



Committente

COMUNE DI BERGAMO
Direzione Verde pubblico e Ambiente – Servizio Ecologia e Ambiente
Piazza Matteotti 3 – 24133 Bergamo (BG)

Progetto

Aggiornamento della Mappatura Acustica, della Mappatura Acustica Strategica,
dei Piani di Azione e compilazione Report Mechanism



MAPPATURA ACUSTICA

Aggiornamento Anno 2017

Maggio 2017

Relazione Tecnica



Il presente documento è stato elaborato dalla:

Tecno Habitat S.p.A.

*Via N. Battaglia 22 – 20127 MILANO
(MI)*

Telefono: (+39) 02-26.148.322 – Fax: (+39) 02-26.145.697

L.C.E. S.r.l.

Via dei Platani 7/9 – 20090 Opera

Tel: (+39) 02-57602858 □ Fax: (+39) 02-57607234

Ne hanno curato la stesura:

SERGENTI Marco

(Tecnico Competente in Acustica – Regione Lombardia – D.P.G.R. n° 556 del 10.02.1998)

DI FELICE Massimo

(Tecnico Competente in Acustica – Regione Lombardia – D.P.G.R. n° 2572 del 25.06.1997)

Staff:

MAGNI Lorenzo, PIRAS Riccardo, VUONO Marco

Sommario

Sommario.....	3
1 Premessa	4
1.1 La Mappatura Acustica	4
1.2 Obblighi e adempimenti	4
2 Descrizione degli agglomerati e delle infrastrutture	7
2.1 Caratteristiche del territorio e dell'infrastruttura	8
3 Procedura e metodi	10
3.1 Caratterizzazione delle sorgenti	10
3.2 Base dati territoriali	11
3.3 Modello e sua implementazione.....	11
3.4 Software implementazione modello	12
3.5 Parametri di calcolo.....	12
3.6 Modellizzazione degli elementi territoriali.....	13
3.7 Costruzione della mappatura acustica	13
3.8 Mappe di rumore	14
3.9 Stima della popolazione esposta.....	14
4 Misure antirumore già in atto e progetti in preparazione	16
5 I rilievi fonometrici.....	18
6 Modellistica matematica sul rumore	19
6.1 Grandezze considerate ai fini dell'attenuazione acustica	19
6.2 Specifiche del modello matematico usato	20
6.3 Tecnica di ritracciamento dei raggi (<i>Raytracing</i>)	21
6.4 Le tipologie di sorgenti	21
6.5 La diffrazione degli ostacoli	22
6.6 L'assorbimento di elementi	23
6.7 Quote di calcolo delle mappe.....	23
6.8 Riferimenti normativi del modello utilizzato	24
7 Accuratezza delle simulazioni	25
7.1 Stima delle incertezze dei dati di ingresso del modello	25
7.2 Stima delle incertezze dei dati di uscita del modello	25
7.3 Caratterizzazione delle incertezze associate a diverse impostazioni del modello	26
7.4 Incertezze del modello derivanti da valori usati per la validazione dello stesso	27
Elementi che intervengono nella stima delle incertezze	27
7.5 Incertezze associate ai diversi parametri	29
7.6 Calcolo delle incertezze associate alle misure	30
7.7 Stima delle incertezze delle simulazioni modellistiche	32
8 Risultati	34
8.1 Dati specifici di input	34
8.2 Risultati mappatura acustica	34
9 Conclusioni.....	35

1 Premessa

Il presente lavoro illustra la metodologia seguita nella stesura dell'aggiornamento della Mappatura Acustica per l'anno 2017 delle strade in gestione al Comune di Bergamo con traffico superiore ai 3.000.000 veicoli annuali, come previsto nel Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 194, "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale". Il Decreto stabilisce che sia redatta la Mappatura Acustica per i Comuni che superano i 100.000 abitanti e definibili come agglomerato. Il Comune di Bergamo ricade in questa definizione.

1.1 La Mappatura Acustica

L'Amministrazione del Comune di Bergamo ha disposto delle indagini necessarie alla conoscenza dei livelli di rumore prodotti dalle proprie infrastrutture stradali. L'obiettivo è quello di raccogliere e organizzare gli elementi preliminari di conoscenza necessari alla predisposizione del piano d'azione e del piano di risanamento acustico richiesti alla Provincia dalle normative vigenti.

In particolare l'incarico include la modellizzazione di:

- 1) la mappa dei livelli di rumore presenti nella fascia di pertinenza di tutte le strade e tramvie a gestione comunale indicando ove necessario le aree da risanare ai sensi del DPR 30 marzo 2004 n. 142: "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare".
- 2) la mappatura acustica del rumore delle strade provinciali in cui transitano oltre 3.000.000 veicoli/anno.

Il presente lavoro si è articolato in quattro fasi:

- Costruzione di una base di dati digitali contenenti le informazioni necessarie a scala comunale
- Campagna di misura per il rilievo dei livelli di rumore presenti in punti specifici del reticolo stradale provinciale. I risultati saranno utilizzati per tarare un modello di produzione e diffusione del rumore, basato sulle caratteristiche dei flussi di traffico esistenti.
- Applicazione del modello di simulazione del rumore stradale per la predisposizione delle mappe di rumore della rete stradale comunale.
- Applicazione del modello di simulazione del rumore stradale per la mappatura acustica degli assi stradali a gestione comunale con un traffico superiore ai 3.000.000 di veicoli/anno.

1.2 Obblighi e adempimenti

Il Decreto Legislativo (D.Lgs.) n. 194 del 19/08/2005: "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione ed alla gestione del rumore ambientale" ha recepito nell'ordinamento italiano la Direttiva 2002/49/CE: "Determinazione e gestione del rumore ambientale".

La direttiva nasce dalla necessità di mettere a punto misure ed iniziative specifiche per il contenimento dell'inquinamento acustico, a fronte di un contesto europeo che lamenta l'assenza di dati affidabili e comparabili relativi alle diverse sorgenti di rumore. L'obiettivo della direttiva è quindi quello di far sì che i livelli di inquinamento acustico siano rilevati, ordinati e presentati da tutti gli stati secondo criteri confrontabili. Ciò presuppone l'uso di descrittori e metodi di determinazione armonizzati. I descrittori



acustici selezionati dalla Direttiva sono Lden per determinare il disturbo sulle 24 ore e Ln per determinare i disturbi del sonno nel periodo notturno (dalle ore 22:00 alle ore 06:00).

I principali strumenti introdotti dalla Direttiva per raggiungere i propri obiettivi sono:

- la determinazione dell'esposizione al rumore ambientale mediante la mappatura acustica delle principali sorgenti di rumore presenti sul territorio, da realizzarsi sulla base di metodi di determinazione comuni agli stati membri;
- l'informazione e la partecipazione del pubblico in merito al rumore ambientale ed ai relativi effetti per garantire un processo democratico e condiviso di lotta al rumore;
- l'attuazione di piani d'azione per evitare e/o ridurre il rumore ambientale nonché per evitare aumenti di rumore nelle zone silenziose.

Il primo passo che deve essere intrapreso è quindi quello della predisposizione della mappatura acustica. Quest'ultima è definita come: *"la rappresentazione di dati relativi ad una situazione di rumore esistente o prevista in una zona, relativa ad una determinata sorgente, in funzione di un descrittore acustico che indichi il superamento di pertinenti valori limite vigenti, il numero di persone esposte o il numero di abitazioni esposte a determinati valori di rumore"*.

Nel caso delle infrastrutture stradali, la mappatura acustica deve interessare gli "assi stradali principali", cioè quelle strade dove transitano ogni anno più di 3.000.000 veicoli.

In base al Decreto Legislativo n. 194/2005 spetta ai gestori eseguire la mappatura acustica del rumore prodotto dalle proprie infrastrutture. Il Comune di Bergamo, in quanto gestore di strade su cui transitano più di 3.000.000 di veicoli/anno e della tramvia, ha affidato il compito di realizzare la sua mappatura alla scrivente. Obbligo del Comune sarà poi quello di trasmettere i risultati della mappatura alla Regione.

Si ricorda che oltre a predisporre e trasmettere i risultati alla Regione, il Comune ha anche l'obbligo di comunicare e divulgare gli esiti della mappatura alla popolazione, prevedendo un periodo di consultazione. La partecipazione attiva e consapevole del pubblico, da perseguire soprattutto nella fase progettuale di redazione dei piani d'azione, è uno dei pilastri della politica comunitaria di lotta al rumore.

I contenuti e le procedure per l'esecuzione della mappatura acustica sono sommariamente descritti negli Allegati 4 e 6 del D.Lgs. 194/2005. Il decreto prevedeva l'emanazione di linee guida più dettagliate da parte del Ministero dell'Ambiente e del Territorio che ad oggi non sono ancora state emanate.

A fronte del sussistere di un quadro operativo con diverse incertezze tecniche ed interpretative, un meritorio contributo chiarificatore è venuto dalla Regione Lombardia. Il documento: *"Mappatura acustica delle infrastrutture stradali (D.Lgs. 194/2005). Specifiche per la fornitura dei dati alla Regione Lombardia"*, della DG Qualità dell'Ambiente della Giunta Regionale, ha uniformato, almeno a livello regionale, i comportamenti e le modalità di lavoro di tecnici e gestori. In particolare la regione ha ufficializzato l'utilizzo del documento "GoodPractice Guide for Strategic Noise Mapping and Production of Associated Data on Noise Exposure - Version 2" del gennaio 2006. Questo documento, elaborato da un gruppo di lavoro sovranazionale gestito dalla Commissione Europea, condensa gli sforzi di approfondimento e risoluzione delle problematiche relative all'interpretazione della direttive ed all'esecuzione della mappatura acustica.

La predisposizione della mappatura acustica delle strade del Comune di Bergamo è stata realizzata in piena coerenza con le indicazioni degli Allegati 4 e 6 del D.Lgs. 194/2005 e con le linee guida regionali ed europee. La Regione Lombardia ha inteso associare alla consegna degli elaborati relativi alla mappatura acustica prevista per gli assi principali, anche la verifica del rispetto dei limiti previsti dal DPR 30/03/2004 n.



142: "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare", normativa strettamente nazionale ancora in vigore nonostante il recepimento della Direttiva 2002/49/CE.

2 Descrizione degli agglomerati e delle infrastrutture

<i>Denominazione della strada</i>	<i>Traffico annuale 2016</i>
Via Borgo Palazzo	6.387.000,00
Viale Vittorio Emanuele	4.707.000,00
Via Gabriele Camozzi	7.665.000,00
Via Stezzano – Via San Bernardino	5.547.000,00
Viale delle Mura	3.156.000,00
Viale Europa	4.449.000,00
Via Broseta	5.400.000,00
Via Mazzini	3.325.000,00
Via Maj	5.840.000,00
Via Statuto	2.445.000,00
Via Palma il Vecchio – Via Baschenis	5.830.000,00
Via Garibaldi	6.450.000,00
Via San Giorgio – Via Paleocapa	9.125.000,00
Via Bonomelli – Via Simoncini	9.818.000,00
Via Verdi – Via Petrarca	6.570.000,00
Via Bono	5.650.000,00
Via Papa Giovanni XVIII – Viale Roma	9.490.000,00
Via Briantea – Via Carducci	10.765.000,00
Via Corridoni	6.020.000,00
Via Suardi	4.015.000,00
Via San Giovanni Bosco	8.745.000,00
Via Grumello – Via Moroni – Via dei Caniana	10.363.000,00
Via dei Bersaglieri	7.117.000,00
Via Correnti	17.697.000,00
Via della Fara	2.697.000,00
Via Battisti	10.487.000,00
Galleria Conca d'Oro	5.210.000,00
Via Zanica	7.800.000,00
Via Ghislandi	3.650.000,00
Via Sombreno	2.750.000,00
Via Orio	4.486.000,00
Via D'Acquisto	7.550.000,00
Via Pontesecco	10.950.000,00
Circonvallazione Fabriciano	10.180.000,00
Circonvallazione Mugazzone	27.700.000,00
Circonvallazione Leuceriano	24.143.000,00
Circonvallazione Paltriniano	23.740.000,00
Circonvallazione Plorzano	26.860.000,00
Circonvallazione delle Valli	27.940.000,00
Via Martin Luther King	7.690.000,00
Via Lunga	8.776.000,00
Via Autostrada	10.713.000,00

I dati relativi al T.G.M. e all'estensione sono stati forniti dal Comune di Bergamo.



2.1 Caratteristiche del territorio e dell'infrastruttura

Strade

La città è attraversata dall'Autostrada A4, che la collega a Milano e Brescia. Bergamo è circondata su tre lati, ovest, sud ed est, da un sistema di strade tangenziali collegato all'autostrada, da cui partono le strade provinciali e statali dirette verso le valli e verso i capoluoghi delle province confinanti. Il Rondò delle Valli, altresì chiamato del Largo Decorati al Valor Civile, è una rotonda importante nel sistema viabilistico della città. Situato a nord-est, collega le strade statali e provinciali delle valli Seriana e Brembana con la circoscrizione che si snoda a sud del capoluogo, nonché col centro cittadino. Negli anni passati è stato affiancato da un sottopasso in direzione Val Brembana e da un cavalcavia in direzione Val Seriana.

Ferrovia

Dalla stazione ferroviaria partono treni per Milano, via Treviglio e via Carnate, per Brescia, per Lecco, per Cremona e per Seregno.

Linea Bergamo-Treviglio Ovest: è la linea, che collega Bergamo con Milano Via Treviglio, allacciandosi alla Ferrovia Milano-Venezia ed è stata raddoppiata negli ultimi anni.

Linea Brescia-Bergamo: La linea è servita da treni regionali Brescia-Bergamo ed è qualificata come complementare. La linea è una ferrovia a scartamento ordinario e a binario semplice. Il tratto Rovato-Brescia è a doppio binario, in comune con la Milano-Venezia.

Linea Bergamo-Lecco: La linea è servita da treni regionali Bergamo-Lecco ed è qualificata come complementare. La linea è una ferrovia a scartamento ordinario e a binario semplice, tranne la tratta Lecco – Calolziocorte, comune con la ferrovia Monza-Lecco, a doppio binario.

Aeroporto

Bergamo è servita dall'aeroporto di Bergamo-Orio al Serio, da cui partono frequenti collegamenti con numerose città d'Italia e d'Europa, e che rappresenta il terzo polo aeroportuale di Milano. Dal 2010 l'aeroporto di Orio al Serio è il quarto scalo d'Italia considerando numero passeggeri e movimentazione merci, dopo Roma-Fiumicino, Milano-Malpensa e Milano-Linate.

Mobilità urbana

Per quanto riguarda il traffico urbano, esiste una rete di autobus, che collega i diversi quartieri della città ed i comuni vicini. Due linee di funicolare collegano infine città bassa (viale Vittorio Emanuele II) a città alta (piazza Mercato delle Scarpe) e città alta (porta Sant'Alessandro) con il colle di San Vigilio.

La Funicolare di Bergamo Alta è uno dei due impianti di funicolare della città di Bergamo. Costruita nel lontano 1887, collega Città Alta, situata sul colle, al centro cittadino.

La Funicolare di Bergamo-San Vigilio è il secondo impianto di funicolare della città di Bergamo. Inaugurata nel 1912, e collega la città alta (porta Sant'Alessandro) con il colle di San Vigilio.

Nel 2009 è stata attivata una linea metrotramviaria che dalla stazione ferroviaria raggiunge Albino, realizzata sul sedime della soppressa Ferrovia della Valle Seriana. La linea, nota come "Tram delle Valli" fa parte di un progetto ampio che vedrà negli anni a venire anche la costruzione di una seconda linea che



collegherà la città anche con la Valle Brembana, sempre seguendo il percorso della Ferrovia della Valle Brembana, altresì soppressa alla fine degli Anni Sessanta.

La stazione principale degli autobus ed il capolinea della metrotramvia sono situate in prossimità della stazione ferroviaria.

Industrie

Ai fini della redazione della Mappa acustica strategica sono state individuate le industrie sottoposte ad Autorizzazione Integrata Ambientale (di seguito, per brevità, AIA). Il Decreto Legislativo del 19 agosto 2005 n° 194 definisce infatti i «siti di attività industriale» come le aree classificate in classe V o VI, ai sensi delle norme vigenti, in cui sono presenti attività industriali quali quelle definite nell'Allegato 1 del Decreto Legislativo 18 febbraio 2005, n° 59 avente ad oggetto "Attuazione integrale della Direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento". Sono state individuate le 4 attività elencate nella seguente tabella .

Nome azienda	Sito Impianto	Coordinate (WGS 84)
Arti Grafiche Srl	Via per Zanica, 92	45.671515, 9.672452
Mazzoleni Trafileries Bergamasche Spa	Via del Ponte Pietra, 2	45.710193, 9.682328
Ambrogio Pagani Spa	Str. Cascinello, 9	45.663714, 9.660205
ZincoGalv Spa	Via F.lli Bandiera, 31	45.674277, 9.636772

I dati acustici delle quattro aziende considerate sono stati forniti dal Comune di Bergamo e sono stati ricavati da misure fonometriche effettuate in precedenza non dalla scrivente, ma da altre società di consulenza.

I dati ricavati sono stati inseriti all'interno del modello per la taratura e l'impatto delle industrie in oggetto è stato considerato all'interno della mappatura acustica complessiva.

3 Procedura e metodi

La costruzione della mappatura acustica degli assi con traffico superiore ai 3.000.000 veicoli annuali gestiti dal Comune di Bergamo, ha seguito un percorso decisamente lungo ed articolato.

E' stata eseguita una campagna di misure a scopo di raccolta di informazioni relative allo stato di clima acustico del territorio e a scopo di taratura del modello di simulazione acustica e validazione finale dei dati ottenuti. La campagna di misura è stata effettuata programmando un alto numero di rilievi fonometrici estesi su tutto il territorio comunale.

Limitando la descrizione al percorso intrapreso per la costruzione della mappatura acustica, i principali passi intrapresi sono stati i seguenti.

- Caratterizzazione delle sorgenti. Per ogni tratto stradale in oggetto si è così proceduto: attualizzazione dei valori orari di traffico, attribuzione della velocità media di percorrenza, caratterizzazione del percorso stradale.
- Basi dati Territoriali. Costruzione delle basi dati informative territoriali per l'individuazione dei recettori sensibili.
- Modello. Applicazione di un modello a griglia per la determinazione della distribuzione spaziale dei livelli di L_{den} e L_n attorno alle infrastrutture. Validazione dei risultati anche per mezzo del confronto con gli esiti delle misure effettuate in campo.
- Mappatura acustica. Classificazione degli edifici sulla base del criterio della facciata più esposta, sia rispetto a L_{den} che a L_n ; calcolo delle superficie e del numero di edifici compresi tra due isofone di L_{den} .
- Stime della popolazione esposta.

3.1 Caratterizzazione delle sorgenti

Il tracciato degli assi stradali oggetto del presente studio è stato fornito dal Comune di Bergamo in formato Shapefile sovrapponibile alla cartografia tecnica della Regione Lombardia.

Il tematismo di partenza è stato elaborato al fine di ottenere un file contenente i dati morfologici ed urbanistici nel formato e con le informazioni richieste dal software che implementa il modello di diffusione del rumore. Le principali elaborazioni eseguite sono state le seguenti:

- Verifica della continuità topologica degli archi relativi ad ogni singola strada ed eliminazione delle eventuali interruzioni dovute ad errori di digitalizzazione;
- Eliminazione dei nodi di interruzione associati a discontinuità non significative da un punto di vista dell'emissione di rumore: passaggi a livello, ponti, manufatti, ecc.
- Suddivisione degli archi stradali unicamente in relazione a variazioni che hanno effetto sulla produzione di rumore: variazione dei limiti di velocità, intersezioni che comportano una variazioni del traffico, attraversamento dei centri urbani;
- Attribuzione agli archi di ogni strada dei valori orari di flusso suddivisi tra veicoli pesanti e veicoli leggeri. L'attribuzione è avvenuta a partire dai dati di censimento esistenti.



Anche i dati di traffico sono stati forniti dall'Amministrazione Comunale. Le strade in questione sono state censite ripetutamente ed i valori di traffico considerati sono quindi aggiornati ed affidabili.

Ad ogni arco sono stati associati i valori di velocità. Ai tratti urbani, o in presenza di specifici limiti, si è attribuita la velocità in funzione delle caratteristiche stradali e del raffronto con i risultati forniti dalla campagna di misure.

3.2 Base dati territoriali

Al fine di una modellizzazione più dettagliata possibile della propagazione del rumore prodotto dalle infrastrutture si è deciso di realizzare un modello del territorio circostante le strade che tenesse in conto ogni singolo edificio presente. Il modello del territorio include tutti i dati relativi alla morfologia del territorio ed allo stato urbanistico relativo agli edifici ed ai canali di traffico da analizzare.

L'area da "mappare" è stata individuata nella totalità del territorio comunale.

I poligoni degli edifici sono stati caratterizzati attraverso i seguenti attributi: identificativo univoco dell'edificio, altezza dell'edificio, coefficiente di riflessione, tipologia destinazione d'uso, eventuale tipologia recettore sensibile.

Il sistema di riferimento adottato è il ROMA40/OVEST, recepito dalla cartografica ricevuta.

3.3 Modello e sua implementazione

In letteratura esistono numerosi modelli d'emissione e diffusione del rumore stradale, da quelli adottati ufficialmente dalle amministrazioni statali di diverse nazioni, a quelli proposti da centri di ricerca o da aziende private. La maggior parte di questi modelli sono implementati all'interno d'applicativi software commerciali o pubblici, che ne rendono agevole l'utilizzo, la presentazione dei risultati e l'esportazione dei dati.

In attesa della definizione di un modello unificato europeo per la stima del rumore prodotto dal traffico stradale, la direttiva 2002/49/CE sul rumore ambientale ha adottato il modello ufficiale francese «NMPB-Routes-96 (SETRACERTU-LCPC-CSTB)», citato nell'«Arrêtèdu 5 mai 1995 relatifaubruitdesinfrastructuresroutieres, Journal Officieldu 10 mai 1995, article 6» e nella norma francese «XPS 31-133». I dati d'ingresso concernenti l'emissione sono definiti nel documento «Guide dubruitdestransportsterrestres, fasciculeprevisiondesniveauxsonores, CETUR 1980».

Secondo la direttiva, il modello NMPB-Routes-96 deve essere utilizzato dalle nazioni che, come l'Italia, non hanno un proprio modello ufficiale.

L'applicazione effettiva del modello è avvenuta utilizzando un programma commerciale appositamente predisposto per la simulazione acustica. Il programma utilizzato è stato SoundPLAN.

Nei moduli di calcolo di SoundPLAN sono presenti e implementati decine di standard nazionali deliberati per il calcolo delle sorgenti di rumore, compreso il modulo «NMPBRoutes- 96 (SETRACERTU-LCPC-CSTB)», utilizzato per la redazione delle mappature in oggetto.

SoundPLAN è un prodotto per il calcolo e la previsione della propagazione nell'ambiente del rumore derivato da: traffico veicolare, traffico ferroviario, traffico aeroportuale, insediamenti industriali, sorgenti puntuali, areali e lineari. Può inoltre essere utilizzato per il calcolo di barriere acustiche e degli effetti prodotti dal loro inserimento.



COMUNE DI BERGAMO

La modellizzazione acustica di SoundPLAN è in grado di definire la propagazione del rumore sia su grandi aree, fornendone la mappatura, sia per singoli punti, fornendo i livelli globali e la loro scomposizione direzionale.

Generalmente i valori prodotti da un modello sono caratterizzati da un fondo d'incertezza e perciò devono essere sempre sottoposti al vaglio critico d'esperti e soprattutto essere validati dal raffronto con la situazione reale misurata in campo.

3.4 Software implementazione modello

I descrittori acustici da utilizzare per la mappatura acustica sono: il livello giorno-sera-notte (Lden) ed il livello notte (Ln), entrambi espressi in dBA. La Direttiva prevede che il livello giorno-sera-notte si ottenga dalla combinazione del livello giorno (Lday), del livello sera (Levening) e del livello notte (Ln) secondo la seguente formula, che combina i 3 livelli calcolati nel corso delle 24 ore, penalizzando i livelli sera e notte rispettivamente di 5 e 10 dBA.

$$L_{den} = 10 * \log_{10} \frac{1}{24} \left(n_d * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + n_e * 10^{\frac{L_{evening}}{10}} + n_n * 10^{\frac{L_{night}}{10}} \right)$$

dove, secondo la ripartizione delle 24 ore giornaliera adottata dall'Italia, valgono le seguenti definizioni:

- Lday : è livello sonoro medio a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi diurni di un anno;
- Levening : è livello sonoro medio a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi serali di un anno,
- Lnight : è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi notturni di un anno;
- nd: è il numero di ore del periodo diurno (dalle 06:00 alle 20:00);
- ne: è il numero di ore del periodo serale (dalle 20:00 alle 22:00);
- nn: è il numero di ore del periodo notturno (dalle 22:00 alle 06:00).

3.5 Parametri di calcolo

All'interno del modulo di SoundPLAN di implementazione del modello «NMPB-Routes-96 (SETRACERTU-LCPC-CSTB)» sono stati impostati i seguenti parametri di calcolo.

- Griglia di calcolo. La griglia è costituita da un reticolo con maglia 10 metri. All'interno di ogni maglia della griglia di calcolo, SoundPLAN utilizza una sotto-griglia costituita da 81 (9x9) ricettori interni. Il calcolo è fatto per ogni elemento della sotto-griglia e poi per interpolazione è determinato il valore attribuito al centroide dalla griglia di calcolo. Impostando i parametri "min/max" e "differenza", rispettivamente uguali a 10 e 0,15 dBA, si ottiene una precisione elevata. I parametri stabiliscono che tra gli angoli di ciascuna cella non ci siano più di 10 dBA di differenza, e che la differenza tra valore interpolato e calcolato sia minore di 0,15 dBA.
- Parametri meteorologici. I parametri meteorologici da considerare in input sono l'umidità relativa, la temperatura e la pressione atmosferica. In mancanza di dati meteo climatici ufficiali annui, sono stati inseriti i seguenti valori standard:
 - Umidità relativa: 70 %
 - Temperatura atmosferica: 15 °C
 - Pressione atmosferica: 1013.25 hPa



- Velocità e direzione vento: Nessuna

- Altezza dal suolo. La mappa del rumore è calcolata ad un'altezza di 4 metri dal suolo. Il terreno è stato considerato ad altezza variabile secondo quanto riportato negli elaborati di shapefiles relativi alla stesura delle isoipse e le strade sono state ipotizzate pari alla situazione reale, ricreando quote, rilevati, sistemi di barriere e quant'altro riportato negli ulteriori shapefiles dedicati.

3.6 Modellizzazione degli elementi territoriali

Attorno all'asse stradale sono stati considerati gli elementi territoriali di seguito descritti, opportunamente modellizzati tenendo conto delle loro caratteristiche geometriche, morfologiche ed acustiche.

- Strade. Per ogni strada sono stati inseriti in SoundPLAN i principali parametri morfologici e strutturali: il numero di corsie, la larghezza d'ogni corsia e la tipologia di asfalto utilizzata.
- Edifici. Gli edifici presenti nel territorio comunale sono stati georeferenziati e inseriti all'interno di un apposito file relativo a morfologia del territorio ed edifici creato in SoundPLAN. Gli edifici sono stati considerati edifici "standard", cioè senza fonte di emissione e con coefficienti di riflessione superficiale esterno pari a 1. Gli edifici sono modellati come parallelepipedi aventi dimensioni di base uguali alle dimensioni riportate negli shapefiles di riferimento.
- Interventi di mitigazione del rumore in atto. Le barriere attualmente presenti sul territorio sono state inserite nel modello di calcolo e rimandiamo ai capitoli successivi per una descrizione più approfondita.
- Suolo e vegetazione. L'attribuzione delle caratteristiche acustiche del territorio circostante le infrastrutture è avvenuta sulla base dell'uso del suolo indicato dalla cartografie e dagli aerofotogrammetrici disponibili.

3.7 Costruzione della mappatura acustica

SoundPLAN implementa un modello di calcolo "a griglia". Il risultato della simulazione è costituito da una griglia a maglie quadrate di lato 10 metri, posta a 4 metri dal suolo, che copre tutta l'area d'interesse. In ogni punto d'incrocio della griglia, il software calcola il valore dei L_{day} , $L_{evening}$ e L_n , più il valore di L_{den} ottenuto da questi applicando la formula vista ai paragrafi precedenti.

Il valore dei descrittori in ogni punto dipende dall'intensità della sorgente, dalla distanza del punto considerato dalla sorgente, dagli eventuali ostacoli presenti, dai coefficiente di riflessione/assorbimento delle superfici poste nelle vicinanze.

La griglia dei valori risultanti è georeferenziata e può essere esportata da SoundPLAN come mappa del rumore e come tabella convertibile in file excel. Partendo dalla tabella è possibile ricavare il numero degli edifici ricadenti in questa superficie a determinati intervalli di isofoniche successive sia nell'ambito L_{den} che nell'ambito L_{night} e, conoscendo il numero di residenti d'ogni edificio, la popolazione compresa nell'intervallo che separa le curve isofoniche.

Conoscendo il numero di residenti degli edifici è immediato calcolare il numero degli abitanti esposti. Il metodo di stima dei residenti appena esposto si basa sul criterio della presenza degli edifici all'interno di zone del territorio associate a intervalli di livelli del descrittore acustico L_{den} (criterio della presenza). Al fine della mappatura acustica, il D.lgs.194/2005 esige che gli edifici (e quindi i loro residenti) siano acusticamente classificati anche sulla base del criterio del "livello della facciata più esposta".



Una volta assegnato ad ogni edificio il valore della faccia più esposta, gli edifici possono essere raggruppati per intervalli di livello dei descrittori acustici. Conoscendo la distribuzione dei residenti tra i diversi edifici si può ottenere il numero di persone che occupa edifici esposti a ciascuno dei seguenti intervalli di livello Lden: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75 dB(A) e che occupa edifici esposti a ciascuno dei seguenti intervalli di livello Ln: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70 dB(A).

Per ottenere l'esposizione complessiva del territorio, quanto elaborato a livello di sole strade comunali è stato unito a quanto già effettuato da altri enti responsabili di altre strutture ricadenti nel comune di Bergamo altresì soggette al D.Lgs.194/2005, e nello specifico:

- il tratto Autostradale della A4 di proprietà di Autostrade per l'Italia
- i tratti stradali in gestione alla provincia di Bergamo
- i tratti ferroviari di proprietà di Trenitalia S.p.A
- la parte di mappatura acustica dell'Aeroporto di Orio al Serio ricadente nella parte pertinente al Comune di Bergamo.

Sono stati recepiti gli eventuali piani di risanamento presentati dalle aziende presenti sul territorio comunale.

3.8 Mappe di rumore

I valori di Ln calcolati da SoundPLAN coincidono con i valori di livello equivalente, Leq(A)n, previsti dalla normativa italiana come indicatore del rumore prodotto da una strada nel periodo notturno. Approfittando della libertà data dalla Direttiva in tal senso ai singoli stati, il D.lgs. 194/05 ha fatto coincidere l'inizio e la durata del periodo di riferimento di Ln con quelli già previsti per il periodo notturno, cioè dalle ore 22:00 alle ore 6:00.

Il periodo diurno invece, secondo la normativa italiana, è formato da un unico intervallo di tempo che inizia alle ore 06:00 e termina alle ore 22:00. La direttiva spezza invece la parte diurna della giornata in due parti, introducendo il periodo serale (evening). Il livello equivalente diurno, Leq(A)d, può comunque essere ancora ottenuto dai risultati del modello NMPB-Routes-96 forniti da SoundPLAN combinando i valori di Lday e Levening con la seguente formula di somma pesata:

$$Leq(A)_d = 10 * \log \frac{1}{16} \left(14 * 10^{L_{day}/10} + 2 * 10^{L_{evening}/10} \right)$$

3.9 Stima della popolazione esposta

Come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, le procedure di costruzione dei risultati di una mappatura acustica richiedono sempre prima l'attribuzione di un valore di un qualche descrittore acustico ad ogni edificio esposto, e successivamente il calcolo della popolazione esposta sulla base del numero di abitanti presenti in ogni edificio. L'attribuzione del numero esatto di residenti ad un singolo edificio è quindi uno dei passaggi fondamentali della mappatura.

Per realizzare questa attribuzione in modo esatto bisognerebbe conoscere la disposizione delle singole unità abitative all'interno di ogni edificio e la distribuzione dei residenti al loro interno. Partendo da queste informazioni, sarebbe possibile differenziare il livello dell'esposizione a cui sono soggetti gli abitanti



degli appartamenti collocati dietro la facciata più esposta da quello degli abitanti degli appartamenti più interni che beneficiano della schermatura dell'edificio stesso. La caratterizzazione acustica delle varie unità abitative e l'aggregazione degli abitanti esposti negli stessi intervalli di rumore permette il calcolo esatto della popolazione esposta alle differenti classi di Lden e Ln.

Un livello d'informazione così dettagliato è estremamente difficile da ottenere, sia per l'elevato numero d'edifici da indagare, sia per le difficoltà che si incontrano nel ricercare informazioni private presso la popolazione.

Nell'impossibilità di disporre del numero esatto dei residenti e della disposizione degli appartamenti di ogni singolo edificio, la numerosità della popolazione esposta può essere solo stimata in base a valutazioni relative alla densità abitativa.

In Italia non sono state definite procedure standardizzate per la stima della popolazione. In mancanza d'indicazioni ufficiali, ARPA Lombardia ha sperimentato e testato diversi metodi alternativi per la stima della distribuzione spaziale dei residenti di un territorio. I metodi differiscono principalmente per la diversa qualità dell'informazione di partenza e per il grado di precisione con cui riescono a stimare la distribuzione della popolazione all'interno degli edifici, mentre hanno in comune l'utilizzo di banche dati geografiche e di GIS per le operazioni di calcolo e georeferenziazione.

Quando l'analisi della distribuzione di dettaglio della popolazione riguarda zone estese di territorio, la scelta del metodo migliore deve tener conto non solo del parametro "precisione", ma anche d'altri fattori.

- Difficoltà di ricognizione e raccolta delle informazioni presenti presso le diverse amministrazioni. Queste ultime, anche quando sono disponibili a collaborare, spesso non sono attrezzate per fornire in tempo rapido i dati richiesti. La raccolta dei dati può diventare molto onerosa, anche quando i dati esistono e sono disponibili.
- Disomogenità delle informazioni. Operando a scala vasta è importante mantenere un grado di dettaglio omogeneo per tutto il territorio.
- Difficoltà nel fare combaciare limiti amministrativi (scala alla quale sono normalmente aggregati i dati territoriali) con l'effettiva area oggetto di studio.

Si tratta di problemi che a scala ridotta possono essere affrontati e risolti con sopralluoghi e rilievi diretti sul territorio, ma che nel caso d'infrastrutture lineari estese comportano un aumento esponenziale dei costi e dei tempi di raccolta ed organizzazione dei dati.

Sulla base di queste considerazioni, tra i differenti approcci possibili si è deciso d'adottare un metodo che ha il pregio di essere applicabile in modo uniforme a tutti i comuni della Regione e di basarsi su informazioni omogenee, aggiornate e facilmente reperibili. Il metodo scelto calcola la distribuzione spaziale della popolazione a scala comunale.

4 Misure antirumore già in atto e progetti in preparazione

Riportiamo di seguito una schematizzazione di tutti gli interventi di mitigazione del rumore in essere.

Ad oggi non vi sono altri interventi pianificati per quanto riguarda questo aspetto.

Viadotto di Boccaleone

Carreggiata stradale in direzione autostrada

Il tratto di barriera antirumore è realizzata a partire dall'inizio della rampa di raccordo tra la circonvallazione delle Valli ed il viadotto di Boccaleone con termine a Via Borgo Palazzo escludendo il ponte, per una lunghezza di 220 metri circa ed altezza complessiva di 3 metri, provvista di riduttore di rumorosità sommitale. La barriera è per i primi 30 metri, a partire dall'inizio rampa, realizzata con pannelli trasparenti in metacrilato, mentre i successivi 190 metri sono realizzati con pannelli ciechi prefabbricati in alluminio con interposto materiale fonoassorbente.

Vi è inoltre un tratto di barriera antirumore realizzata a partire dal ponte sulla Via Rosa per una lunghezza di 125 metri circa ed altezza complessiva di 3 metri, costituita da pannelli prefabbricati in alluminio verniciato con interposto materiale fonoassorbente e sopra luce con pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato.

Carreggiata in direzione Valli

Il tratto di barriera antirumore è realizzato a margine della carreggiata est a partire dall'area insediamento ex Flamma di via Boccaleone, escludendo l'insediamento stesso, per concludersi al ponte su via Rosa, per una lunghezza di 180 metri circa ed altezza complessiva di 3 metri, costituita da pannelli prefabbricati in alluminio verniciato con interposto materiale fonoassorbente e sopra luce con pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato.

Il tratto di barriera antirumore realizzata a partire dal ponte su Via Borgo Palazzo, escludendolo, sino alla fine della rampa di raccordo alla circonvallazione delle Valli, si estende per una lunghezza di 220 metri circa ed ha un'altezza complessiva di 3 metri. E' provvista di riduttore di rumorosità sommitale. La barriera è per i primi 190 metri realizzata con pannelli ciechi prefabbricati in alluminio con interposto materiale fonoassorbente, e per i successivi 30 metri in corrispondenza della fine della rampa è realizzata con pannelli trasparenti in metacrilato.

Via Stendhal e Circonvallazione Paltriniano (zona campagnola)

Il tratto di barriera antirumore si estende a partire dal margine stradale est di Via Stendhal in prossimità dell'immissione in circonvallazione Paltriniano. Dalla circonvallazione Paltriniano la barriera prosegue sino all'intersezione semaforizzata con Via S. Giovanni Bosco, per una lunghezza complessiva di 435 metri circa. La barriera è realizzata in pannelli prefabbricati di alluminio con interposto materiale fonoassorbente e sopra luce. Vi sono inserti con pannelli trasparenti in metacrilato. La barriera, per 84 metri circa, ha un'altezza complessiva di 4,50 metri e per 351 metri circa ha un'altezza di 6,50 metri.



Circonvallazione Fabriciano (zona Stadio – Valtesse)

Carreggiata stradale in direzione Ponteranica

Il tratto di barriera antirumore realizzata in prossimità dell'innesto con la bretella in uscita dalla rotonda Goisis, denominato rondò Monterosso, raccordantesi alla circonvallazione Fabriciano sino all'altezza della Via Toniolo/Zibordi, si estende per una lunghezza di 415 metri circa, ed è costituita da pannelli sandwich in legno con interposto materiale fonoassorbente e sopra luce con pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato.

Il tratto di barriera antirumore realizzata in prossimità del cavalcavia sulla Via Pescaria, per una lunghezza di circa 130 metri circa, è costituito da pannelli sandwich in legno con interposto materiale fonoassorbente e sopra luce con pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato.

Il tratto di barriera antirumore realizzata in prossimità del cavalcavia sulla Via Crocefisso, per una lunghezza di circa 190 metri circa, è costituito da pannelli sandwich in legno con interposto materiale fonoassorbente e sopra luce con pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato.

Il tratto di barriera antirumore realizzata a parziale copertura dell'abitato in fregio alla parallela Via Zuccala Locatelli, per una lunghezza di circa 120 metri circa, costituita da pannelli sandwich in legno con interposto materiale fonoassorbente e sopra luce con pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato. L'altezza complessiva della barriera varia da 3 metri a 5 metri.

Carreggiata stradale in direzione di Bergamo Città (Valtesse-Zona Stadio)

Il tratto di barriera antirumore realizzata a partire dal ponte sulla Via Crocefisso sino al parco pubblico di Via Rosolino Pilo escluso, si estende per una lunghezza di circa 270 metri ed è costituito da pannelli sandwich in legno con interposto materiale fonoassorbente e sopra luce con pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato.

Il tratto di barriera antirumore realizzata a partire dal parco pubblico di via Rosolino Pilo escluso sino a Via Delpino, per una lunghezza di circa 860 metri circa, è costituito da pannelli sandwich in legno con interposto materiale fonoassorbente e sopra luce con pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato.

Il tratto di barriera antirumore realizzata al margine sinistro della bretella, ovvero il lato nord, in uscita dalla circonvallazione Fabriciano e che si immette nella rotonda Goisis, lungo circa 90 metri circa, è costituito da pannelli sandwich in legno con interposto materiale fonoassorbente e sopra luce con pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato. L'altezza complessiva della barriera varia da 2,50/3,00 metri a 5,00 metri.

Circonvallazione Plorzano (bretelle di raccordo a raso della rotatoria di Largo Decorati al Valor Civile)

Il tratto di barriera antirumore realizzata al margine ovest della bretella di raccordo della circonvallazione Plorzano e che si immette a raso nella rotatoria di Largo Decorati al Valor Civile, e lungo circa 250 metri, è costituito da pannelli prefabbricati di alluminio e sopra luce con pannelli trasparenti in metacrilato, con un'altezza di 2,50 metri circa.

5 I rilievi fonometrici

La campagna fonometrica eseguita è trattata in un relazione separata e riportata in allegato.

6 Modellistica matematica sul rumore

6.1 Grandezze considerate ai fini dell'attenuazione acustica

- Direttività della sorgente

Il modello matematico riporta fedelmente la situazione emissiva delle sorgenti includendo la distribuzione in frequenza. Per emissioni particolarmente concentrate sulle medie ed alte frequenze, si nota che l'emissione acquista una certa direttività, ovvero una direzione preferenziale di emissione.

In questi casi sarà quindi necessario tenere conto della eventuale direzionalità della sorgente e considerare come livello di potenza sonora non tanto quello globale fornito ma un livello corretto che tenga conto della direttività

$$L_{WD} = L_W + D_C$$

dove:

L_{WD} è il livello di potenza sonora corretto (dB);

L_W è il livello di potenza sonora medio (dB);

D_C è la correzione da applicare al livello di potenza sonora (dB).

La condizione in cui il fattore correttivo $D_C=0$ dB indica che la sorgente è omnidirezionale, ossia che l'emissione della sorgente è uniforme in tutte le direzioni senza alcuna particolare preferenza per una direzione particolare.

I termini che compongono D_C sono fondamentalmente due: l'indice di direttività (*directivity index* D_i) e l'indice di emissione sull'angolo solido (D_Ω).

$$D_C = D_i + D_\Omega$$

Il fattore di correzione D_Ω sarà:

$D_\Omega = 0$ dB emissione su 4π radianti (radiazione sferica sull'intero spazio);

$D_\Omega = 3$ dB emissione su 2π radianti (una superficie riflettente);

$D_\Omega = 6$ dB emissione su π radianti (due superfici riflettenti);

$D_\Omega = 9$ dB emissione su $\pi/2$ radianti (tre superfici riflettenti).



Questi fattori correttivi vanno bene seguendo il metodo di calcolo proposto in queste pagine, in quando l'influenza dell'assorbimento del terreno viene tenuta in conto nei prossimi paragrafi. Nel caso di metodi diversi in cui l'attenuazione del terreno non viene contemplata i valori saranno i seguenti:

- $D_{\Omega} = 0$ dB emissione su 4π radianti (radiazione sferica sull'intero spazio);
- $D_{\Omega} = 3$ dB emissione su 2π radianti (una superficie riflettente che non sia il terreno);
- $D_{\Omega} = 3$ dB emissione su π radianti (due superfici riflettenti di cui una il terreno);
- $D_{\Omega} = 6$ dB emissione su π radianti (due superfici riflettenti di cui nessuna sia il terreno);
- $D_{\Omega} = 6$ dB emissione su $\pi/2$ radianti (tre superfici riflettenti di cui una il terreno);
- $D_{\Omega} = 9$ dB emissione su $\pi/2$ radianti (tre superfici riflettenti).

Elementi di attenuazione sul percorso dell'onda acustica

Il livello di pressione sonora L_p presente nella posizione del ricevitore sarà fornita dal valore di partenza della potenza sonora a cui devono essere detratti i contributi di attenuazione.

$$L_p = L_{wd} + A$$

dove:

L_p è il livello di pressione sonora al ricevitore (dB);

L_{wd} è il livello di potenza sonora corretto (dB);

A è la correzione da applicare che tiene conto dei fattori di attenuazione (dB).

I fattori di assorbimento che concorrono nella formazione del nostro termine A possono essere riassunti nella seguente relazione:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{ter} + A_{rifl} + A_{dif} + A_{misc}$$

dove:

A_{div} è l'attenuazione per la divergenza geometrica (dB);

A_{atm} è l'attenuazione per le condizioni meteorologiche (dB);

A_{ter} è l'attenuazione del terreno (dB);

A_{rifl} è l'attenuazione per la riflessione su ostacoli (dB);

A_{dif} è l'attenuazione per effetti schermanti (dB);

A_{misc} è l'attenuazione per effetti diversi (dB).

Le condizioni del vento non entrano in questo contesto supponendole di entità non influente, per aree ad intensa presenza di vento si correggerà la direzionalità di emissione della sorgente.

6.2 Specifiche del modello matematico usato

Il modello matematico per acustica usato è Soundplan ver. 6.4 agg. 2006 prodotto dalla Braunstein + BerntGmb.

E' il modello acustico più diffuso e testato nel mondo e consente attraverso i suoi moduli di poter sopperire a tutte le problematiche di emissione delle diverse sorgenti presenti sul territorio.

Tuttavia è opportuno verificare i dati di uscita, sia grafici che tabellari, a scopo di individuare eventuali imprecisioni e conseguenti correzioni. Per questo motivo è stato successivamente inserito un capitolo dedicato alle incertezze associate alle valutazioni.

6.3 Tecnica di ritracciamento dei raggi (*Raytracing*)

Nel calcolo del livello presente nei diversi punti della rappresentazione spaziale della zona è stata utilizzata la tecnica di ritracciamento.

Vengono in sostanza sparati dei raggi che partono dalle diverse sorgenti e quando un raggio colpisce un ostacolo il punto di proiezione diventa esso stesso una sorgente di tipo puntiforme.

Il modello riproduce l'emissione sonora mediante raggi e, nel momento in cui un raggio colpisce un ostacolo, l'ostacolo stesso diventa sorgente, rimettendo esso stesso un raggio. Il raggio viene riemesso dall'ostacolo con variazioni di intensità e direzione imposte dalla natura dell'ostacolo stesso.

La situazione viene descritta nella figura seguente.

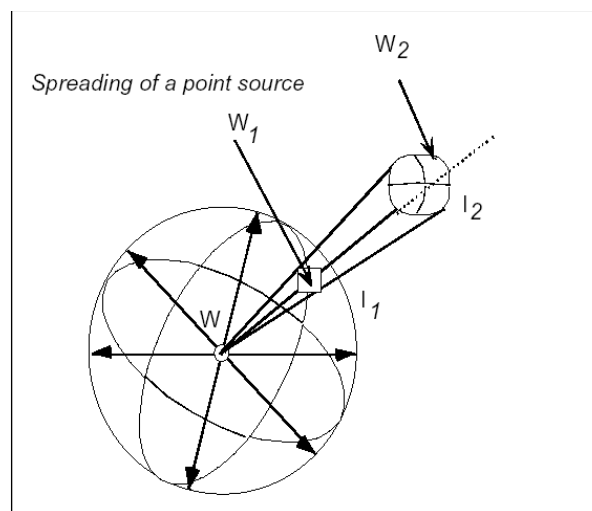


Figura 1 – Emissione dei raggi di tracciamento

Viene infine calcolato il contributo dei diversi raggi che arrivano all'ascoltatore ipotetico come somma energetica dei livelli.

6.4 Le tipologie di sorgenti

Le sorgenti possono essere considerate fondamentalmente di tre tipi:

- ✓ *puntiformi*
- ✓ *lineiformi*
- ✓ *areali*

Per quanto riguarda la modalità di propagazione delle sorgenti puntiformi, il modello riproduce la legge della divergenza geometrica, per la quale si ha che ad ogni raddoppio della distanza dalla sorgente si registra un'attenuazione di 6 dB del livello sonoro.

Nel caso di sorgente lineare, che è la componente modellistica rappresentativa di tutte le sorgenti viarie, si ha la situazione rappresentata nella figura di seguito.

Per le sorgenti areali la propagazione è una composizione delle diverse tipologie di sorgenti ed è un componente modellistica fondamentale nella riproduzione di impianti e strutture industriali.

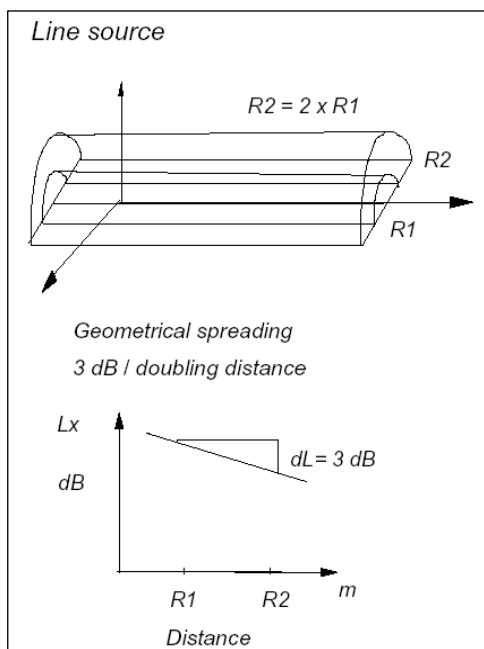


Figura 2 – Emissione di una sorgente lineiforme

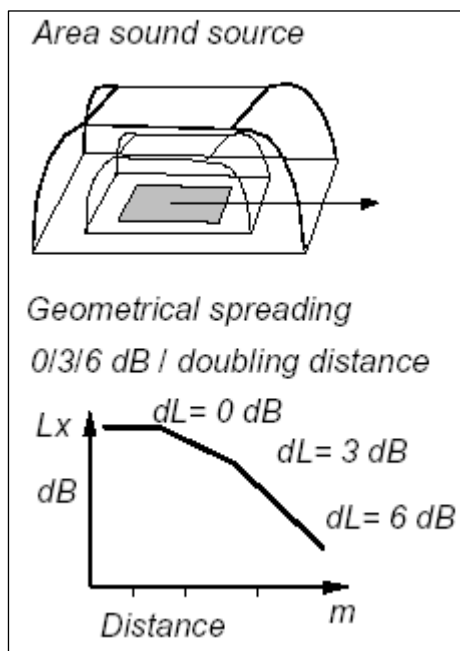


Figura 3 – Emissione di una sorgente areale

6.5 La diffrazione degli ostacoli

Elemento importante soprattutto per la caratterizzazione degli eventuali risanamenti sono le metodologie di calcolo per le barriere e gli eventuali ostacoli.

Nella figura sottostante si possono notare i diversi percorsi dell'onda acustica nel suo cammino quando incontra una barriera.

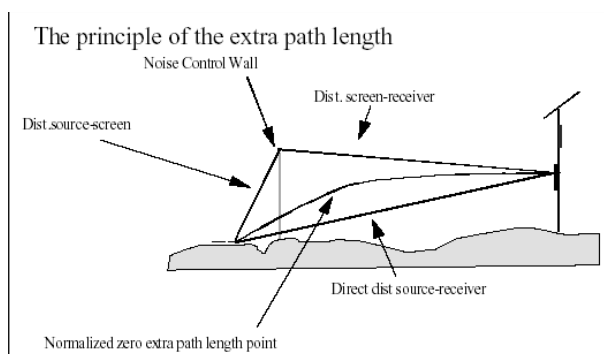


Figura 4 – Diffrazioni verticali

All'interno del programma di calcolo vengono considerate non solo le diffrazioni dei bordi superiori di eventuali ostacoli (barriere, edifici, ecc.) ma anche le diffrazioni laterali, cosa molto importante nel caso di strutture industriali.

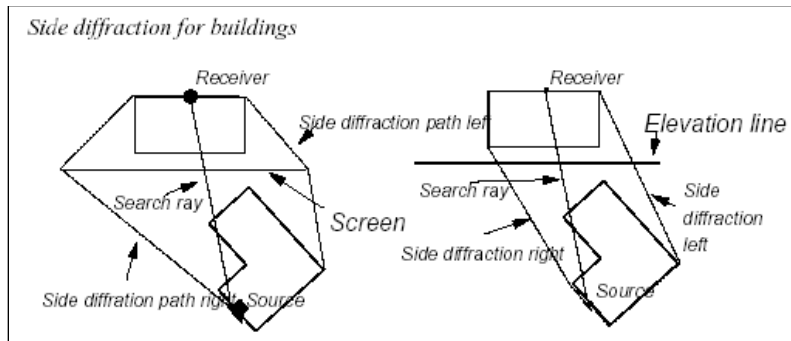


Figura 5 – Diffrazioni laterali

6.6 L'assorbimento di elementi

Lungo il suo percorso l'onda sonora può incontrare elementi che assorbono parte dell'energia come può avvenire nel caso di boschi o di aree particolari con moltitudine di ostacoli.

Nel programma è possibile considerare queste aree fornendo un valore di assorbimento per frequenza o semplicemente impostando la tipologia del fogliame.

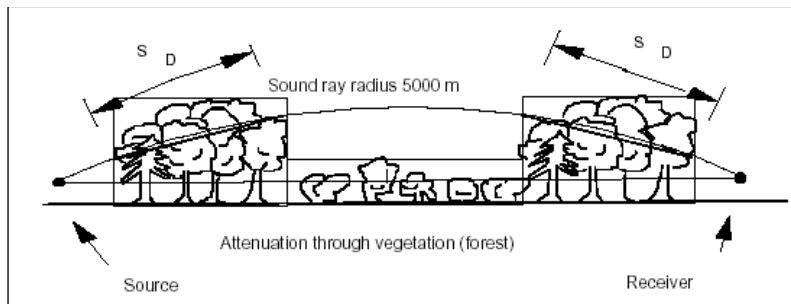


Figura 6 – Calcolo di una mappa ad una certa quota dal terreno

6.7 Quote di calcolo delle mappe

Le mappature sono ottenute ad una certa altezza relativa dal terreno in modo che anche in condizioni di morfologie particolari i livelli sono quelli che si misurerebbero andando su quel punto con un cavalletto di altezza pari alla quota scelta.

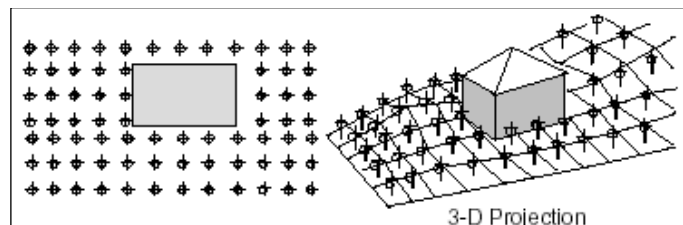


Figura 7 – Calcolo di una mappa ad una certa quota dal terreno



6.8 Riferimenti normativi del modello utilizzato

Il modello usato (Soundplan) risponde a diverse linee guida europee tra cui:

NMBP Route 96

CoRTN - Calculation of Road Traffic Noise

ISO 9613-1 "Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1"

ISO 9613-2 "Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2"

VDI 2714 "Sound propagation outdoors"

VDI 2720 "Noise control by screening"

RLS90 "Guideline for noise protection along highways"

SHALL 03 "Guideline for calculating sound immersion of railroads"

VDI 2751 "Sound radiation of industrial buildings"

StatensPlanverk 48

Come previsto dal Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 194, la linea guida utilizzata è la NMBP – Route 96.

7 Accuratezza delle simulazioni

Come illustrato nelle linee guida WG-AEN 2006, gli elementi che concorrono all'incertezza dei dati forniti da una valutazione previsionale possono essere fondamentalmente riassunti nei seguenti punti:

- stima delle incertezze dei dati di ingresso del modello;
- stima delle incertezze dei dati di uscita del modello (propagazione);
- caratterizzazione delle incertezze associate a diverse impostazioni del modello;
- caratterizzazione delle incertezze del modello derivanti da valori usati per la validazione dello stesso (taratura del modello con misure acustiche).

7.1 Stima delle incertezze dei dati di ingresso del modello

Esempio classico di queste problematiche sono i dati dei flussi di traffico, le cui incertezze, per loro natura, sono a loro volta legate al periodo scelto per la campagna di misura, al fatto che non tutti i veicoli vengono correttamente contati, alla difficoltà nella divisione delle categorie, alla particolare condizione del fondo stradale, al punto scelto per la misura che può non essere rappresentativo per tutta la tratta, ecc.

La sorgente viene supposta con distribuzione lineare (per alcuni modelli la distribuzione è pseudo-lineare) e quindi abbiamo una propagazione di tipo cilindrico.

Il modelli propagativi da cui, inseriti i dati di volume di traffico, velocità e composizione, si ottengono i livelli sonori, sono fondamentalmente empirici e quindi fortemente dipendenti dalla tipologia e dalla manutenzione delle autovetture che in alcune zone potrebbero essere diverse da altre: per esempio in paesi come la Germania abbiamo un numero limitato di piccole cilindrato rispetto al nostro paese.

Diventa difficile riprodurre la reale morfologia del territorio quando questo possiede una notevole variabilità: è il caso di zone con variazioni altimetriche, dove l'inserimento corretto dei valori di quota della strada e del terreno intorno creano non pochi problemi.

L'assorbimento del terreno è anch'esso uno dei parametri delicati difficile da quantificare.

Altri elementi che sono difficili da valutare se non misurati secondo specifiche normative in materia sono le potenze sonore associate alle specifiche sorgenti.

Questo elemento richiede forzatamente la distribuzione spettrale di emissione perché nei processi di propagazione la lunghezza d'onda è la componente che determina i fattori diffrattivi.

7.2 Stima delle incertezze dei dati di uscita del modello

Qui entrano in gioco i diversi parametri illustrati nel capitolo precedente e quindi tutto ciò che è collegato alla propagazione sonora vista dal modello.

In questo caso, per quanto sopra esposto, diventa difficile quantificare in modo preciso e numerico i diversi parametri che concorrono a determinare l'incertezza dei valori di uscita di una simulazione matematica. In particolare sono così diversi i comportamenti umani di fronte a queste problematiche che conviene considerare questo parametro come un'incertezza di **Tipo B**.

Un'analisi delle differenze ottenibili dai diversi modelli matematici fu sviluppata nel 1995 al congresso dell'Associazione Italiana di Acustica" (supplemento degli atti del congresso), la memoria era "INTERCOMPARISON OF TRAFFIC NOISE COMPUTER SIMULATION" – R. Pompoli, A. Farina, P. Fausti, M. Bassanino, S. Invernizzi, L. Menini.

A questo test parteciparono 23 soggetti che attraverso i diversi modelli posseduti fornirono i risultati su situazioni semplici predefinite dagli autori.

Nella figura sottostante riportiamo da quella memoria i grafici dei risultati su tre posizioni diverse di una simulazione.

Sulle ascisse abbiamo il numero del partecipante al test mentre sulle ordinate il livello previsto in un particolare punto ad una certa distanza dall'infrastruttura viaria.

Come si può osservare le differenze possono essere anche maggiori di 10 dB(A).

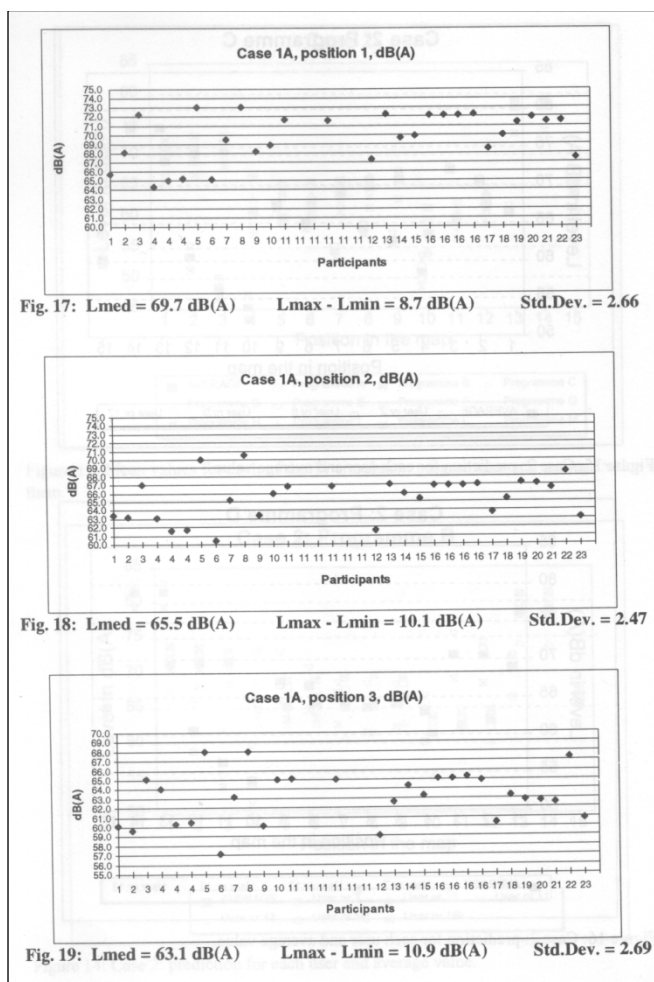


Figura 8 – Grafici: incertezze associate a tre posizioni di simulazione

7.3 Caratterizzazione delle incertezze associate a diverse impostazioni del modello

Sul mercato sono presenti diversi Software di modellizzazione acustica ed all'interno di ognuno vi sono diversi moduli, diverse varianti agli algoritmi di calcolo e diversi riferimenti normativi. A scopo di scelta di un modello e dell'attribuzione dell'algoritmo di calcolo all'interno di esso, è importante l'esperienza dell'utente che, oltre a possedere il titolo di tecnico competente ai sensi di legge, deve altresì avere una conoscenza profonda delle problematiche di propagazione delle onde sonore.

Prendiamo ad esempio una situazione semplice:

- strada extraurbana;
- 10.000 veicoli sulle 24 ore di cui 9360 dalle ore 6 alle 22 e 640 dalle ore 22 alle 6;
- 20% di veicoli pesanti di giorno;
- 10% di pesanti di notte;
- velocità veicoli leggeri 70 km/h;
- velocità veicoli pesanti 50 km/h;
- simulazioni eseguite a 4 metri di altezza a distanza di 25, 50 e 100 metri dalla strada.

Nella tabella seguente è possibile osservare i valori ottenuti usando lo stesso modello ma con i riferimenti normativi diversi.

Norma	Diurno a 25 m	Notturmo a 25 m	Diurno a 50 m	Notturmo a 50 m	Diurno a 100 m	Notturmo a 100 m
<i>RLS 90</i>	66.6	56.1	61.4	50.8	57	46.4
<i>DIN 18005</i>	67.6	56.8	63.6	52.8	59.1	48.3
<i>Nordic</i>	70.0		64.8		58.4	
<i>RVS</i>	64.4	58.2	60.4	54.2	56.2	50
<i>NMPB</i>	72.5	61.7	67.4	56.5	60.8	49.9

Tabella 1 – Riferimenti normativi e confronto con diversi modelli

Come si può notare anche solo il diverso utilizzo di una linea guida rispetto ad un'altra fornisce dati molto differenti.

La stessa NMBP Route 96 francese ha diversi problemi e non risponde propriamente alle aspettative di accuratezza che si dovrebbe avere in casi dove il valore ottenuto dovrà servire a dimensionare le relative opere di mitigazione.

Dopo 20 anni di monitoraggi svolti su tutto il territorio nazionale possiamo dire che le modellazioni del rumore emesso da una strada, ricavate dalla sola conoscenza dei flussi di traffico, forniranno sempre valori errati. Sono comunque sempre necessarie le misurazioni acustiche per una effettiva taratura del modello.

7.4 Incertezze del modello derivanti da valori usati per la validazione dello stesso

Elementi che intervengono nella stima delle incertezze

I problemi relativi all'accuratezza delle misure usate per la taratura del modello ricadono automaticamente sull'incertezza globale della stessa simulazione.

I parametri di cui tener conto sono diversi ed in particolare abbiamo:

- *l'incertezza dello strumento;*
- *l'incertezza del sistema microfonico per esterni;*
- *la variabilità dell'emissione della sorgente;*
- *le condizioni atmosferiche;*
- *la direttività dell'onda sonora incidente;*
- *il campo sonoro nel punto di misura.*

Incertezza dello strumento

I dati di input del modello coinvolgono rilievi fonometrici eseguiti in sito. Per questo motivo l'incertezza degli strumenti di misura ha un ruolo importante nella taratura del modello matematico. Gli strumenti devono essere tarati periodicamente presso centri accreditati. La sola parte di analisi del segnale, il corpo



dello strumento con il suo sistema di alimentazione senza microfono, una volta verificata e tarata, ha un notevole livello di accuratezza, contenuto entro i 0,3 dB(A).

Incertezza della parte microfonica

Questa parte è sicuramente quella che della catena strumentale può avere più problemi. Infatti dobbiamo pensare che il microfono ed in particolare la membrana è sottoposta a escursioni termiche notevoli e non sempre il funzionamento continua a essere lineare. Anche l'umidità incide pesantemente sulla risposta del microfono in quanto questo è fondamentalmente un condensatore che ha come dielettrico l'aria e quando questa è umida variano le condizioni di movimento della membrana e della conducibilità dielettrica.

Dalle osservazioni svolte in molti anni di misure e in molteplici verifiche su sistemi di monitoraggio per esterni, la variabilità di risposta dei microfoni per esterni può essere contenuta entro 1 dB(A).

Variabilità delle condizioni emissive della sorgente

Se non avvengono fatti strani, come ad esempio per un'infrastruttura può essere un incidente stradale (anche se questi sono all'ordine del giorno), la ripetibilità emissiva di un insieme di sorgenti sul territorio è notevole e da giorno a giorno (almeno per i feriali) abbiamo valori medi globali che si discostano entro 1 dB(A).

La maggior variabilità del rumore emesso la si ha nel periodo notturno, dove i flussi di traffico sono di molto inferiori a quelli diurni e le velocità salgono.

Variabilità delle condizioni atmosferiche

Per il fatto stesso che le misure vengono eseguite all'aperto, questi elementi sono più importanti di quanto sembri. Una variazione della velocità dell'aria, anche modesta, può comportare una variazione di livello di alcuni dB(A), per cui è bene che le misure avvengano in condizioni pressoché stabili.

In condizioni di controllo dei parametri dove si hanno temperature comprese tra i 5 e i 35 °C, velocità dell'aria inferiore a 1 m/s e umidità compresa tra il 30 e il 90% con un normale sistema per esterni possiamo stare sotto un'incertezza di 0,5 dB(A).

Direttività dell'onda acustica incidente

Questa componente non è di grande rilevanza quando parliamo di rumore proveniente da infrastrutture viarie (che costituiscono, statisticamente, un contributo pari al 90% del clima acustico del territorio) in quanto le frequenze in gioco vanno dai 100 ai 1000 Hz.

Campo sonoro nel punto di misura

Questo elemento può avere una certa importanza se nelle vicinanze del punto di misura vi sono superfici riflettenti. Sicuramente i valori rilevati ad una stessa distanza dal bordo dell'infrastruttura ma in due contesti di campo sonoro diversi possono portare a differenze di alcuni dB(A).

L'importante è che se questa misura è finalizzata alla taratura del modello matematico, ne si tenga conto in fase di simulazione.

7.5 Incertezze associate ai diversi parametri

Considerando un'equazione generale in cui il livello di pressione sonora misurato presso un ricevitore è

$$L_p = L_{wd} + \delta L_w \gamma_T \gamma_P - A_{div} - A_{atm} - A_{ter} - A_{rifl} - A_{dif} - A_{misc}$$

funzione dei parametri visti avremo

dove:

${}^TM_{L_w}$ è la variabilità del livello emesso dalla sorgente;

\odot_T è il termine che tiene conto del tempo di misura scelto pari a $10^{-3(T_M/T_R)}$;

\odot_P è il termine che tiene conto del punto di misura scelto in relazione alle sorgenti sonore.

Introduciamo alcuni elementi di semplificazione nella equazione per cui supporremo che la misura non venga eseguita a grandi distanze dalla sorgente ($A_{atm}=0$, $A_{ter}=0$, $A_{misc}=0$), che non vi siano particolari ostacoli in vicinanza della sorgente o del ricevitore ($A_{dif}=0$), così pure che non vi siano strutture riflettenti

$$L_p = L_{wd} + \gamma_T \gamma_P \delta L_w - 20 \log r - 11$$

($A_{rifl}=0$), e quindi sostanzialmente di eseguire la misura cercando le condizioni di campo libero.

Variabilità del fenomeno acustico L_{wd}

Questo dato è ricavabile dall'analisi statistica dei campioni di tempo memorizzati. Il termine sarà ricavabile dalla radice quadrata della varianza $s^2(L_p)$.

Variabilità della presenza delle sorgenti sonore nella zona di misura \odot_P

E' un dato variabile che assume valori tra 0.2 e 4 in relazione alla presenza di sorgenti infrastrutturali. Non è utilizzabile per sorgenti industriali dove non se ne conosce il ciclo produttivo.

Quando nelle tabelle viene specificato "zone vicine" si intende che il punto di misura è a meno di 60 metri dalla sorgente specifica.

In situazione equidistanti da due tipologie la stima di \odot_P può essere il valore medio dei due valori.

Tipologia di zona	\odot_P
Zone con assenza di sorgenti	0.7
Zone interessate da strade urbane a basso flusso	0.3
Zone interessate da strade di scorrimento extraurbane	0.4
Zone vicine al passaggi di treni	1.5
Zone vicine ad impianti industriali a rumore stazionario	0.4

Tabella 2 – Fattore \odot_P in ambito diurno

Tipologia di zona	\odot_P
Zone con assenza di sorgenti	0.9
Zone interessate da strade urbane a basso flusso	1.5
Zone interessate da strade di scorrimento extraurbane	1.4
Zone vicine al passaggi di treni	1.5
Zone vicine ad impianti industriali a rumore stazionario	0.4

Tabella 3 – Fattore \odot_P in ambito notturno

Variabilità del valore ottenuto in relazione al tempo di misura scelto di misura \odot_T

Il dato misurato su un tempo inferiore al tempo di riferimento è chiaramente soggetto ad una incertezza legata al rapporto tra questo tempo e quello di riferimento. Abbiamo considerato come periodo possibile in cui effettuare il campionamento quello ordinario lavorativo 8.30-12.00, 14.00-18.00, con misure

$$\gamma_T = 10^{-3 \frac{T_M}{T_R}}$$

non inferiori ai 15 minuti. Il termine assumerà valore

Questo dato mantiene comunque una sua incertezza anche se il tempo di misura coincide con il tempo di riferimento. Infatti pur essendo il dato statistico sufficientemente rappresentativo non si verificherà mai lo stesso valore. Il valore di una misura eseguita il mercoledì non sarà lo stesso del giovedì e differirà comunque molto rispetto al fine settimana.

Incerteza nella determinazione della distanza dalla sorgente r

L'incerteza associata a questa grandezza ha una notevole influenza sulle fasi successive, in particolare per la modellazione acustica.

Sbagliare di qualche metro su distanze considerevoli implica errori di pochi decimi di dB ma se la distanza è di decine di metri o meno la situazione cambia. In particolare è sempre difficile stimare la distanza del punto di misura da una strada o da una ferrovia se non si hanno dei riferimenti GPS.

Incerteza della strumentazione L_{ps} e L_{cal}

Includiamo in L_{ps} l'incerteza globale del fonometro nella sua misura e in L_{cal} le incertezze legate al calibratore e alle operazioni di calibrazione.

I dati sono desumibili dai certificati di calibrazione dove abbiamo per il fonometro 0.69 dB nel range da 25 Hz a 8 kHz, e per il calibratore 0.2 dB.

7.6 Calcolo delle incertezze associate alle misure

Tenuto conto delle grandezze che intervengono nella determinazione del misurando, l'incerteza associata alle misure acustiche può essere espressa attraverso la relazione seguente



$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$$

La quantità $u_i(y)$ ($i = 1, 2, \dots, N$) è il contributo all'incertezza standard associata al valore stimato y di *output* risultante dall'incertezza standard associata x_i

$$u_i(y) = c_i u(x_i)$$

dove c_i è il coefficiente di sensibilità associato al valore stimato di *input* x_i , ad esempio la derivata parziale della funzione modello f rispetto ad X_i , valutata al valore stimato di *input* x_i ,

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial X_i} \Big|_{X_i = x_1 \dots X_N = x_N}$$

Il coefficiente di sensibilità c_i descrive l'estensione con la quale il valore dei dati di uscita y è influenzato dalle variazioni del valore stimato di *input* x_i . Nel nostro caso, con le ampiezze di incertezza espresse nei punti precedenti, in condizioni meteo normali abbiamo un'incertezza totale sulla misura acustica pari a

Possiamo considerare linearmente indipendenti i fattori che hanno determinato l'equazione per cui l'incertezza tipo composta risultante dalle grandezze di ingresso fin qui viste può essere esprimibile nella forma seguente

$$u_c^2(L_p) = \gamma_P^2 \gamma_T^2 u^2(\delta L_w) + \left(\frac{\partial L_p}{\partial r} \right)^2 u^2(r) + u^2(L_{ps}) + u^2(L_{cal})$$

In questa equazione supporremo che la misura di L_{wd} attraverso la pressione L_p sia esatta (a meno dell'incertezza strumentale $u(L_{ps})$ per il fonometro e $u(L_{cal})$ per il calibratore) anche se condotta per un tempo limitato e quindi che porti ad imprecisione del dato affidando al termine γ_T e γ_P il compito di rappresentarne la variabilità.

Teniamo presente che

$$\frac{\partial L_p}{\partial r} = \frac{-20}{r \cdot \ln 10}$$

e che $u^2(L_{wd}) = s^2(L_p)$ indicando con $s^2(L_p)$ la varianza della misura dei livelli sonori.

I fattori che quindi entrano in gioco nella valutazione delle incertezze associate sono i seguenti.



Diurno
 Misure Ante Operam T_M (min) 960 ξ_p 0.4

Grandezza X_i	Stima x_i	Incertezza tipo $u(x_i)$	Distribuzione	Coeff. Di Sensibilità c_i	Componente di incertezza $u_i(y)=c_i u(x_i)$
L_w	90.0 dBA	0.0 dBA	Normale	1.00	0.0 dBA
dL_w	0.0 dBA	2.8 dBA	Normale	0.00	0.0 dBA
r	20.0 m	2.0 m	Normale	-0.434	0.9 dBA
L_{ps}	65.0 dBA	0.4 dBA	Normale	-1	0.4 dBA
L_{col}	94.0 dBA	0.1 dBA	Normale	1	0.1 dBA
L_P	64.0 dBA				1.0 dBA

Incertezza tipo composta $u_c(y)$ 1.0 dBA
 Incertezza estesa con fattore di copertura k=2 $U=k u_c(y)$ 1.9 dBA

Notturmo
 Misure Ante Operam T_M (min) 480 ξ_p 1.4

Grandezza X_i	Stima x_i	Incertezza tipo $u(x_i)$	Distribuzione	Coeff. Di Sensibilità c_i	Componente di incertezza $u_i(y)=c_i u(x_i)$
L_w	80.0 dBA	0.0 dBA	Normale	1.00	0.0 dBA
dL_w	0.0 dBA	5.8 dBA	Normale	0.04	0.3 dBA
r	20.0 m	2.0 m	Normale	-0.434	0.9 dBA
L_{ps}	50.0 dBA	0.4 dBA	Normale	-1	0.4 dBA
L_{col}	94.0 dBA	0.1 dBA	Normale	1	0.1 dBA
L_P	54.0 dBA				1.0 dBA

Incertezza tipo composta $u_c(y)$ 1.0 dBA
 Incertezza estesa con fattore di copertura k=2 $U=k u_c(y)$ 2.0 dBA

In tutte queste verifiche abbiamo supposto una tipologia di misura di almeno 24 ore

7.7 Stima delle incertezze delle simulazioni modellistiche

Consideriamo quindi i vari elementi che concorrono alla stima delle incertezze.

- incertezze dei dati di ingresso del modello, che indicheremo con L_w che canonicamente rappresenta il valore di input delle sorgenti ma, la cui incertezza, include anche elementi di input come l'olografia del terreno, l'inserimento di ostacoli, ecc..;
- stima delle incertezze dei dati di uscita del modello (propagazione), che indicheremo con A che abbiamo visto raccoglie tutti gli elementi che entrano nel computo della propagazione dell'onda sonora;
- caratterizzazione delle incertezze associate a diverse impostazioni del modello, che indicheremo con δL_m indicando la variabilità tra la scelta del modello (comprendendo la linea guida usata) e la situazione reale;
- incertezze del modello derivanti dalle misure di taratura, che indichiamo con δL_p in cui il misurando è pari a 0 con una incertezza associata vista nel paragrafo precedente.



Diurno

Grandezza X_i	Stima x_i	Incertezza tipo $u(x_i)$	Distribuzione	Coeff. Di Sensibilità c_i	Componente di incertezza $u_i(y)=c_i u(x_i)$
L_w	90.0 dBA	1.5 dBA	Normale	1	1.5 dBA
A	30.0 dBA	1.6 dBA	Normale	1	1.6 dBA
dL_m	0.0 dBA	2.0 dBA	Rettangolare	1	2.0 dBA
dL_{pt}	0.0 dBA	1.0 dBA	Normale	1	1.0 dBA
L_p	60.0 dBA				3.1 dBA

Incertezza tipo composta $u_c(y)$ 3.1 dBA
 Incertezza estesa con fattore di copertura $k=2$ $U=k u_c(y)$ 6.2 dBA

Notturmo

Grandezza X_i	Stima x_i	Incertezza tipo $u(x_i)$	Distribuzione	Coeff. Di Sensibilità c_i	Componente di incertezza $u_i(y)=c_i u(x_i)$
L_w	90.0 dBA	2.2 dBA	Normale	1	2.2 dBA
A	30.0 dBA	1.6 dBA	Normale	1	1.6 dBA
dL_m	0.0 dBA	2.3 dBA	Rettangolare	1	2.3 dBA
dL_{pt}	0.0 dBA	1.0 dBA	Normale	1	1.0 dBA
L_p	60.0 dBA				3.7 dBA

Incertezza tipo composta $u_c(y)$ 3.7 dBA
 Incertezza estesa con fattore di copertura $k=2$ $U=k u_c(y)$ 7.4 dBA

8 Risultati

8.1 Dati specifici di input

All'interno del modello di calcolo sono riportati i dati dello studio di traffico fornito dal Comune coadiuvati dalle misure eseguite in sito.

8.2 Risultati mappatura acustica

I risultati della mappatura acustica delle tratti stradali in oggetto sono rappresentati:

- in forma grafica la visualizzazione delle linee di livello dei descrittori acustici L_{den} e L_n .
- in forma tabellare la stima di superfici, edifici e popolazione esposte al rumore.

In formato grafico sono visualizzate le curve isofoniche del livello L_{den} di 55, 60, 65, 70 e 75 dBA.

In una seconda tavola sono indicate le isofoniche dei valori del L_n di 50, 55, 60, 65 e 70 dBA.

9 Conclusioni

Riportiamo di seguito tutti i dati relativi alla mappatura acustica riportati nel "END Reporting Mechanism" nel foglio dedicato alle tabelle DF4 e DF8.

Dati Complessivi - Strade gestite dal Comune di Bergamo, Strade gestite dalla provincia di Bergamo, Autostrada, Ferrovia e Aeroporto)

Valori arrotondati al centinaio

Lden - Totale persone per fasce				
55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	70-74 dB(A)	>75 dB(A)
24200	17400	15500	7200	1300

Ln - Totale persone per fasce				
50-54 dB(A)	55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	>70 dB(A)
19300	17200	8100	1600	400

Lden>55dB(A)			Lden>65dB(A)			Lden>75dB(A)		
Km ²	N°abitazioni	N°persone	Km ²	N°abitazioni	N°persone	Km ²	N°abitazioni	N°persone
17,17	9700	65500	7,58	3800	23900	1,19	600	1300

Valori non arrotondati al centinaio

Lden - Totale persone per fasce				
55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	70-74 dB(A)	>75 dB(A)
24182	17417	15451	7176	1318

Ln - Totale persone per fasce				
50-54 dB(A)	55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	>70 dB(A)
19278	17231	8075	1624	389

Lden>55dB(A)			Lden>65dB(A)			Lden>75dB(A)		
Km ²	N°abitazioni	N°persone	Km ²	N°abitazioni	N°persone	Km ²	N°abitazioni	N°persone
17,17	9663	65544	7,58	3774	23945	1,19	621	1318

Dati parziali relativi agli edifici sensibili.

Lden - Scuole				
55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	70-74 dB(A)	>75 dB(A)
19	16	18	9	0

Lden – Ospedali e Case di Cura				
55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	70-74 dB(A)	>75 dB(A)
1	0	2	0	0

Ln - Scuole				
50-54 dB(A)	55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	>70 dB(A)
16	16	12	4	0

Ln – Ospedali e Case di Cura				
50-54 dB(A)	55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	>70 dB(A)
1	2	0	0	0

Dati relativi al solo "Traffico Veicolare" - Strade gestite dal Comune di Bergamo, Strade gestite dalla Provincia di Bergamo e Autostrada)

Valori arrotondati al centinaio

Lden- Totale persone per fasce				
55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	70-74 dB(A)	>75 dB(A)
21900	16100	14000	6200	1100

Ln- Totale persone per fasce				
50-54 dB(A)	55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	>70 dB(A)
10200	9300	6400	1100	100

Lden>55dB(A)			Lden>65dB(A)			Lden>75dB(A)		
Km ²	N°abitazioni	N°persone	Km ²	N°abitazioni	N°persone	Km ²	N°abitazioni	N°persone
14,40	8600	59300	6,70	3500	21300	1,15	500	1100

Valori non arrotondati al centinaio

Lden- Totale persone per fasce				
55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	70-74 dB(A)	>75 dB(A)
21921	16112	13984	6189	1078

Ln – Totale persone per fasce				
50-54 dB(A)	55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	>70 dB(A)
10192	9321	6421	1137	112

Lden>55dB(A)			Lden>65dB(A)			Lden>75dB(A)		
Km ²	N°abitazioni	N°persone	Km ²	N°abitazioni	N°persone	Km ²	N°abitazioni	N°persone
14,40	8562	59284	6,70	3482	21251	1,15	477	1078

I dati parziali relativi agli edifici sensibili sono riportati di seguito.

Lden - Scuole				
55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	70-74 dB(A)	>75 dB(A)
21	10	15	9	0

Lden – Ospedali e Case di Cura				
55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	70-74 dB(A)	>75 dB(A)
1	0	2	0	0

Ln - Scuole				
50-54 dB(A)	55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	>70 dB(A)
15	8	14	1	0

Ln – Ospedali e Case di Cura				
50-54 dB(A)	55-59 dB(A)	60-64 dB(A)	65-69 dB(A)	>70 dB(A)
1	2	0	0	0



tecno habitat s.p.a.
 Dott. Ing. Massimo Di Felice
 Igienista Industriale Certificato n. 00043
 Tecnico Competente in Acustica
 Ambientale ex L. 447/95
 (D.P.G.R. n° 2574 del 25/6/97)

