore tale verifica andrebbe effettuata all'interno delle abitazioni, il rispetto del limite differenziale verificato all'esterno degli edifici sia garanzia sufficiente anche per il rispetto di tale limite all'interno.

In base alle definizioni riportate nell'allegato A al D.P.C.M. si evince che il criterio differenziale può essere applicato solo a specifiche sorgenti disturbanti, e non alla "rumorosità d'insieme" in un certo sito. L'applicabilità del criterio differenziale al rumore da traffico stradale è stata dunque ampiamente contestata, e sicuramente non può essere sostenuta in termini assoluti (confrontando cioè il rumore rilevato in presenza di traffico con quello che si ha in completa assenza dello stesso), anche e soprattutto perché considerando il traffico stradale nel suo insieme viene a mancare la **specificata individuazione delle sorgenti** che è invece chiaramente richiesta dal D.P.C.M..

A3 - Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico

La Legge Quadro sull'inquinamento acustico, è stata approvata dalla Camera dei Deputati il 25 maggio 1995 e, con modifiche molto limitate, dalla Commissione Ambiente del Senato il 26 luglio 1995. La firma della legge e la conseguente pubblicazione sulla G.U. sono datate rispettivamente 25 ottobre 1995 e 4 novembre 1995.

La legge, sebbene pienamente operativa soltanto dopo l'emanazione di tutti i previsti decreti attuativi, introdusse, sin dalla sua emanazione, alcune rilevanti innovazioni al quadro legislativo, chiarendo soprattutto determinati punti lasciati nel vago dal D.P.C.M. 1 marzo 1991.

I decreti attuativi avrebbero dovuto essere emanati tutti entro due anni dall'entrata in vigore della Legge Quadro, ed invece, a 6 anni dall'entrata in vigore, ne sono stati emanati solo poco più della metà. Mancano, in particolare, quelli relativi al rumore da traffico stradale. Sono pertanto qui illustrati i punti maggiormente rilevanti della Legge Quadro:

- L'art. 1 riporta le finalità della legge;

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

- L'art. 2 contiene le definizioni dei termini. In particolare, il comma c) definisce come sorgenti sonore **fisse**: *...le infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali, marittime, industriale, artigianali, agricole*;
- L'art. 3 definisce le competenze dello Stato.
- L'art. 4 definisce le competenze delle Regioni: entro il termine di 1 anno, esse debbono emanare una legge regionale sulla Classificazione del territorio in zone secondo il D.P.C.M. 1 marzo 1991; in tale legge regionale deve essere previsto esplicitamente il divieto di far confinare aree con limiti di rumorosità diversi di più di 5 dB(A), anche se appartenenti a comuni diversi. Inoltre devono essere precisati modalità, sanzioni e scadenze per l'obbligo di Classificazione del territorio per i comuni che adottano nuovi strumenti urbanistici generali o particolareggiati;
- L'art. 5 definisce le competenze delle Provincie;
- L'art. 6 definisce le competenze dei Comuni: essi sono tenuti ad adeguare entro 1 anno i regolamenti locali di igiene e sanità o di polizia municipale, in modo da renderli conformi alla Legge Quadro;
- L'art. 7 definisce i piani di risanamento acustico; tale articolo prevede anche che entro 2 anni, e successivamente con cadenza biennale, i Comuni con più di 50.000 abitanti siano tenuti a presentare una relazione sullo stato acustico del Comune;
- L'art. 8 reca disposizioni in materia d'Impatto Acustico; sono ricondotti entro i limiti di questa legge tutti i procedimenti di V.I.A. resi obbligatori dalla legge 8/7/86 n. 349, dal D.P.C.M. 10/8/88 n. 377 e dal D.P.C.M. 27/12/88; in ogni caso deve essere fornita al Comune una relazione di Impatto Acustico relativa alla realizzazione, modifica o potenziamento delle seguenti opere:
 - a) aeroporti, eliporti, aviosuperfici;
 - b) strade ed autostrade di ogni ordine e grado, escluse le interpoderali o private;
 - c) discoteche;
 - d) impianti sportivi e ricreativi;
 - e) ferrovie ed altri sistemi di trasporto su rotaia;va poi notato che è richiesto uno studio di compatibilità acustica anche come allegato alla richiesta di licenza edilizia, per quegli edifici situati in prossimità delle opere di cui ai precedenti punti a), b) e c) (restano dunque escluse le ferrovie!). In pratica, però, la relazione di compatibilità acustica è richiesta quasi ovunque, basta che ci sia una strada comunale nei dintorni;
- L'art. 9 riguarda ordinanze contingibili ed urgenti;
- L'art. 10 riguarda le sanzioni amministrative previste: il comma 5 di tale articolo stabilisce che le società e gli enti gestori di servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, ivi comprese le autostrade, nel caso di superamento dei valori limite vigenti, hanno l'obbligo di presentare entro 6 mesi al Comune competente territorialmente piani di contenimento ed abbattimento del

rumore; essi debbono indicare tempi di adeguamento, modalità e costi e sono obbligati ad impegnare, in via ordinaria, una quota fissa non inferiore al 5% dei fondi di bilancio previsti per le attività di manutenzione e di potenziamento delle infrastrutture stesse per l'adozione di interventi di contenimento ed abbattimento del rumore;

- L'art. 11 prevede 4 Regolamenti d'Esecuzione, che saranno emanati entro 1 anno mediante appositi D.P.R., sulla disciplina dell'inquinamento acustico prodotto dalle specifiche sorgenti: stradali, ferroviarie, marittime ed aeree;
- L'art. 12 limita il volume dei messaggi pubblicitari tele o radio trasmessi;
- L'art. 13 regola i contributi delle Regioni agli enti locali;
- L'art. 14 regola le attività di controllo;
- L'art. 15 riguarda il regime transitorio: fino all'emanazione dei Regolamenti di Esecuzione di cui all'art. 11, si applica il D.P.C.M. 1 marzo 1991, fatta eccezione per le infrastrutture di trasporto, limitatamente al disposto di cui agli art. 2, comma 2, e 6, comma 2; ciò significa che il criterio differenziale non va applicato alle infrastrutture di trasporto (strade, ferrovie, aeroporti); esse tuttavia, essendo state comprese esplicitamente nella definizione di sorgenti fisse, sono comunque soggette ai limiti assoluti provvisori, che in determinati casi possono risultare più restrittivi dei limiti definitivi derivanti dalla zonizzazione acustica;
- L'art. 16 riguarda l'abrogazione di norme in conflitto con la Legge Quadro;
- L'art. 17 definisce l'entrata in vigore della legge: 60 giorni dopo la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale.

A4 - D.P.C.M. 14 novembre 1997

Sulla G.U. n. 280 del 1/12/1997 è stato pubblicato il DPCM del 14/11/1997, che sostituisce ed integra il "precedente" DPCM 01/03/1991, stabilendo i nuovi limiti assoluti e differenziali di rumorosità vigenti sul territorio, nonché i criteri d'assegnazione delle classi (che restano sostanzialmente gli stessi già visti).

Le principali novità del nuovo DPCM sono le seguenti:

- si definiscono per ciascun tipo di sorgente sonora due diversi limiti, detti di emissione e di immissione; i primi rappresentano il rumore prodotto nel punto recettore dalla sola sorgente in esame, mentre i secondi costituiscono la rumorosità complessiva prodotta da tutte le sorgenti (quello che nel DPCM 1 marzo 1991 era chiamato "rumore ambientale"); si osservi come queste definizioni risultino in parziale contrasto sia con la stessa Legge Quadro, sia con analoghe definizioni esistenti in normative di altri paesi: ad es., in Germania si definisce Livello di Immissione il rumore prodotto dalla singola sorgente sonora nel punto ricettore, mentre si definisce Livello di Emissione il rumore prodotto ad una distanza fissa normalizzata di 25 m dalla

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

singola sorgente; il livello sonoro complessivo, prodotto da tutte le sorgenti, si chiama ancora rumore ambientale; anche la Legge Quadro suggerisce una definizione analoga, sebbene non sufficientemente specifica;

- i limiti di immissione sono gli stessi già indicati dal DPCM 1 marzo 1991 (v. Tab. All. A1), così come la definizione delle classi di destinazione d'uso del territorio; in attesa che i comuni provvedano all'attribuzione di tali classi, si adottano i limiti provvisori previsti dal DPCM 1 marzo 1991;
- i limiti di emissione sono riportati in Tab. All. A4, in funzione della classe di destinazione d'uso del territorio, e sono in pratica sempre inferiori di 5 dB rispetto ai relativi limiti di immissione; per esempio, se si ipotizza di trovarsi in una zona di classe IV (lim. diurno 65 dBA), una singola sorgente sonora non può superare (da sola) i 60 dB(A), mentre l'assieme di tutte le sorgenti sonore non può superare i 65 dB(A); non è chiaro tuttavia a che distanza dalla sorgente sonora stessa dovrà essere effettuata la verifica del limite d'emissione;

Tabella All. A4 – Valori limite di emissione validi in regime definitivo.

Classe	Classi di destinazione d'uso del territorio	Limiti assoluti di emissione (dBA)	
		notturno	diurno
I	Aree particolarmente protette	35	45
II	Aree prevalentemente residenziali	40	50
III	Aree di tipo misto	45	55
IV	Aree di intensa attività umana	50	60
V	Aree prevalentemente industriali	55	65
VI	Aree esclusivamente industriali	65	65

- sono ribaditi i valori limite differenziali di immissione di 5 dB diurni e 3 dB notturni, validi all'interno delle abitazioni; tali limiti non si applicano nelle zone di classi IV, V e VI, ed inoltre quando il livello di immissione, misurato a finestre aperte, è inferiore a 50 dB(A) di giorno ed a 40 dB(A) di notte, ovvero quando, a finestre chiuse, tali valori sono inferiori rispettivamente a 35 dB(A) diurni e 25 dB(A) notturni; sulla base di tale affermazione, diventa possibile ipotizzare, nel caso di superamento dei limiti differenziali, non solo di intervenire alla fonte, ma anche di dotare le abitazioni disturbate di serramenti in grado di produrre una sufficiente attenuazione, in modo da rientrare nell'ultimo caso di esenzione previsto; i limiti differenziali non si applicano alle infrastrutture di trasporto, alla rumorosità prodotta in maniera occasionale ed estemporanea (feste, schiamazzi, litigi, etc.) e dai servizi ed impianti a servizio comune dell'edificio disturbato stesso (ascensore, centrale termica).
- le norme transitorie non stabiliscono limiti d'emissione validi fino all'adozione da parte dei comuni della suddivisione in zone del relativo territorio comunale; sembra pertanto che gli stessi entrino in vigore solo dopo che è stata effettuata la zonizzazione acustica;
- alcuni punti oscuri del DPCM sono chiariti dal successivo decreto sulla strumentazione e tecniche di misura (D.M. Amb. 16/3/1998).

A5 - D.P.C.M. 3 dicembre 1997

Il D.P.C.M. del 03/12/1997 è uno dei decreti attuativi della Legge Quadro, avente per titolo "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici". In sostanza si tratta di un dispositivo molto semplice, che fissa la prestazioni minime in termini di isolamento al rumore aereo fra unità abitative adiacenti R_w , dell'isolamento di facciata $D_{2m,nT,w}$, del livello normalizzato di calpestio su solai separanti unità abitative diverse $L_{n,w}$, nonché del rumore massimo prodotto dagli impianti tecnologici a funzionamento saltuario L_{ASmax} e continuo L_{Aeq} , sempre con riferimento agli effetti nelle unità abitative adiacenti quella in cui sono installati.

I requisiti sono variabili in funzione delle destinazioni d'uso dei locali, definiti nella seguente Tab. All. A5

Tabella All. A5 – Classificazione degli ambienti abitativi.

categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili;
categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili;
categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili;
categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili;
categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;
categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili;
categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili.

I valori dei parametri acustici da rispettare sono riportati nella seguente Tab. All. A6.

Tabella All. A6 – Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici.

Categorie	Parametri				
	R_w	$D_{2m,nT,w}$	$L_{n,w}$	L_{ASmax}	L_{Aeq}
1. D	55	45	58	35	25
2. A, C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B, F, G	50	42	55	35	35

Si deve osservare che i valori numerici delle prime due colonne della precedente Tab. 6 sono minimi, perciò è auspicabile avere situazioni di maggiore protezione, mentre le successive tre colonne riportano dei massimi, che non debbono essere superati.

Per maggior chiarezza, sono descritte le 5 grandezze atte a quantificare la prestazione acustica degli edifici, richiamando le relative norme UNI per la definizione e le modalità di misura:

- Isolamento acustico normalizzato – da misurare su pareti divisorie cieche di unità abitative confinanti – requisito minimo da garantire per edifici di civile abitazione $R_w > 50$ dB;

- Isolamento normalizzato di facciata – da misurare su facciate con serramenti rivolte all'esterno dell'edificio - requisito minimo per edifici di civile abitazione $D_{2m,nT,w} > 48$ dB;
- Livello normalizzato di calpestio – da misurare su solai divisori di unità abitative diverse – requisito minimo per edifici di civile abitazione $L_{n,w} > 63$ dB;
- Livello massimo Slow, ponderato “A”, del rumore prodotto da impianti a funzionamento discontinuo - requisito minimo per edifici di civile abitazione $L_{ASmax} < 35$ dB;
- Livello equivalente ponderato “A” del rumore prodotto dagli impianti a funzionamento continuo - requisito minimo per edifici di civile abitazione $L_{Aeq} < 25$ dB.

E' ovvio che tutti gli edifici realizzati dopo l'entrata in vigore del decreto siano progettati e realizzati con idonei accorgimenti costruttivi e soluzioni tipologiche tali da garantire il rispetto dei limiti prestazionali di cui sopra. Nel caso tali valori non siano raggiunti, potrà essere negata l'abitabilità o l'agibilità dell'edificio, ovvero potranno essere negate le autorizzazioni per l'esercizio d'attività produttive o commerciali.

Non è chiaro tuttavia se il rispetto dei limiti prestazionali debba essere dimostrato (o garantito) anche in sede di domanda di concessione edilizia, perché l'ottenimento dei risultati voluti dipende solo parzialmente dalle soluzioni progettuali definite in tale sede, ed in misura ben maggiore dalle tecniche esecutive delle strutture e degli impianti.

A6 - D.P.R. 18 novembre 1998, n. 459

Il D.P.R. 18 novembre 1998, n. 459 fissa i limiti di rumorosità ammessi per le sorgenti di rumore ferroviario, nonché l'estensione delle cosiddette “fasce di pertinenza” circostanti le infrastrutture ferroviarie.

In pratica, si distingue fra linee ferroviarie già in esercizio e linee di nuova realizzazione; per queste ultime, si distingue ulteriormente fra linee a bassa ed alta velocità (> 200 km/h).

Per le linee ferroviarie esistenti e per quelle di nuova realizzazione a bassa velocità, sono previste due diverse fasce di pertinenza, con limiti differenziati. La fascia più interna ha ampiezza pari a 100 m a partire dalla mezzzeria dl binario più esterno, ed all'interno della stessa vige un limite di immissione del solo rumore ferroviario pari a 70 dB(A) diurni e 60 dB(A) notturni. La fascia più esterna ha ampiezza di ulteriori 15 0m (va dunque dai 100 ai 250 m dalla mezzzeria del binario più esterno): entro tale seconda fascia, il limite di immissione del solo rumore ferroviario scende a 65 dB(A) diurni e 55 dB(A) notturni. Si precisa inoltre che, nel caso di nuove edificazioni in prossimità di una linea già in esercizio, gli interventi eventualmente necessari onde garantire il rispetto dei limiti suddetti sono a carico di chi realizza i nuovi edifici, e non dell'ente gestore della infrastruttura ferroviaria.

In entrambe le fasce, comunque, i ricettori esposti (scuole, case di riposo, case di cura, ospedali) vengono tutelati con limiti molto più restrittivi (50 dBA diurni, 40 notturni). Per le scuole si applica solo il limite diurno.

Per le linee di nuova costruzione ad alta velocità, invece, esiste una unica fascia di pertinenza ampia 250 m, all'interno della quale vigono i limiti di immissione di 65 dB(A) diurni e di 55 dB(A) notturni, tranne che per i ricettori esposti di cui sopra, che mantengono i valori limite su indicati.

Le altre sorgenti di rumore debbono rispettare i relativi limiti di immissione, come se la sorgente ferroviaria non ci fosse, entro le fasce di pertinenza di quest'ultima. Inoltre, al di fuori delle fasce di pertinenza, il rumore ferroviario concorre al raggiungimento dei limiti di immissione complessivi previsti sulla base della Classificazione acustica delle aree.

Questo decreto è estremamente importante anche per il fatto che costituisce il "capostipite" della serie di decreti che dovranno normare le altre infrastrutture fisse legate al trasporto, in particolare traffico stradale ed attività portuali. Il decreto sul rumore ferroviario stabilisce quindi un importante precedente, ed i concetti di area di pertinenza della infrastruttura e di differenziazione dei limiti di rumorosità applicabili all'infrastruttura da quelli applicabili alle altre sorgenti costituiscono sicuramente l'ossatura su cui verranno basati anche gli attesi decreti attuativi sul rumore stradale e sulle attività portuali (e le bozze recentemente circolate di tali decreti confermano tale ipotesi).

A rigore questo decreto è esplicitamente non applicabile al rumore prodotto dalle tranvie. Tuttavia, come mostrato nel successivo paragrafo, il Ministero dell'Ambiente ha fornito indicazioni che ne consentono l'estensione, su fascia di pertinenza più limitata, anche per il caso delle tranvie urbane.

A7 - D.M.Amb. 16 marzo 1998

Il D.M. del 16/03/1998 ha sostituito l'allegato "A" al DPCM 1 marzo 1991 ed ha introdotto numerose innovazioni e complicazioni alle tecniche di rilievo.

Le complicazioni riguardano in particolare la definizione e la modalità di rilevamento dei fattori di penalizzazione per presenza di componenti impulsive, tonali e di bassa frequenza, che fortunatamente però non si applicano al rumore generato dai mezzi di trasporto. Non si riferisce pertanto qui in merito a tali complesse problematiche.

Per quanto riguarda il rilevamento del rumore prodotto dal traffico stradale, il decreto prevede un rilevamento in continuo per una settimana, con memorizzazione dei livelli equivalenti ponderati "A" ogni ora, e calcolo a posteriori del livello equivalente medio del periodo diurno e notturno. Non è prevista né l'analisi statistica del rumore, né il tracciamento di profili temporali con risoluzione inferiore all'ora. A parte dunque la necessità di protrarre il rilevamento per un'intera settimana (cosa giustificabile in alcuni casi, ma non certo in tutti), questa nuova normativa prevede un rilevamento molto semplice, attuabile anche con strumentazione di costo molto basso.

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

Nel presente lavoro le misure sono state eseguite in condizioni meteorologiche normali, con cielo sereno ed in assenza di precipitazioni atmosferiche, posizionando il microfono all'altezza di 4 metri dal suolo.

All'inizio e al termine delle singole sessioni di rilievi fonometrici si è proceduto a controllare il livello prodotto dal segnale di calibrazione, emesso dal Calibratore Delta OHM HD9101. In nessun caso la differenza tra i livelli misurati all'inizio e alla fine della sessione di misure ha superato i $\pm 0,1$ dB(A). Ciò ci consente di affermare che durante tutta la sessione di misure non si sono verificati shock termici, elettrici, meccanici o di altra natura che abbiano alterato la fedeltà della catena strumentale e quindi di sostenere la validità delle misurazioni effettuate.

A8 - D.P.R. n. 142 del 30 marzo 2004

Il D.P.R. n. 142 del 30 marzo 2004 è uno dei decreti attuativi della Legge Quadro, avente per titolo "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447".

Tale decreto stabilisce le norme per la prevenzione ed il contenimento dell'inquinamento da rumore avente origine dall'esercizio delle infrastrutture stradali, nonché l'estensione delle cosiddette "fasce di pertinenza" circostanti le infrastrutture stradali medesime.

All'art. 4 sono dettati i limiti d'immissione per infrastrutture stradali di nuova realizzazione; in proposito il proponente dell'opera è subordinato all'individuazione dei corridoi progettuali che possano garantire la migliore tutela dei ricettori presenti all'interno della fascia di studio d'ampiezza pari a quella di pertinenza, estesa ad una dimensione doppia in caso di presenza di scuole, ospedali, case di cura e case di riposo. Nella seguente Tab. All. A7 sono riportati i valori limite d'immissione.

Tabella All. A7 - Valori limite d'immissione e fasce di pertinenza per le strade di nuova realizzazione (per le scuole vale il solo limite diurno).

Tipo di strada (secondo Codice della strada)	Sottotipi a fini acustici (secondo Dm6.11.01 Norme funz. e geom. per la costruzione delle strade)	Ampiezza fascia di pertinenza acustica (m)	Scuole, ospedali, case di cura e di riposo		Altri Ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturno dB(A)	Diurno dB(A)	Notturno dB(A)
A - autostrada	-	250	50	40	65	55
B – extraurbana principale	-	250	50	40	65	55
C - extraurbana secondaria	C1	250	50	40	65	55
	C2	150	50	40	65	55
D - urbana di scorrimento	-	100	50	40	65	55
E - urbana di quartiere	-	30	definiti dai Comuni, nel rispetto dei valori riportati in comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'articolo 6, comma 1, lettera a) della legge n. 447 del 1995			
F - locale	-	30				

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

All'art. 5 sono dettati i limiti d'immissione per le Strade esistenti e assimilabili, ampliamenti in sede, affiancamenti e varianti. I valori limite di immissione indicati nella successiva Tab. 8 devono essere conseguiti mediante un'attività pluriennale di risanamento, di cui al D.M.Amb del 29/11/2000.

Per le infrastrutture di nuova realizzazione in affiancamento di infrastrutture esistenti e delle varianti di infrastrutture esistenti, i limiti di immissione indicati nella successiva Tab. All. A8 si applicano a partire dalla data di entrata in vigore del D.P.R. n. 142 del 30 marzo 2004, fermo restando che il relativo impegno economico per le opere di mitigazione è da computarsi nell'insieme degli interventi effettuati nell'anno di riferimento del gestore. In via prioritaria l'attività pluriennale di risanamento dovrà essere attuata all'interno dell'intera fascia di pertinenza acustica per quanto riguarda scuole, ospedali, case di cura e case di riposo e, per quanto riguarda tutti gli altri ricettori, all'interno della fascia più vicina all'infrastruttura, con le modalità di cui all'articolo 3, comma 1, lettera i), e dall'articolo 10, comma 5, della legge 26 ottobre 1995, n. 447.

All'esterno della fascia più vicina all'infrastruttura, le rimanenti attività di risanamento dovranno essere armonizzate con i piani di cui all'articolo 7 della citata legge n.447 del 1995.

Tabella All. A8 - Valori limite d'immissione e fasce di pertinenza per Strade esistenti e assimilabili, ampliamenti in sede, affiancamenti e varianti (per le scuole vale il solo limite diurno).

Tipo di strada (secondo Codice della strada)	Sottotipi a fini acustici (secondo norme Cm 1980 e direttive Put)	Ampiezza fascia di pertinenza acustica (m)	Scuole, ospedali, case di cura e di riposo		Altri Ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturno dB(A)	Diurno dB(A)	Notturno dB(A)
A - autostrada	-	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
B – extraurbana principale	-	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
C – extraurbana secondaria	Ca (strade a carreggiate separate e tipo IV Cnr 1980)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
	Cb (tutte le altre strade extraurbane secondarie)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		50 (fascia B)			65	55
D - urbana di scorrimento	Da (strade a carreggiate separate e interquartiere)	100	50	40	70	60
	Db (tutte le altre strade urbane di scorrimento)	100	50	40	65	55
E - urbana di quartiere	-	30	definiti dai Comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al Dpcm in data 14 novembre 1997 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'articolo 6, comma 1, lettera a) della legge n. 447 del 1995			
F - locale	-	30				

All'Articolo 6 è indicato che il rispetto dei limiti nelle fasce di pertinenza delle infrastrutture, riportati nelle precedenti Tab. 7 e 8, e il rispetto dei valori stabiliti nella Tabella C del D.P.C.M. del 14/11/1997, al di fuori delle stesse fasce di pertinenza, deve essere verificato in facciata degli edifici ad 1 metro di distanza ed in corrispondenza dei punti di maggiore esposizione, nonché dei ricettori. I citati valori limite qualora non fossero tecnicamente conseguibili, seconde valutazioni tecniche, economiche o di carattere ambientale, si dovrà vagliare l'opportunità di procedere ad interventi diretti sui ricettori. In particolare deve essere assicurato il rispetto di 35 dBA (Leq notturno) per ospedali, case di cura e case di riposo, di 40 dBA (Leq notturno) per tutti gli altri ricettori a carattere abitativo e di 45 dBA (Leq diurno) per le scuole, valutati al centro della stanza, a finestre chiuse, all'altezza di 1,5 metri dal pavimento. Per i ricettori inclusi nelle fasce di pertinenza acustica delle infrastrutture devono invece essere individuate ed adottate opere di mitigazione sulla sorgente, lungo la via di propagazione del rumore e direttamente sul ricettore, per ridurre l'inquinamento acustico prodotto dall'esercizio dell'infrastruttura, con l'adozione delle migliori tecnologie disponibili, tenuto conto delle implicazioni di carattere tecnico-economico.

All'Articolo 8 si definisce che gli interventi di risanamento acustico, nel caso di infrastrutture stradali esistenti (quelle effettivamente in esercizio o in corso di realizzazione o per la quale è stato approvato il progetto definitivo alla data di entrata in vigore del D.P.R. n. 142/2004), sono a carico del titolare della concessione edilizia o del permesso di costruire, se rilasciata dopo la data di entrata in vigore del D.P.R. n. 142/2004. Si dichiara inoltre che gli interventi di risanamento acustico sono sempre a carico del titolare della concessione edilizia o del permesso di costruire, per le strade di nuova realizzazione, ampliamenti in sede, affiancamenti e varianti, se rilasciata dopo la data di approvazione del progetto definitivo dell'infrastruttura stradale medesima.

A9 - Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 194

Scopo del Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 194 è il recepimento della direttiva 2002/49/CE del 25 giugno 2002 del Parlamento europeo e del Consiglio, relativa alla determinazione e gestione del rumore ambientale.

Tale recepimento è peraltro sin qui attuato solo parzialmente, in quanto è subito precisato che, laddove non esplicitamente modificate dal presente decreto, si continuano ad applicare le disposizioni della legge 26 ottobre 1995, n. 447, e successive modificazioni, nonché la normativa vigente in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico adottata in attuazione della citata legge n. 447 del 1995.

L'art. 1 definisce le finalità e il campo di applicazione del D.L., che è finalizzato a definire le competenze e le procedure per:

- l'elaborazione della mappatura acustica e delle mappe acustiche strategiche di cui all'articolo 3;
- l'elaborazione e l'adozione dei piani di azione di cui all'articolo 4;

Tronco Stradale di collegamento tra la S.P. 588 "Dei Due Ponti" e la S.P. n. 94 "Busseto – Polesine"

- assicurare l'informazione e la partecipazione del pubblico in merito al rumore ambientale ed ai relativi effetti.

L'art. 2 contiene solo una lunga sequenza di definizioni, e richiama a sua volta ulteriori definizioni di terminologia trasportistica derivanti dall'art. 3 del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285. E' degno di essere qui richiamato il fatto che, al posto dei "classici" descrittori acustici ambientali usati in Italia sin dal 1991, cioè il Leq diurno, il Leq notturno ed il livello differenziale, sono qui invece definiti il "nuovo" descrittore unico: Lden (Day-Evening-Night), che è un "singolo numero" che integra la storia temporale delle 24 ore, lungo la quale si applica una penalizzazione di 5 dB fra le 20 e le 22 e di 10 dB fra le 22 e le 06.

L'art. 3 fissa i termini temporali entro cui debbono essere redatte e trasmesse alla Regione le mappe acustiche di Lden. Questi termini sono:

- 30 giugno 2007 per gli agglomerati urbani che superano i 250.000 abitanti (Parma non rientra in questa categoria, il suo agglomerato urbano è inferiore ai 200.000 abitanti)
- 30 giugno 2007 per i grandi servizi pubblici di trasporto e le relative infrastrutture, riferiti ad assi stradali principali su cui transitano più di 6.000.000 di veicoli all'anno, ad assi ferroviari principali su cui transitano più di 60.000 convogli all'anno ed agli aeroporti principali.
- 31 dicembre 2006 nel caso in cui i grandi servizi pubblici di trasporto e le relative infrastrutture, di cui al punto precedente, si trovino in agglomerati urbani che superano i 250000 abitanti.
- 30 giugno 2012 per gli agglomerati urbani che superano i 100.000 abitanti.
- 30 giugno 2012 per i servizi pubblici di trasporto di qualsiasi dimensione.
- 31 dicembre 2011 nel caso in cui i servizi pubblici di trasporto e le relative infrastrutture, di cui al punto precedente, si trovino in agglomerati urbani che superano i 100000 abitanti.

Le modalità tecniche di redazione delle mappature acustiche saranno specificate con decreto entro 6 mesi dall'entrata in vigore di questo nuovo D.L. – pertanto attualmente nessuno sa bene come si debbano fare queste mappature del rumore.

L'art. 4 fissa in modo analogo le scadenze per la redazione e presentazione alla regione delle Mappe Strategiche (il nuovo documento che andrà a sostituire gli attuali Piani di Risanamento Acustico):

- 18 luglio 2008 per gli agglomerati urbani che superano i 250.000 abitanti (Parma non rientra in questa categoria, il suo agglomerato urbano è inferiore ai 200.000 abitanti);
- 18 luglio 2008 per i grandi servizi pubblici di trasporto e le relative infrastrutture, riferiti ad assi stradali principali su cui transitano più di 6.000.000 di veicoli all'anno, ad assi ferroviari principali su cui transitano più di 60.000 convogli all'anno ed agli aeroporti principali;
- 18 gennaio 2008 nel caso in cui i grandi servizi pubblici di trasporto e le relative infrastrutture, di cui al punto precedente, si trovino in agglomerati urbani che superano i 250000 abitanti;

- 18 luglio 2013 per gli agglomerati urbani che superano i 100.000 abitanti;
- 18 luglio 2013 per i servizi pubblici di trasporto di qualsiasi dimensione;
- 18 gennaio 2013 nel caso in cui i servizi pubblici di trasporto e le relative infrastrutture, di cui al punto precedente, si trovino in agglomerati urbani che superano i 100000 abitanti.

Anche per i piani d'azione, le modalità tecniche di redazione saranno specificate con decreto entro 6 mesi dall'entrata in vigore di questo nuovo D.L.

L'art. 5 stabilisce l'obbligatorietà dell'utilizzo del nuovo descrittore Lden, e subordinatamente anche del "vecchio" Lnight, per la redazione delle mappe acustiche di cui all'art. 3. Tuttavia, le modalità tecniche di conversione e ricalcolo dei valori limite definiti dal vigente DPCM 18/11/1997 saranno emanate con DPCM entro 120 giorni dall'entrata in vigore di questo D.L. In assenza di tale decreto, si debbono continuare ad utilizzare i descrittori acustici "classici" già definiti sulla base dell'art. 3 della legge n. 447/1995.

L'art. 6 stabilisce che entro 6 mesi dall'entrata in vigore sarà emanato il decreto ministeriale che definisce le nuove metodiche di calcolo numerico applicabili per la stima previsionale di Lden. L'allegato 2, comunque, indica alcune metodiche di calcolo utilizzabili in attesa dell'emanazione di questo decreto ministeriale.

Il D.L. prevede infine di diventare effettivamente operativo solo a seguito dell'emanazione di un apposito DPR adottato ai sensi dell'articolo 17, comma 1, della legge 23 agosto 1988, n. 400, sentita la Conferenza unificata, che conterrà le modifiche necessarie per coordinare con le disposizioni del presente decreto la normativa vigente in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico.

In pratica quindi, sebbene questo nuovo D.L. sia estremamente importante, in quanto ha dato inizio ad una procedura di completa revisione del quadro legislativo, che porterà anche a ridefinire i limiti di rumorosità e a dover sviluppare nuove tecniche di simulazione numerica, per l'attuale progetto preliminare non si hanno al momento ripercussioni di alcun genere, in assenza dei citati decreti applicativi.

A10 - Decreto Ministero dell'Ambiente 29 novembre 2000

Il decreto definisce i criteri per la predisposizione dei piani di contenimento e abbattimento del rumore nel settore delle infrastrutture di trasporto (stradale, ferroviario, aeroportuale). All'art. 1 la norma stabilisce i criteri tecnici da adottare da parte delle società e degli enti gestori delle infrastrutture di trasporto, ai fini della redazione di un piano di contenimento e abbattimento del rumore prodotto dall'infrastruttura stessa.

Nei successivi articoli sono definiti gli obblighi del gestore (art. 2), i criteri di priorità degli interventi (art. 3), gli obiettivi delle attività di risanamento (art. 4), gli oneri e le modalità di risanamento (art. 5), le attività di controllo (art.6).

L'articolo più importante è il n. 2, che stabilisce le attività da svolgere e le scadenze temporali delle stesse. Si distingue anzitutto tra tre tipi di infrastrutture:

- Stradali e ferroviarie di importanza locale e regionale
- Stradali e ferroviarie di importanza nazionale e interregionale
- Aeroporti

La prima scadenza temporale è prevista dopo 18 mesi dall'entrata in vigore del decreto, quindi è il 4 agosto 2002: entro tale data l'ente gestore dell'infrastruttura deve presentare alla regione competente una relazione sulla verifica del rispetto dei limiti di rumorosità, con individuazione delle aree ove essi sono superati.

Entro ulteriori 18 mesi dalla presentazione di tale relazione, l'ente gestore deve poi presentare il piano di contenimento ed abbattimento del rumore. Tale termine di 18 mesi scatta anche successivamente, in seguito a modificazioni delle infrastrutture o dei flussi veicolari insistenti sulle stesse, tali da scatenare un superamento "ex novo" dei limiti di rumorosità.

Gli obiettivi di risanamento previsti dal piano suddetto debbono poi essere effettivamente conseguiti entro ulteriori 15 anni, anche se la Regione può, in determinate situazioni, fissare un termine diverso.

Un ulteriore scadenza temporale è poi fissata dall'art.6 (Attività di controllo): entro il 31 marzo di ogni anno, e comunque entro tre mesi dall'entrata in vigore del decreto, gli enti gestori delle infrastrutture di trasporto debbono comunicare al Ministero dell'Ambiente, alla Regione ed al Comune, l'entità dei fondi accantonati annualmente e complessivamente a partire dalla data di entrata in vigore della L.447/95 e lo stato di avanzamento dei singoli interventi previsti, sia in corso che già conclusi.

Particolarmente interessanti sono poi i due allegati al decreto: l'allegato 1 contiene una metodica di quantificazione numerica dell'indice di priorità degli interventi di risanamento. Tale indice è ottenuto come somma dei prodotti fra la differenza fra livello sonoro prodotto dall'infrastruttura e limite di legge, ed il numero R di recettori compreso in ciascuna area caratterizzata da un valore uniforme di tale differenza. Il numero di ricettori R si calcola convenzionalmente come prodotto dell'area per l'indice demografico statistico ad essa pertinente, a parte il caso delle strutture sanitarie (n. di posti letto x 4) e delle scuole (n. degli alunni x 3).

L'allegato 2 descrive infine le modalità tecniche di valutazione della rumorosità mediante modelli di calcolo numerico, di cui sono descritte le caratteristiche funzionali minime, ed i criteri di progettazione acustica delle opere di mitigazione. E' importante osservare come in entrambi i casi i requisiti tecnici previsti coincidano esattamente con le capacità previsionali espletate dai modelli di calcolo Citymap, che furono sviluppati in collaborazione con il Ministero dell'Ambiente, e che sono stati utilizzati nel presente studio.

A11 - D.G. della Regione Emilia Romagna n. 2002/45 del 21/1/2002

Il D.G. della Regione Emilia Romagna 2002/45 del 21/1/2002 " *Criteri per il rilascio delle autorizzazioni per particolari attività ai sensi dell'art. 11, comma 1, della L.R. del 09/05/2001, n. 15 recante disposizioni in materia d'inquinamento acustico*", detta gli indirizzi agli Enti locali per il rilascio, da parte degli enti locali, delle autorizzazioni comunali in deroga ai limiti fissati dalla classificazione acustica del territorio per lo svolgimento di attività temporanee e di manifestazioni in luogo pubblico o aperto al pubblico e per spettacoli a carattere temporaneo ovvero mobile qualora comportino l'impiego di sorgenti sonore o effettuino operazioni rumorose.

In particolare per cantieri edili, stradali ed assimilabili sono previste le seguenti norme:

- all'interno dei cantieri edili, stradali ed assimilabili, le macchine in uso dovranno operare in conformità alle direttive CE in materia d'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto, così come recepite dalla legislazione italiana;
- all'interno degli stessi dovranno comunque essere utilizzati tutti gli accorgimenti tecnici e gestionali al fine di minimizzare l'impatto acustico verso l'esterno;
- le attività dei cantieri edili, stradali ed assimilabili devono essere eseguite nei giorni feriali dalle ore 7.00 alle ore 20.00; le lavorazioni particolarmente disturbanti (ad es. escavazioni e demolizioni, ecc.) e l'impiego di macchinari rumorosi (ad es. martelli demolitori, flessibili, betoniere, seghe circolari, gru, ecc.) deve essere svolto nei giorni feriali dalle ore 8.00 alle ore 13.00 e dalle ore 15.00 alle ore 19.00;
- negli orari in cui è consentito l'impiego di macchinari rumorosi non dovrà mai essere superato il valore limite di $L_{Aeq} = 70$ dBA rilevato in facciata ad edifici con ambienti abitativi; ai cantieri per opere di ristrutturazione o manutenzione straordinaria di fabbricati si applica il limite di $L_{Aeq} = 65$ dBA misurato nell'ambiente disturbato a finestre chiuse;
- le attività nei cantieri edili, stradali ed assimilabili, se avvengono nei limiti di orario e di rumore di cui sopra devono essere oggetto di preventiva comunicazione da rendersi contestualmente alla comunicazione d'inizio lavori; in tale comunicazione deve essere specificato: *"L'attivazione di macchine rumorose e l'esecuzione di lavori rumorosi saranno effettuate nel rispetto dei limiti di orario, giorni feriali dalle ore 8.00 alle ore 13.00 e dalle ore 15.00 alle ore 19.00, e nel rispetto dei limiti di emissione sonora di $L_{Aeq} = 70$ dBA, rilevato in facciata ad edifici con ambienti abitativi"*;
- se le attività nei cantieri edili, stradali ed assimilabili, non avvengono nei limiti di orario e di rumore di cui sopra è obbligatorio richiedere specifica autorizzazione in deroga, nei tempi utili per l'ottenimento dell'autorizzazione medesima;
- l'autorizzazione in deroga può essere rilasciata, previa acquisizione del parere di ARPA entro 30 giorni dalla richiesta.

A12 - Direttiva Regionale 673/2004

La Direttiva Regionale 673/2004 riguarda i Criteri tecnici per la redazione della documentazione di previsione d'impatto acustico e della valutazione del clima acustico ai sensi della LR 9 maggio 2001, n. 15 recante 'Disposizioni in materia d'inquinamento acustico'.

All'art. 3 di tale direttiva è considerata la documentazione di previsione di impatto acustico per nuove infrastrutture stradali, loro modifica o potenziamento da redigere nei casi previsti dalla Legge Quadro 447/1995, articolo 8, comma 2, lettera b) deve contenere, oltre a quanto previsto all'articolo 1, i dati e le informazioni di seguito elencate:

- indicazione della tipologia di strada secondo le categorie individuate dal D.Lgs. 285/92 e successive modifiche ed integrazioni;
- descrizione del tracciato stradale, con relative quote, nonché la previsione dei flussi di traffico nelle ore di punta, del flusso medio giornaliero, suddiviso per il periodo diurno e per il periodo notturno, della composizione per le diverse categorie di mezzi (leggeri e pesanti), specificando le relative velocità medie;
- misure fonometriche volte a caratterizzare lo stato ante operam. I dati devono permettere l'individuazione e caratterizzazione acustica delle singole sorgenti sonore preesistenti all'opera;
- eventuali modifiche dei flussi di traffico e variazioni, tramite stime previsionali, dei livelli equivalenti di lungo termine ($L_{Aeq,TL}$) per intervalli orari significativi e per i due periodi della giornata, indotti in corrispondenza di infrastrutture stradali già in esercizio;
- individuazione in planimetria, anche con l'ausilio di rilievi fotografici, di un numero di punti sufficienti a descrivere l'impatto acustico dell'opera in prossimità di potenziali ricettori. Per tali punti devono essere forniti i dati previsionali dei livelli sonori desumibili da opportune procedure di calcolo. Inoltre, per le infrastrutture di valenza sovracomunale o di scorrimento, deve essere descritta la propagazione sonora tramite curve di isolivello ad un'altezza dal piano di campagna di quattro metri.

ALLEGATO B – METODI DI ANALISI DELLO STATO AMBIENTALE

B1 - Modello ISO 9613 per il disturbo causato dalle sorgenti fisse

La norma ISO 9613 (prima edizione 15 dicembre 1996), intitolata "Attenuation of sound during propagation outdoors", consiste di due parti:

1. Calculation of the absorption of sound by the atmosphere;
2. General method of calculation.

La prima parte tratta con molto dettaglio l'attenuazione del suono causata dall'assorbimento atmosferico; la seconda parte tratta vari meccanismi d'attenuazione del suono durante la sua propagazione nell'ambiente esterno (diffrazione, schermi, effetto suolo). Il trattamento del suono descritto nella seconda parte è riconosciuto dalla stessa norma come "più approssimato ed empirico" rispetto a quanto descritto nella prima parte.

Scopo della ISO 9613-2 è fornire un metodo ingegneristico per calcolare l'attenuazione del suono durante la propagazione in esterno. La norma calcola il livello continuo equivalente della pressione sonora pesato in curva A che si ottiene assumendo sempre condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione del suono, cioè propagazione sottovento o in condizioni di moderata inversione al suolo. In tali condizioni la propagazione del suono è curvata verso il terreno.

Il metodo contiene una serie di algoritmi in banda d'ottava per il calcolo dei seguenti effetti:

- attenuazione per divergenza geometrica;
- attenuazione per assorbimento atmosferico;
- attenuazione per effetto del terreno;
- riflessione del terreno;
- attenuazione per presenza di ostacoli che si comportano come schermi.

Le sorgenti sonore trattate dalla ISO 9613-2 sono sorgenti puntiformi descritte tramite i valori di direttività e di potenza sonora in banda d'ottava (dB):

- la potenza sonora in banda d'ottava (dB) è convenzionalmente specificata in relazione ad una potenza sonora di riferimento di un picowatt; i valori vanno inseriti per ogni banda d'ottava (62,5Hz ; 125Hz; 250Hz; 500Hz; 1kHz; 2kHz; 4kHz; 8kHz);
- la direttività (dB) è un termine che dipende dalla frequenza e dalla direzione e rappresenta la deviazione del livello equivalente di pressione sonora (SPL) in una specifica direzione rispetto al livello prodotto da una sorgente omnidirezionale.

Le equazioni di base utilizzate dal modello della ISO 9613-2 sono:

$$L_p(f) = L_w(f) + D(f) - A(f)$$

dove:

L_p = livello di pressione sonora equivalente in banda d'ottava (dB) generato nel punto p dalla sorgente w alla frequenza f;

L_w = livello di potenza sonora in banda d'ottava alla frequenza f (dB) prodotto dalla singola sorgente w relativa ad una potenza sonora di riferimento di un picowatt;

D = indice di direttività della sorgente w (dB);

A = attenuazione sonora in banda d'ottava (dB) alla frequenza f durante la propagazione del suono dalla sorgente w al ricevitore p;

Il termine di attenuazione A è espresso dalla seguente equazione:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

dove:

A_{div} = attenuazione dovuta alla divergenza geometrica;

A_{atm} = attenuazione dovuta all'assorbimento atmosferico;

A_{gr} = attenuazione dovuta all'effetto del suolo;

A_{bar} = attenuazione dovuta alle barriere;

A_{misc} = attenuazione dovuta ad altri effetti (descritti nell'appendice della norma).

Il valore totale del livello sonoro equivalente ponderato in curva A si ottiene sommando i contributi di tutte le bande d'ottava e di tutte le sorgenti presenti secondo l'equazione seguente:

$$Leq(dBA) = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^8 10^{0,1(L_p(ij)+A(j))} \right) \right)$$

dove:

n = numero di sorgenti;

j = indice che indica le otto frequenze standard in banda d'ottava da 63 Hz a 8kHz;

A_f = indica il coefficiente della curva ponderata A.

Divergenza geometrica

L'attenuazione per divergenza è calcolata secondo la seguente formula:

$$A_{div} = 20 \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + 11 \quad dB$$

dove:

d = distanza tra la sorgente e il ricevitore in metri;

d₀ = distanza di riferimento (pari a 1 metro).

Assorbimento atmosferico

L'attenuazione per assorbimento atmosferico è calcolata secondo la formula:

$$A_{atm} = \alpha \cdot d / 1000$$

dove:

d = distanza di propagazione in metri;

α = coefficiente di assorbimento atmosferico in decibel per chilometro per ogni banda d'ottava.

Assorbimento del terreno

La ISO 9613-2 prevede due metodi per il calcolo dell'attenuazione dovuta all'assorbimento del terreno: il metodo completo e il metodo alternativo.

Il metodo completo si basa sull'ipotesi che nelle condizioni meteorologiche di propagazione del suono previste dalla norma l'attenuazione dovuta all'interferenza del suono si realizzi principalmente in due aree limitate una vicina alla sorgente e una vicina al recettore. Queste due aree hanno rispettivamente estensione massima pari a trenta volte l'altezza della sorgente sul suolo e trenta volte l'altezza del recettore sul suolo. L'equazione utilizzata è la seguente:

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m$$

dove :

A_s = attenuazione calcolata nella regione della sorgente;

A_r = attenuazione calcolata nella regione del recettore;

A_m = attenuazione calcolata nella regione di mezzo (che può anche non esserci).

La Tab. ALL. B1 riporta lo schema di calcolo descritto nella norma.

Tabella ALL. B1 – Schema di calcolo per la determinazione dell'attenuazione nella regione della sorgente e del ricevitore.

Hz	As, Ar (dB)	Am (dBI)
63	-1,5	-3q
125	-1,5+G·a(h)	-3q(1-Gm)
250	-1,5+G·b(h)	-3q(1-Gm)
500	-1,5+G·c(h)	-3q(1-Gm)
1000	-1,5+G·d(h)	-3q(1-Gm)
2000	-1,5(1-G)	-3q(1-Gm)
4000	-1,5(1-G)	-3q(1-Gm)
8000	-1,5(1-G)	-3q(1-Gm)

$$a(h) = 1,5 + 3 \cdot e^{-0,12(h-5)^2} (1 - e^{-d/50}) + 5,7 \cdot e^{-0,09h^2} (1 - e^{-2,8 \cdot 10^{-6} \cdot d^2})$$

$$b(h) = 1,5 + 8,6 \cdot e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d/50})$$

$$c(h) = 1,5 + 14 \cdot e^{-0,46h^2} (1 - e^{-d/50})$$

$$d(h) = 1,5 + 5 \cdot e^{-0,9h^2} (1 - e^{-d/50})$$

dove :

h = nel calcolo di A_s rappresenta l'altezza sul suolo in metri della sorgente, nel calcolo di A_r rappresenta l'altezza sul suolo in metri del ricevitore;

d = è la proiezione sul piano della distanza in metri tra sorgente e ricevitore;

$$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d}$$

q = se $d \leq 30 \cdot (h_s + h_r)$ il termine q vale 0 altrimenti vale

G = Ground factor, fattore che descrive le proprietà acustiche del terreno compreso tra 0 (Hard ground) e 1 (Porous Ground).

Il metodo alternativo, rispetto a quello completo, è maggiormente semplificato e calcola l'attenuazione dovuta al terreno ponderata in curva A (e non quindi in banda d'ottava):

$$A_{gr} = 4,8 - \frac{2 \times h_m}{d} \times \left(17 + \frac{300}{d} \right)$$

dove:

h_m = altezza media del raggio di propagazione in metri;

d = distanza tra la sorgente e il ricevitore in metri;

Assorbimento dovuto a schermi

Le condizioni per considerare un oggetto come schermo sono le seguenti:

- la densità superficiale dell'oggetto è almeno pari a 10 Kg/m²;
- l'oggetto ha una superficie uniforme e compatta (si ignorano quindi molti impianti presenti in zone industriali);
- la dimensione orizzontale dell'oggetto normale al raggio acustico è maggiore della lunghezza d'onda della banda nominale in esame.

Il modello di calcolo valuta solo la diffrazione dal bordo superiore orizzontale secondo l'equazione :

$$A_{bar} = D_z - A_{gr}$$

dove:

D_z = attenuazione della barriera in banda d'ottava;

A_{gr} = attenuazione del terreno in assenza della barriera.

L'equazione che descrive l'effetto dello schermo è la seguente:

$$D_z = 10 \times \log(3 + (C_2 / \lambda) \times C_3 \times z \times K_{met}) \quad dB$$

dove:

C_2 = uguale a 20;

C_3 = vale 1 in caso di diffrazione semplice mentre in caso di diffrazione doppia vale:

$$C_3 = (1 + (5 \times \lambda / e)^2) / (1/3 + (5 \times \lambda / e)^2)$$

λ = lunghezza d'onda nominale della banda d'ottava in esame;

z = differenza tra il percorso diretto del raggio acustico e il percorso diffratto calcolato come mostrato nelle immagini seguenti;

K_{met} = correzione meteorologica data da $K_{met} = \exp(-(1/2000) \sqrt{d_{ss} \times d_{sr} \times d / (2z)})$;

e = distanza tra i due spigoli in caso di diffrazione doppia.



Schema esemplificativo dei tipi di schermi e delle grandezze in gioco.

Attenuazione dovuta a propagazione attraverso vegetazione

L'attenuazione dovuta alla vegetazione è molto limitata e si verifica solo se la vegetazione è molto densa al punto da bloccare la vista. L'attenuazione si verifica solo nei pressi della sorgente e nei pressi del recettore secondo la seguente Tab. ALL. B2.

Tabella ALL. B2 – Confronto tra lo spessore della barriera "d" in metri e il corrispondente valore di attenuazione in dB/m per banda d'ottava (per valori di d superiori a 200 metri si assume comunque d = 200 metri).

(m)	63 (Hz)	125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	8000 (Hz)
10 ≤ d ≤ 20	0	0	1	1	1	1	2	3
20 ≤ d ≤ 200	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

Attenuazione dovuta a propagazione attraverso siti industriali

L'attenuazione è linearmente proporzionale alla lunghezza del percorso curvo d che attraversa il sito industriale secondo la seguente Tab. ALL. B3.

Tabella ALL. B3 – Valore di attenuazione in dB/m per banda d'ottava (tale attenuazione non deve comunque superare 10 dB).

63 (Hz)	125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	8000 (Hz)
0	0,015	0,025	0,025	0,02	0,02	0,015	0,015

Attenuazione dovuta a propagazione attraverso siti edificati

L'attenuazione dovuta all'attraversamento di zone edificate è calcolata secondo la formula:

$$A_{\text{haus}} = 0,1 \times B \times d$$

dove:

B = densità degli edifici nella zona data dal rapporto tra la zona edificata e la zona libera;

d = lunghezza del raggio curvo che attraversa la zona edificata sia nei pressi della sorgente che nei pressi del recettore, calcolato come descritto in precedenza.

Si tenga presente che:

- il valore dell'attenuazione non deve superare i 10 dB;
- se il valore dell'attenuazione del suolo calcolato come se le case non fossero presenti è maggiore dell'attenuazione calcolata con l'equazione sopra, allora tale ultimo termine viene trascurato.