Relazione Tecnica

autostrade per l'italia
Società per azioni

ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2002/49/CE RELATIVA ALLA DETERMINAZIONE E GESTIONE DEL RUMORE AMBIENTALE

MAPPATURA ACUSTICA DELLA RETE DI AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.

DECRETO LEGISLATIVO 19 AGOSTO 2005, N° 194

AGGIORNAMENTO DELLE IMMISSIONI NEGLI AGGLOMERATI URBANI CON PIÙ DI 250.000 ABITANTI E PRIMO INVIO A QUELLI CON POPOLAZIONE COMPRESA TRA 100.000 E 250.000 ABITANTI

Gennaio 2012

INDICE

1. PREMESSA 3
1.1 Scopo del documento 3
2. DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA DI CALCOLO NMPB 96 4
2.1. Caratteristiche generali 4
2.2. Modello di propagazione 6
2.2.1. Effetti meteorologici 6
2.2.2. Decomposizione in sorgenti elementari e definizione dei parametri funzionali 9
2.2.3. Divergenza geometrica 10
2.2.5. Effetto del suolo 10
2.2.6. Diffrazione 14
2.2.7. Riflessioni sugli ostacoli verticali 17
2.3. Modello di emissione 17
2.3.1. Categorie veicoli 17
2.3.2. Categorie pavimentazioni e tipologia di infrastruttura stradale 18
2.3.3. Condizioni di traffico 18
2.3.4. Calcolo dell'emissione 19
2.3.5. Modello di sorgente 20
3. ADATTAMENTO DEL CODICE DI CALCOLO NMPB 96 21
3.1. Generalità 21
3.2. Aggiornamento banca dati di emissione 22
3.2.1. Stato dell'arte 22
3.2.2. Misure di Statistical Pass-by 23
4. CONFRONTO TRA MODELLO DI CALCOLO NMPB 96 CON DIVERSE BANCHE DATI 26
4.1 Calibrazione del modello 27
5. MODALITÀ DI PRESENTAZIONE AGLI AGGLOMERATI 28
5.1 Mappatura Acustica Livello L_{DEN} 28
5.2 Mappatura Acustica Livello L_{NIGHT} 28
5.3 Chiavi di lettura file *.shp 29
6. CONCLUSIONI 30
7. BIBLIOGRAFIA 30

1. PREMESSA

A seguito della pubblicazione del decreto legislativo n. 194 del 19 agosto 2005 che recepisce la direttiva comunitaria 2000-49-CE , per quanto riguarda i gestori/possessori di “assi stradali principali” sono entrati in vigore i seguenti obblighi:

entro 31/12/06: fornire i dati delle mappe acustiche relativamente alle tratte della propria rete con traffico superiore a 6.000.000 veicoli/anno e che ricadono entro gli agglomerati con popolazione superiore a 250,000 abitanti;

entro 30/06/07: trasmissione,alla regione o alla provincia autonoma competente, della mappatura acustica degli assi stradali principali su cui transitano più di 6.000.000 di veicoli all'anno nonché di alcuni dati statistici inerenti l’esposizione all’inquinamento acustico di persone ed edifici, riferiti al precedente anno solare. Nel caso di infrastrutture principali che interessano più regioni gli stessi enti trasmettono la mappatura acustica ed i dati statistici al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio ed alle regioni o province autonome competenti;

entro 18/07/08: trasmissione, alla regione od alla provincia autonoma competente, dei piani di azione per gli assi stradali principali su cui transitano più di 6.000.000 di veicoli all'anno tenendo conto dei risultati della mappatura acustica. Nel caso di infrastrutture principali che interessano più regioni gli stessi enti trasmettono i piani d'azione al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio ed alle regioni o province autonome competenti;

entro 31/12/11: fornire i dati delle mappe acustiche relativamente alle tratte della propria rete con traffico superiore a 3.000.000 veicoli/anno e che ricadono entro gli agglomerati con popolazione superiore a 100.000 abitanti (da 100.000 a 250.000 prima comunicazione mentre per quelli al di sopra di 250.000 è un aggiornamento);

La Commissione Europea ha inoltre emanato linee guida e documenti relativi alle procedure con cui effettuare le mappe acustiche e trasmettere i relativi dati agli enti interessati [(1),(3)]

1.1 Scopo del documento

Nel caso di rumore da traffico stradale il decreto legislativo n. 194 consiglia l’uso della procedura di calcolo “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), riportato in ‘”Arretè du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routieres, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6” e nella norma XPS 31-133. Per i dati di ingresso concernenti l'emissione, questi documenti fanno capo al documento “Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prevision des niveaux sonores” edita dal CETUR nel 1980[(1)].

In considerazione che i dati di input cui la procedura fa riferimento risalgono ad oltre trenta anni fa, la stessa commissione in una successiva raccomandazione[(2)] consiglia una adeguata procedura per adeguare i valori di emissioni alle nuove caratteristiche di veicoli e di pavimentazioni.

Nei successivi paragrafi è dettagliatamente descritto il metodo consigliato dalla Commissione (ed impiegato da Autostrade per l’Italia S.p.a. per realizzare la mappatura acustica) nonché l’approccio adottato per effettuare l’aggiornamento delle banche dati di input.

2. DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA DI CALCOLO NMPB 96

Prima di entrare nel dettaglio degli argomenti, è importante puntualizzare le differenze sussistenti fra il concetto di "modello di calcolo" e "software di calcolo".

Per "*modello di calcolo*" si intende una procedura operativa in cui vengono definiti i criteri secondo cui schematizzare le sorgenti e l'ambiente di propagazione (terreno, vegetazione, edifici, barriere, etc.), calcolare i principali fenomeni fisici della propagazione (diffrazioni e riflessioni) ed individuare i ricettori.

Per "*software di calcolo*" si intende la trasposizione delle suddette procedure in pacchetti di programmi commerciali: a titolo esemplificativo il "modello di calcolo" NMPB-96 è implementato in molteplici "software di calcolo". , come ad esempio Soundplan, Cadna, Predictor, Immi, Lima, Mythra, Sintef, etc.

È anche opportuno evidenziare che non esiste attualmente a livello comunitario o nazionale una procedura legislativa armonizzata utilizzabile per convalidare un "software di calcolo" né quantomeno un "modello di calcolo": le norma tecnica di riferimento per il confronto dei software è la norma DIN 45687, mentre altre indicazioni tecniche metodologiche si possono trovare nelle norme NF 31-130/131/132 e nella norma UNI 11143-1.

2.1. Caratteristiche generali

Il metodo di calcolo NMPB-96 costituisce un metodo per la previsione dei livelli acustici a distanze fino a 800 metri dall'infrastruttura stradale, tenendo in considerazione gli effetti meteorologici. NMPB consente il calcolo dei parametri $L_{Aeq(10pm\text{-}6am)}$ and $L_{Aeq(6am\text{-}10pm)}$, ma può, con opportuni accorgimenti, essere adattato anche per il calcolo del parametro L_{DEN} richiesto dalla direttiva 2000-49-CE.

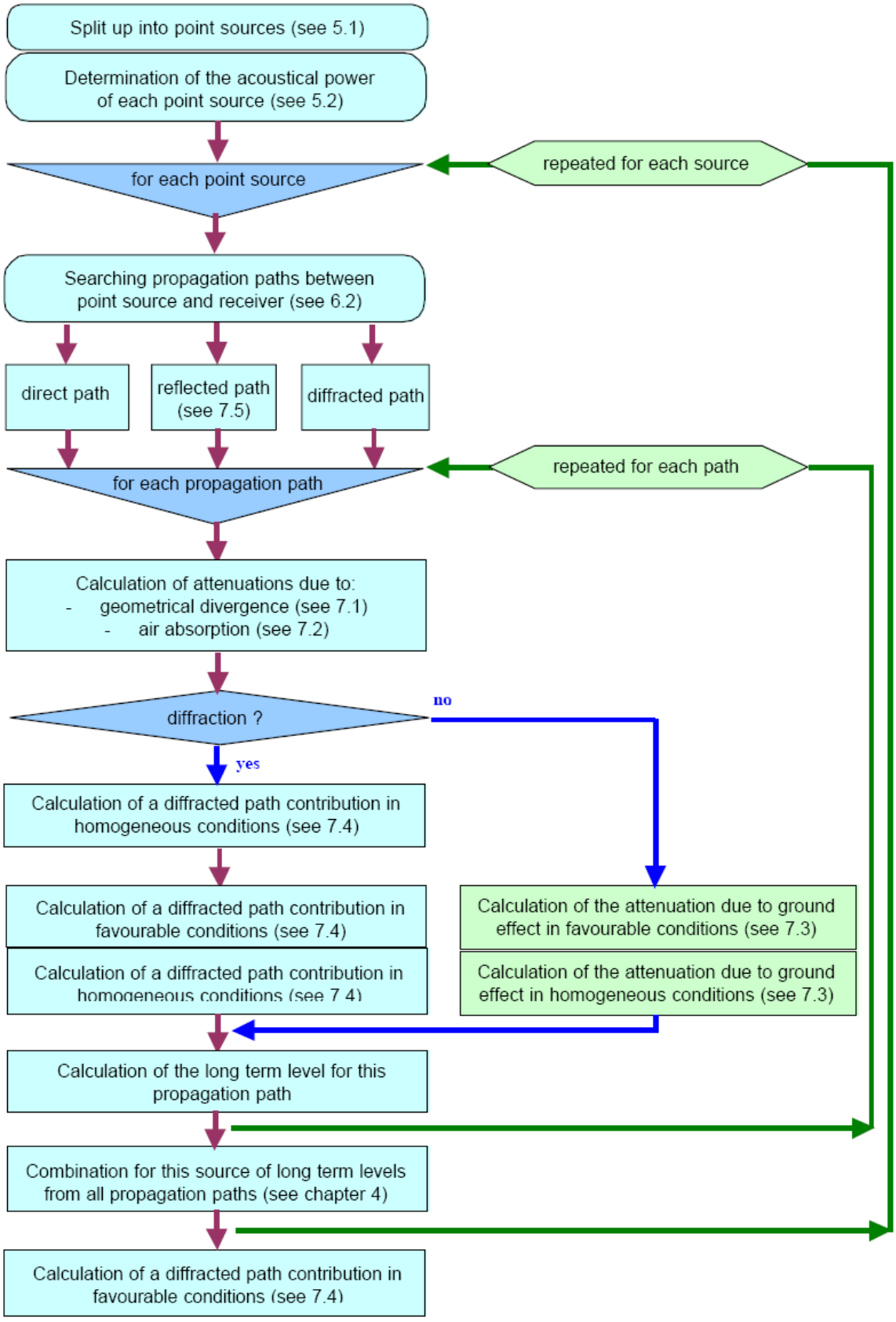
I calcoli sono effettuati in bande di ottava da 125 Hz a 4 kHz, ed il metodo è basato sulla suddivisione delle linee di traffico in single sorgenti puntiformi.; la procedura prende in considerazione principalmente la propagazione e non fa riferimento a valori di emissione che pertanto devono essere ottenuti da altre fonti (in particolare la direttiva 2000-49-CE fa riferimento alla "Guide du bruit" del 1980). I valori di emissione da prendere in considerazione sono i valori di livelli di potenza sonora in bande di ottava, possibilmente completi di fattori di direttività orizzontale e verticale.

NMPB-96 prende in considerazioni due condizioni meteorologiche, e precisamente l'una omogenea e l'altra favorevole alla propagazione: il risultato del calcolo, ovvero il livello equivalente di lungo termine può essere ottenuto dalla combinazione dei due calcoli, definendo la percentuale di tempo in cui si verificano le condizioni di propagazione di tipo "favorevole". La procedura di calcolo tiene conto dei seguenti effetti:

- divergenza geometrica;
- assorbimento atmosferico;
- effetto terreno, tenendo conto dell'altezza delle sorgenti e dei ricettori;
- calcolo in condizioni meteorologiche omogenee ed in condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione;
- diffrazioni semplice e multiple, mediante calcolo delle differenze fra traiettoria diretta e traiettoria difratta e successiva definizione dell'attenuazione A_{dif};
- riflessione su ostacoli verticali.

Per sorgenti di altezza elevata rispetto al terreno, il modello può essere impiegato per ricettori disposti perpendicolarmente all'infrastruttura stradale ad una distanza massima di 800 m ed ad un'altezza da terra di almeno 2 m; il dominio di validità decresce però nel caso in cui sia la sorgente che il ricettore siano ad altezze inferiori.

La seguente figura mostra il diagramma di flusso funzionale del modello NMPB-96.



2.2. Modello di propagazione

2.2.1. Effetti meteorologici

Data anche la configurazione del territorio ed il grado di urbanizzazione della Francia, la procedura NMPB-96 tiene in particolare considerazione gli effetti meteorologi, soprattutto per ricettori posti a distanza maggiore di 250 m dall'infrastruttura stradale.

La "sorgente strada" viene rappresentata come una sorgente lineare, successivamente ricondotta ad una serie di sorgenti puntiformi distribuite con criteri predefiniti lungo una serie di linee emettitrici; l'attenuazione durante la propagazione fra sorgenti puntiformi ed i ricevitori è stimata attraverso la somma di termini rappresentativi della divergenza sferica, dell'assorbimento dell'aria, dell'effetto terreno, della diffrazione su ostacoli e della riflessione su elementi verticali. Tutte questi termini sono calcolati per due condizioni meteorologiche, e precisamente la condizione favorevole alla propagazione, a cui corrisponde il livello L_F e la condizione omogenea, a cui corrisponde il livello L_H

Il livello di lungo termine ponderato A, L_{LT}, è quindi stimato dalla relazione:

$$L_{LT} = 10 \log[p \times 10^{LF/10} + (1 - p) \times 10^{LH/10}] \qquad [1]$$

dove:

p è la percentuale di tempo (espressa con valori fra 0 e 1) in cui si verificano condizioni favorevoli alla propagazione. In altri termini, per determinare le condizioni di "livelli di lungo termine", il metodo NMPB non prende in esame le condizioni meteorologiche statistiche peculiari del sito, ma sostituisce le "condizioni sfavorevoli alla propagazione" con le "condizioni omogenee", e pertanto perviene ad una "sovrastima" dei reali livelli di inquinamento acustico.

La percentuale di tempo in cui occorrono le condizioni favorevoli (espressa nel metodo come percentuale **p**), può essere valutata qualitativamente con il metodo di Zouboff, il quale si basa sulla seguente matrice a doppia griglia che richiede semplici informazioni meteorologiche relative ad $\mathbf{U_i}$ ovvero scelta di una delle 5 classi di vento) e$\mathbf{T_i}$, ovvero scelta di 5 classi termiche, di cui 3 diurne e due notturne).

I valori di probabile occorrenza **p** sono stati calcolati in Francia (e quindi sono strettamente validi in quel territorio), in 40 diverse stazioni meteorologiche, sia nel periodo diurno (06.00-22.00) che in quello notturno (22.00-06.00), con direzioni fra sorgente e ricettore variabili a step di 20°; i risultati corrispondono all'integrazione di almeno 10 anni di dati meteorologici.

La norma prevede la possibilità di eseguire nei singoli siti d'interesse rilevazioni e successive analisi statistiche delle condizioni meteorologiche. La stessa norma consente, nel caso che un territorio non disponga di dati, di adottare valori di default, ad esempio **p = 0.5** nel periodo notturno (100% di occorrenza di condizioni favorevoli) e **p = 0.25** nel periodo diurno (50% di occorrenza di condizioni favorevoli), secondo quanto consigliato dal Ministero per l'Ambiente e dal WGAEN(3).

A titolo di completezza, si riporta comunque la tabella di Zouboff, rimandando i dettagli a quanto riportato nella norma NS 31-133. (le zone grigie nel diagramma corrispondono a situazioni meteorologiche "impossibili" o "estremamente poco probabili").

	U1	U2	U3	U4	U5
T1		- -	-	-	
T2	- -	-	-	Z	+
T3	-	-	Z	+	+
T4	-	Z	+	+	+ +
T5		+	+	+ +	

Legenda	
-	attenuazione normale (raggi curvi in l'alto)
- -	attenuazione forte(raggi verso l'alto)
Z	effetti meteorologici nulli (raggi rettilinei)
+	moderata amplificazione (raggi curvi in basso)
+ +	forte amplificazione (raggi curvi in basso)

U_1: vento forte (da 3 a 5 m/s) opposto alla direzione di propagazione

U_2: vento debole o moderato (da 1 a 3 m/s)opposto o forte vento in direzione non opposta

U_3: vento nullo o vento trasversale

U_4: vento moderato nella direzione della propagazione o vento forte a 45°

U_5: vento forte

T_1: periodo diurno con forte radiazione solare e superfici asciutte e non troppo vento

T_2: stese condizioni di T_1 , ma con una delle condizioni di T_1 non realizzata

T_3: alba o tramonto o (tempo nuvoloso con vento e superfici non troppo umide)

T_4: periodo notturno con nuvole o vento

T_5: periodo notturno con cielo sereno e vento debole.

È importante sottolineare, come evidenziato nel diagramma funzionale sopra riportato, che il calcolo degli effetti meteorologici và effettuato per bande di ottava e per tutte le direzioni congiungenti sorgente e ricettore.

Viene qui di seguito descritto in dettaglio come deve essere effettuato il calcolo relativamente all''intervallo di tempo preso in esame (un anno, secondo la Direttiva 2000-49-CE):

1. Decomposizione delle sorgenti di rumore in sorgenti elementari puntuali;
2. Determinazione del livello di potenza sonora per ciascuna sorgente, in bande di ottava;
3. Ricerca delle traiettorie di propagazione da ciascuna sorgente a ciascun ricettore (diretta, difratta e riflessa);
4. Su ciascuna traiettoria di propagazione, calcolare per ogni banda di ottava:
   - l'attenuazione in condizioni favorevoli;
   - l'attenuazione in condizioni omogenee;
5. Il livello di lungo termine, tenendo conto dell'occorrenza di condizioni favorevoli ed omogenee;

6. Somma dei diversi contributi di lungo termine di tutte le traiettorie per calcolare il livello globale di lungo termine per bande di ottava;
7. Calcolo del livello sonoro globale di lungo termine ponderato A.
   Per una sorgente sonora puntuale Si di potenza L_{Awi}, e per ciascuna banda di ottava considerata,il livello globale di lungo termine presso un ricettore R per determinate condizioni atmosferiche è dato da

1. Calcolo livello sonoro in condizioni favorevoli per la traiettoria (Si, R)

$$L_{Ai,\,F} = L_{Awi} - A_{i,F} \qquad [2]$$

Il termine Ai,F rappresenta l'insieme delle attenuazioni lungo il percorso di propagazione e si compone dei seguenti termini in condizioni di propagazione favorevole:

$$A_{i,F} = A_{div} + A_{atm} + A_{sol,F} + A_{dif,F} \qquad [3]$$

Dove

A_{div} è l'attenuazione per divergenza geometrica
A_{atm} è l'attenuazione per assorbimento atmosferico
$A_{sol,F}$ è l'attenuazione per effetto del terreno
$A_{dif,F}$ è l'attenuazione dovuta la diffrazione

2. Calcolo livello sonoro in condizioni omogenee per la traiettoria (Si, R)

$$L_{Ai,H} = L_{Awi} + D_{hi} + D_{vi} - A_i \qquad [4]$$

dove i termini hanno il medesimo significato del punto precedente, ma iferiti alle condizioni omogenee.

3. calcolo livello sonoro di lungo termine per la traiettoria (Si, R)

Il livello sonoro dovuto alla singola sorgente puntuale è dato dalla somma energetica dei livelli in due condizioni omogenea e favorevole, ponderata con il fattore p di occorrenza relativo alla traiettoria (Si, R)

4. Calcolo livello sonoro di lungo termine al punto R per tutte le traiettorie di propagazione

Il livello sonoro al ricettore per la banda di ottava j è ottenuto per somma dei contributi sonori dell'insieme delle sorgente sonore puntuali e delle loro eventuali sorgenti immagine

$$L_{Aeq,LT}(j) = 10 \lg \left[\sum_{i} 10^{0,1 L_{Ai,LT}(j)} + \sum_{i'} 10^{0,1 L_{Ai',LT}(j)} \right] \qquad [5]$$

dove **i** rappresenta l'insieme delle sorgenti puntuali e **i'** l'insieme delle sorgenti immagine corrispondenti a delle riflessioni su ostacoli verticali.

2.2.2. Decomposizione in sorgenti elementari e definizione dei parametri funzionali

Il primo step è la divisione geometrica dell'infrastruttura in "archi elementari" su cui l'emissione sonora del traffico non varia ed ha caratteristiche omogenee riguardo alla tipologia costruttiva e funzionale (pendenza, numero corsie, larghezza della piattaforma). Ciascun arco elementare è modellizzato con un numero variabile di "linee emettitrici" , posizionando in genere una linea su ciascuna corsia.

Successivamente ciascun arco è decomposto in un insieme di sorgenti puntuali elementari, rispettando il criterio base che la distanza fra due punti non può essere superiore alla metà della distanza ortogonale fra ricettore e sorgente puntuale ad esso più vicina. A ciascuna sorgente puntuale identificata viene assegnato un livello di potenza sonora in dB(A) per ciascuna banda di ottava i dato dalla formula:

$$L_{Awi} = L_{Aw/m} + 10 \log (li) \qquad [6]$$

dove:

$L_{Aw/m}$ è il livello di potenza sonora/metro della linea di sorgenti di rumore in dB(A),per banda di ottava

li è la lunghezza (in metri) della porzione di arco relativa alla sorgente puntiforme **i** .

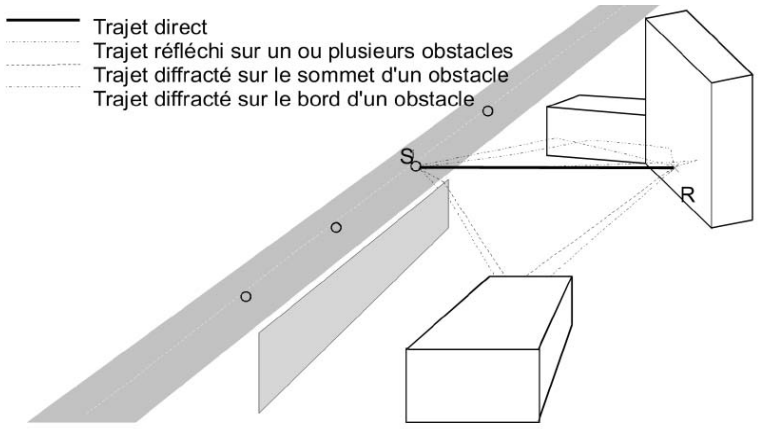
I valori di $L_{Aw/m}$ sono determinati secondo la norma NS 31-130, che sostanzialmente richiama la "Guide du Bruit des Transports Terrestres - Fascicule «Prévision desniveaux sonores» (1980)".

L'altezza delle singole sorgenti è fissata a 0.5 m dal suolo, e le sorgenti sono considerate omnidirezionali; i ricettori devono essere posti ad un'altezza dal suolo di almeno 2 m e a 2 metri di distanza dalla facciata.

Il metodo si basa sulla determinazione delle traiettorie di propagazione rettilinee fra sorgente e ricettore, e può essere applicato sia rigorosamente in 3 dimensioni o, preferibilmente, in "pseudo 3D" ovvero in 2D½, in modo da semplificare il problema della propagazione, riducendo le 3 dimensioni ad un insieme di problematiche elementari a 2 dimensioni; in pratica l'infrastruttura è scomposta in archi elementari e le propagazioni (dirette, riflesse e difratte) fra ciascuna sorgente ed il punto di ricezione sono ricercate solo sulla proiezione sul piano orizzontale. Per ciascuna traiettoria, il calcolo dell'attenuazione dovuta alla propagazione si esegue successivamente sul piano verticale contenete la traiettoria di propagazione.

Se per una coppia sorgente/ricettore esistono numerosi percorsi di propagazione (vedi figura seguente), si prendono in esame esclusivamente gli ostacoli verticali.

Non si considerano riflessioni sul suolo,in quanto questo fenomeno è trattato separatamente.



2.2.3. Divergenza geometrica

L'attenuazione causata dalla divergenza geometrica prende in considerazione la riduzione del livello sonoro dovuto alla distanza di propagazione. Per una sorgente puntuale in campo libero, l'attenuazione in decibel per ciascuna banda di ottava è data da:

$$A_{div} = 10 \log(4\pi d^2) = 20 \log(d) + 11 \quad [7]$$

dove:

d è la distanza diretta fra sorgente e ricettore (in assenza di ostacoli) , espressa in metri.

2.2.4. Assorbimento atmosferico

L'attenuazione dovuta all'assorbimento atmosferico, A_{atm}, (in decibel)s), lungo una percorso di propagazione di lunghezza d è fornito dalla formula:

$$A_{atm} = \alpha d/1\,000 \quad [8]$$

dove:

d è la distanza tra sorgente e ricettore ed α è il coefficiente di attenuazione atmosferica (dB/km), ricavabile per banda di ottava dalla seguente tabella, valida per T=15 °C ed umidità relativa del 70 %.

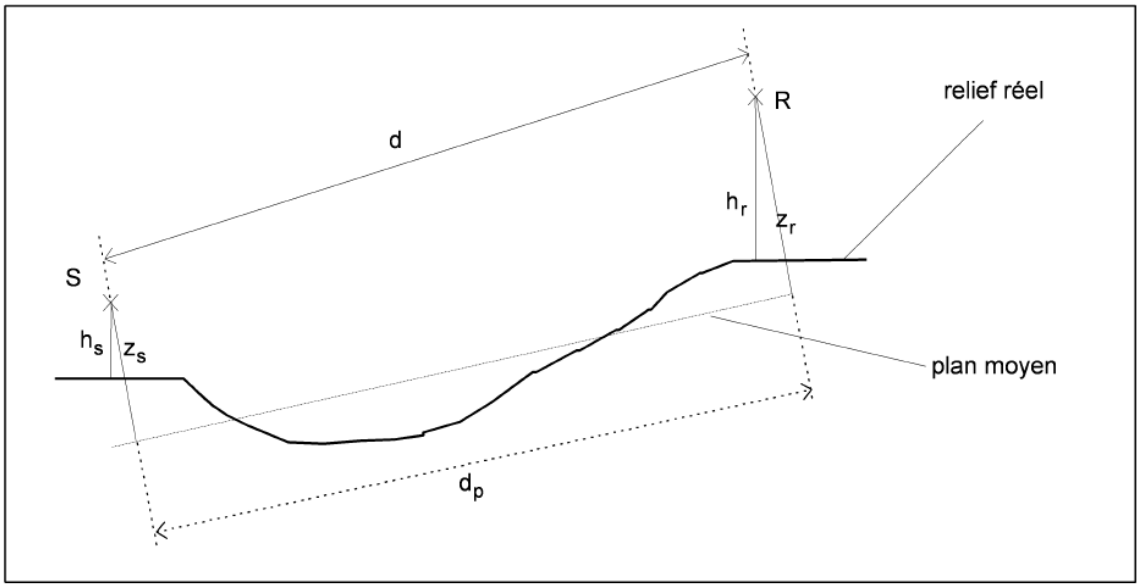
Frequenza centrale (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
α (in dB/km)	0.38	1.13	2.36	4.08	8.75	26.4

2.2.5. Effetto del suolo

L'attenuazione dovuta all'effetto del suolo è principalmente il risultato dell'interferenza fra il suono riflesso dalla superficie del suolo ed il suono che si propaga direttamente dalla sorgente verso il ricettore. Tale fenomeno è funzione sia delle caratteristiche del terreno sia delle condizioni meteorologiche che modificano la curvatura dei raggi sonori (verso l'alto o il basso): pertanto anche per l'effetto suolo, vengono distinte due tipologie di calcolo, l'una per le condizioni omogenee e l'altra per le condizioni favorevoli di propagazione.
Ai fini del calcolo, l'assorbimento del suolo è rappresentato da un coefficiente G, adimensionale, compreso fra 1 e 0, attribuendo il valore 0 ad un terreno riflettente ed il valore 1 ad un terreno assorbente, mentre può assumere valori intermedi in caso di propagazione lungo suoli di diversa natura.

Tipo di suolo	G (adimensionale)
Suolo assorbente (erba, prato, ballast, etc.)	**1**
Suolo riflettente (rivestimento stradale, asfalto, ecc.)	**0**

Per prendere in opportuna considerazione la realtà del profilo del terreno lungo la di propagazione, le formule di calcolo dell'effetto suolo utilizzano,in luogo delle altezze reali della sorgente e del ricettore (indicate con **h**) la loro altezza equivalente al di sopra del "piano medio del suolo" (indicata con **z**).
In altri termini le altezze equivalenti si ottengono a partire dal profilo reale del terreno e sostituendolo con un piano fittizio rappresentante il profilo medio del terreno, come esemplificato in figura.

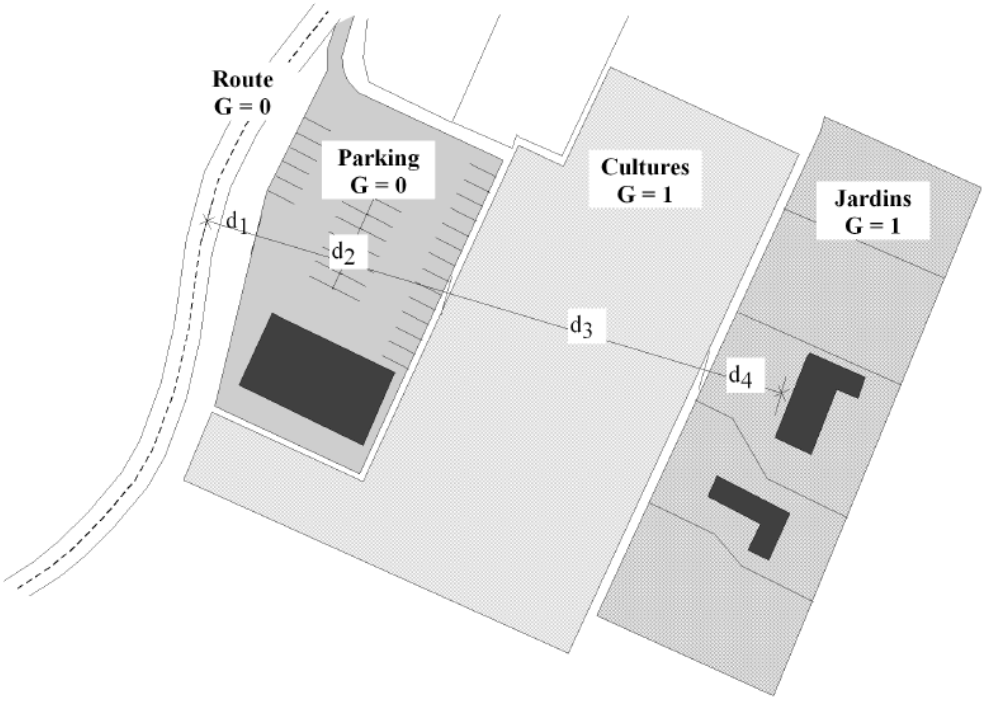


L'altezza equivalente, **z** , di un punto è quindi la sua altezza ortogonale a tale piano medio.
Se l'altezza equivalente di un punto assume valori negativi (ovvero se il punto è situato al di sotto del piano medio), la sua altezza equivalente viene posta pari a zero, ed in tal caso il punto coincide con il suo eventuale punto immagine.
Nel caso di condizioni di propagazione favorevole, il calcolo è effettuato in modo separato per le porzioni di suolo nei pressi della sorgente, nel percorso fra sorgente e ricettore e nella zona presso il ricettore, definite rispettivamente zona della sorgente, zona intermedia e zona del ricettore.
Nel caso di condizioni favorevoli, i raggi sonori sono incurvati verso il suolo, e i conseguenza l'effetto suolo è essenzialmente condizionato dalla natura del terreno posta nelle vicinanze della sorgente e del ricettore.; solo per grandi distanze le traiettorie di propagazione possono avere dei "rimbalzi" sul terreno situato fra sorgente e ricettore: in tal caso occorre tener conto anche di questi fenomeni.
Pertanto nel caso di condizioni favorevoli il calcolo và effettuato separatamente sulla zona in vicinanza della sorgente, sulla zona intermedia e sulla zona in vicinanza del ricettore.
Ciascuna di tali zone può essere caratterizzata da un coefficiente del suolo G diverso, definiti rispettivamente G_s, G_m et G_r. Normalmente si possono considerare anche due soli fattori di terreno, ovvero un coefficiente Gs nella regione della sorgente ed un coefficiente Gtraiettoria corrispondente alle caratteristiche medie del suolo sull'insieme del percorso di propagazione, ovvero applicato alla zona intermedia ed alla zona del ricettore ($G_m = G_r = G_{traiettoria}$).

Per quanto riguarda le strutture stradali di tipo riflettente G può essere posto = 0 tenendo conto del rivestimento della piattaforma stradale e della piccola altezza della sorgente rispetto al suolo.
Per il calcolo dell'effetto suolo nelle zone intermedie e del ricettore, si assume il coefficiente $G_{traiettoria}$ pari alla frazione del suolo assorbente situato sull'insieme del percorso di propagazione.

Tuttavia, quando la sorgente ed il ricettore sono vicini, ovvero quando indicativamente ≤ $30(z_s + z_r)$, la distinzione fra le tipologie di terreno preso la sorgente ed il ricettore perdono di significato. Sinteticamente si possono adottare le seguenti regole:

Il fattore di suolo $G_{traiettoria}$ si può calcolare (vedi figura seguente) dalle seguenti formule:
Se $d_p > 30(z_s + z_r)$: $G'_{traiettoria} = G_{traiettoria}$
Se $d_p \leq 30(z_s + z_r)$: $G'_{traietoria} = [G_{traiettoria}\, d_p/30(z_s + z_r)] + [G_s\,(1- d_p/30(z_s+z_r)]$



$d_1 + d_2 + d_3 + d_4 = d$ (distance directe de propagation)

$\mathbf{G_{trajet}} = (0.d_1 + 0.d_2 + 1.d_3 + 1.d_4)/d = \mathbf{(d_3+d_4)/d}$

L'attenuazione dovuta all'effetto del suolo in condizioni favorevoli sull'insieme del percorso di propagazione è quindi dato da :

$$\mathbf{A_{sol,F} = A_{s,F} + A_{m,F} + A_{r,F}} \qquad [9]$$

dove :

$A_{s,F}$, $A_{m,F}$, $A_{r,F}$ sono rispettivamente le attenuazioni dovute all'effetto suolo presso la sorgente, in zona intermedia e press il ricettore, calcolati secondo le formule riportate nella seguente tabella:

Fréquence centrale nominale (en Hz)	$A_{s,F}$ ou $A_{r,F}$ (en dB)	$A_{m,F}$ (en dB)
125	$-1,5 + G\,a'(z)$	$-3\,q\,(1-G)$
250	$-1,5 + G\,b'(z)$	
500	$-1,5 + G\,c'(z)$	
1 000	$-1,5 + G\,d'(z)$	
2 000	$-1,5\,(1-G)$	
4 000	$-1,5\,(1-G)$	

où :

$$a'(z) = 1,5 + 3,0e^{-0,12(z-5)^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right) + 5,7e^{-0,09\,z^2}\left(1 - e^{-2,8\times 10^{-6} d_p^2}\right)$$

$$b'(z) = 1,5 + 8,6e^{-0,09\,z^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

$$c'(z) = 1,5 + 14,0e^{-0,46\,z^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

$$d'(z) = 1,5 + 5,0e^{-0,9\,z^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

$q = 0$ si $d_p \le 30\,(z_s + z_r)$

$q = 1 - 30\,(z_s + z_r)/d_p$ si $d_p > 30\,(z_s + z_r)$

(Per $A_{s,F}$ porre $z = z_s$ e $G = G_s$; per $A_{r,F}$ porre $z = z_r$ e $G = G'_{traiettoria}$; per $A_{m,F}$ porre $G = G'_{traiettoria}$)

Per il calcolo in condizioni omogenee, ovvero quando le traiettorie di propagazione sono rettilinee, non è necessario distinguere le zone sorgente, intermedia e ricettore: si considera pertanto un unico coefficiente di suolo $G_{traiettoria}$ jet per l'insieme dei percorsi di propagazione, di valore identico a quello utilizzato per il calcolo in condizioni favorevoli.

L'attenuazione per effetto suolo in condizioni omogenee si calcola quindi con le seguenti formule:

$$A_{sol,H} = -10\,\lg\left[4\frac{k^2}{d_p^2}\left(z_s^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}}z_s + \frac{C_f}{k}\right)\left(z_r^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}}z_r + \frac{C_f}{k}\right)\right] \ge -3\left(1 - G'_{trajet}\right) \qquad [10]$$

dove:

$k = 2\pi f_c/c$, con f_c frequenza centrale di banda di ottava e c è la velocità del suono nell'aria

$Cf = d_p\,1 + \dfrac{3wd_pe^{-(wdp)0,5}}{1 + wd_p}$ dove w è dato in funzione della frequenza f_c e di $G_{traiettoria}$ dalla formula:

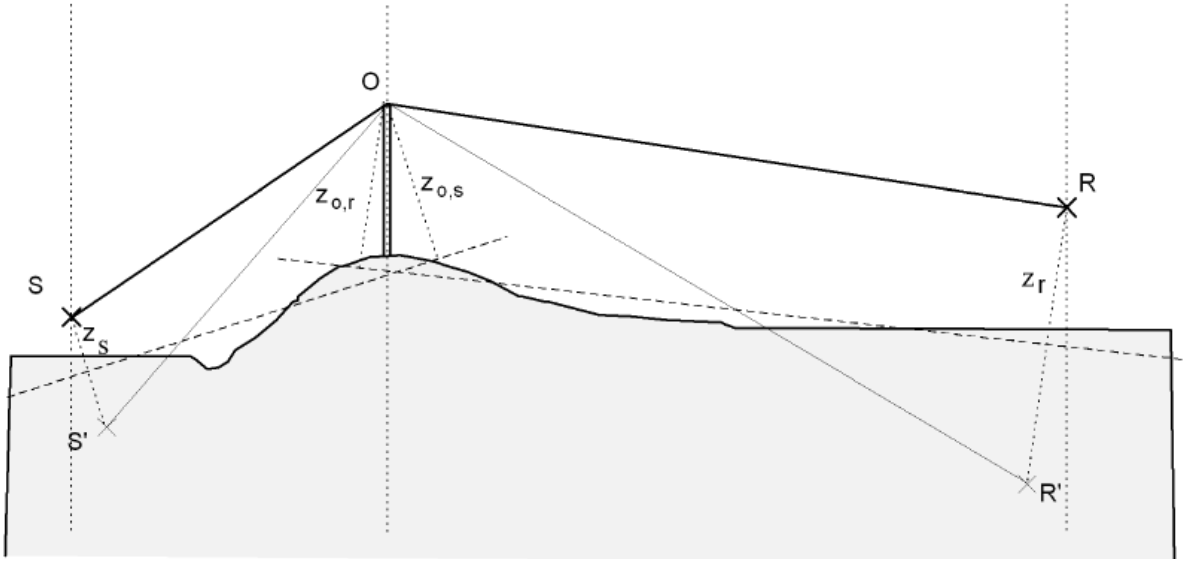
$$W = 0,0185\ (f_c^{2,5}\,G^{2.6}_{traiettoria})/\ f_c^{1,5}\,G^{2.6}_{traiettoria} + 1.3 \times 10^3 f_c^{0.75} G^{1.3}_{traiettoria} + 1.16 \times 10^6$$

2.2.6. Diffrazione

Possono essere presi in considerazione effetti di diffrazione semplice o multipla, $\mathbf{A_{diff}}$, su schermi sottili e spessi, su edifici, su rilevati sia naturali che artificiali ed anche sui bordi di trincee e viadotti (vale comunque la regola che si considerano solo ostacoli di altezza minima pari a 2metri).

Il primo passo è la verifica, fatta per ogni banda di ottava, se realmente un ostacolo determina un effetto di diffrazione, fatta calcolando la differenza di percorso Δ sulla traiettoria sorgente-ricettore: se la traiettoria passa "sufficientemente in alto" al di sopra del bordo di diffrazione, non occorre calcolare l'attenuazione per diffrazione e la sorgente ed il ricettore vengono considerati in "vista diretta" (non schermati), ponendo il termine Adiff uguale a 0 db(A).

Nel caso contrario, viene calcolato il termine $\mathbf{A_{diff}}$ secondo quanto qui seguito definito ed esemplificato dalla seguente figura.



Legenda

S = Sorgente

R = Ricettore

S' = Sorgente immagine in relazione al piano medio del suolo, "lato sorgente"

R' = Ricettore immagine in relazione al piano medio del suolo, "lato ricettore"

O = punto di diffrazione

$\mathbf{z_s}$ = Altezza equivalente della sorgente in rapporto al piano medio del suolo, "lato sorgente"

$\mathbf{z_{o,s}}$ = Altezza equivalente del punto di diffrazione O in rapporto al piano medio del suolo, "lato sorgente

$\mathbf{z_r}$ = Altezza equivalente del ricettore R in relazione al piano medio del suolo, "lato ricettore"

$\mathbf{z_{o,r}}$ = altezza equivalente del punto di diffrazione O in rapporto al piano del suolo, "lato ricettore"

Il metodo si basa sulla decomposizione del percorso di propagazione in due parti, e precisamente il "lato sorgente", situato fra la sorgente ed il punto di diffrazione, ed il "lato ricettore" situato tra bordo di diffrazione e ricettore.

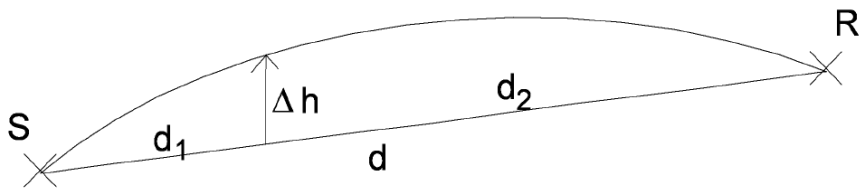
La procedura seguita è la seguente:

- Determinazione del piano del suolo medio fra sorgente ed ostacolo e successivamente fra ostacolo e ricettore;
- Creazione della sorgente immagine S' in rapporto al piano medio del "lato sorgente";
- Creazione del ricettore immagine R' in rapporto al piano medio del "lato ricettore";
- Calcolo della differenza di percorso δ per ciascuna traiettoria SR, S'R e SR';
- Calcolo dell'attenuazione per diffrazione Δ_{diff} per ciascuna delle traiettorie SR, S'R e SR';
- Calcolo dell'attenuazione dovuta dall'effetto suolo dal lato sorgente $\Delta_{sol(S,O)}$ e lato ricettore $\Delta_{sol(O,R)}$
- Calcolo dell'attenuazione A_{diff} dovuta alla diffrazione, prendendo in conto l'effetto suolo sia dal lato sorgente che dal lato ricettore.

La differenza di percorso δ è calcolata sul piano verticale (anche se ciò rappresenta un'approssimazione) contenente la sorgente ed il ricettore.

Nel caso di propagazione in condizioni omogenee il calcolo di δ viene effettuato in modo tradizionale, considerando una propagazione rettilinea; viceversa nel caso di condizioni favorevoli, l'effetto della curvatura dei raggi sonori, viene simulato spostando verso l'alto il punto della traiettoria diretta situata a destra dl bordo di diffrazione , di una quantità Δ_h data dalla seguente formula (vedi figura seguente):

$$\boldsymbol{\Delta_h = d1d2/2\gamma} \qquad [9]$$



dove:

γ è il raggio di curvatura in metri.

γ è assunto pari a 8d, dove d è la distanza diretta di propagazione, ed in ogni caso **γ** non può essere inferiore a 1.000 m (se **γ** < 1000 m si pone **γ** = 1000m).

Per determinare se esiste un apprezzabile effetto di attenuazione per diffrazione, la differenza di percorso **δ** sulla traiettoria SR è paragonata per ciascuna banda d'ottava alla quantità **λ**/20 dove **λ** è la frequenza centrale i centro banda: se la differenza di percorso δ è inferiore a λ/20 si tralascia di calcolare l'effetto di diffrazione e la sorgente ed il ricettore sono considerati in "vista diretta".

Il calcolo della diffrazione si effettua secondo le seguenti formule:

se $(40/\lambda)C'' \delta \geq -2$ $\quad \Delta_{diff} = 10\log[3+(40/\lambda)C'' \delta]$

se $(40/\lambda)C'' \delta \leq -2$ $\quad \Delta_{diff} = 0$

dove:

C' è un coefficiente che tiene conto delle diffrazioni semplici e multiple, assumendo i seguenti valori

per le diffrazioni semplici $\quad C'' = 1$

per le diffrazioni multiple $\quad C'' = [1+(5\lambda/e)^2]/[1/3 + (5\lambda/e)^2]$

dove **e** rappresenta la distanza totale fra le diffrazioni estreme, come esemplificato nella seguente figura.

Valgono i seguenti criteri generali:

- se $\Delta_{diff} < 0$ si assume $\Delta_{diff} = 0$
- se $\Delta_{diff} > 25$ si assume $\Delta_{diff} = 25$
- sulle diffrazioni su bordi verticali non esistono limiti

Per quanto riguarda il calcolo $\Delta_{sol(S,O)}$ si usa la formula seguente:

$$\Delta_{sol(S,O)} = -20\log[1+(10^{-\Delta sol(S,O)/20} - 1)10^{-(\Delta diff(S,R') - \Delta diff(s,r)/20}] \qquad [11]$$

dove:

$\mathbf{A_{sol(O,R)}}$ è l'attenuazione dovuta all'effetto del suolo fra il bordo di diffrazione O ed il ricettore R, calcolato secondo le condizioni favorevoli o nelle condizioni omogenee, con le seguenti ipotesi:

$$z_s = z_{o,r}$$

$$d = OR$$

in condizioni favorevoli :$G_s = G_m = G_r = G_{traiettoria}$ calcolato fra O ed R

in condizioni omogenee : $G = G_{traiettoria}$ calcolato fra O ed R

$\Delta_{dif(S,R')}$ è l'attenuazione dovuta alla diffrazione fra S ed il ricettore immagine R'

$\Delta_{dif(S,R)}$ e l'attenuazione dovuta alla diffrazione fra S e R,

L'attenuazione dovuta alla diffrazione , prendendo in esame tutti gli effetti relativi al lato sorgente ed al lato ricettore, sono infine calcolati con la formula:

$$A_{diff} = \Delta_{dif(S,R)} + \Delta_{sol\ (S,O)} + \Delta_{sol\ (O,R)} \qquad [12]$$

dove :

$\mathbf{\Delta_{dif\ (S,R)}}$ è l'attenuazione per diffrazione fra la sorgente S ed il ricettore R;

$\mathbf{\Delta_{sol\ (S,O)}}$ è l'attenuazione per effetto suolo, calcolata relativamente alla diffrazione lato sorgente;

$\mathbf{\Delta_{sol\ (O,R)}}$ è l'attenuazione per effetto suolo, calcolata relativamente alla diffrazione lato ricettore.

d = SO

2.2.7. Riflessioni sugli ostacoli verticali

Le riflessioni sugli ostacoli verticali (barriere antirumore, facciate degli edifici, trincee, muri, etc.) sono trattate con la teoria delle sorgenti immagine. Vengono assimilati ad ostacoli artificiali anche tutte le superfici con un'inclinazione fino a 15°.

Per tener conto di ostacoli inclinati o di forme complesse, occorre sviluppare un metodo di maggior dettaglio, in tridimensionale.

Nel calcolo delle riflessioni si possono trascurare tutti gli ostacoli le cui dimensioni sono piccole rispetto alla lunghezza d'onda della banda d'ottava considerata.

Le riflessioni sul suolo non vengono prese in considerazione, in quanto il loro effetto è integrato direttamente nel calcolo dell'effetto del terreno (vedi paragrafo 2.2.5.)

Se L_w è il livello di potenza sonora della sorgente S e α_r il coefficiente di assorbimento della superficie su cui avviene la riflessione, il livello di potenza sonora della sorgente immagine S' è dato dalla formula:

$$L_{w'} = L_w + 10 \lg(1 - \alpha_r) \qquad \text{con } 0<\alpha_r<1$$

Alle traiettorie riflesse si applicano tutti I criteri validi per le traiettorie dirette o difratte.

2.3. Modello di emissione

Quanto finora trattato, si riferisce alla sola schematizzazione dei fenomeni inerenti la propagazione del rumore dalla sorgente al ricettore.

È comunque da tener presente che alcune linee guida sviluppate su finanziamento della DG Ambiente, sconsigliano l'uso delle correzioni meteorologiche in ambienti densamente edificati (come ad esempio gli agglomerati) e soltanto in terreni piatti e non collinari/montuosi come ad esempio l'Italia.

Per quanto riguarda il calcolo di livelli di potenza sonora delle singole sorgenti, come già precedentemente riportato, il modello NMPB-96 e la norma NS 13-133, in mancanza di dati più attendibili, rimandano a quanto riportato nella"Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prevision des niveaux sonores" edita dal CETUR nel 1980.

Qui di seguito si riportano i punti salienti d tale documento CETUR.

2.3.1. Categorie veicoli

Vengono distinte due tipologie di veicoli, e precisamente:

- Veicoli leggeri = ovvero veicoli con un peso totale a terra (P.T.T.) inferiore a 2.5 ton;
- Veicoli pesanti = ovvero veicoli con un peso totale a terra (P.T.T.) superiore a 3.5 ton.

2.3.2. Categorie pavimentazioni e tipologia di infrastruttura stradale

La "Guide du bruit" non fa riferimento ad un particolare tipo di pavimentazione: in considerazione del periodo in cui sono stati ricavati i dati, è presumibile che tutti i dati siano relativi ad un mix di pavimentazioni (in bitume e cemento), ma non su pavimentazioni fonoassorbenti o a basa emissione di rumore (nel 1977 in Francia non erano ancora in uso pavimentazioni drenanti/fonoassorbenti, pavimentazioni ecodrenanti o ecotecniche, etc.).
Per quanto riguarda la tipologia di infrastruttura stradale, la "Guide du bruit" si riferisce a tre profili longitudinali, e precisamente:

- carreggiata orizzontale o carreggiata il cui gradiente nel senso del flusso del traffico è inferiore al 2%;
- carreggiata in salita, dove il gradiente in direzione del flusso del traffico è superiore al 2%;
- carreggiata in discesa, dove il gradiente in direzione del traffico è superiore a -2%.

Nel caso di infrastrutture a doppia carreggiata, si applicano i suddetti criteri a ciascuna carreggiata.

2.3.3. Condizioni di traffico

Vengono distinte quattro diverse tipologie di flussi di traffico, e precisamente:

- *Flusso continuo fluido*

Questa situazione si realizza quando i veicoli si muovono sulla tratta in esame a velocità quasi costante, senza accelerazioni o decelerazioni; si considera "fluido" se il flusso è stabile nello spazio e per un tempo di almeno dieci minuti. Questa tipologia di traffico è quella tipica di un'autostrada, una strada a scorrimento veloce, strade interurbane di collegamento, strade urbane principali (al di fuori delle ore di punta).

- *Flusso continuo pulsante*

Tale condizione è caratterizzata da una "turbolenza di tipo fluidodinamico" : un flusso turbolento consiste in una sensibile percentuale di veicoli in condizioni di accelerazione o decelerazione, e non è stabile nel tempo (ovvero avvengono improvvise variazioni di flusso in brevi intervalli di tempo) come anche nello spazio (in ogni momento si possono verificare concentrazioni irregolari di veicoli nel tratto stradale in esame). Comunque è possibile definire una velocità media globale, come un valore stabile e ripetitivo per un periodo di tempo sufficientemente lungo.

Questo tipo di flusso è caratteristico delle strade del centro città, sulle principali arterie in condizioni di "quasi saturazione", in strade con numerosi accessi od incroci, in parcheggi ed in prossimità di attraversamenti pedonali.

- *Flusso pulsante accelerato*

In tali condizioni una significativa percentuale di veicoli si muove in accelerazione, e pertanto il concetto di velocità ha significato solo su brevi tratti di strada e non è mai stabile. Questa situazione è tipica di una strada di scorrimento veloce dopo un incrocio o in ingresso ad un'autostrada.

- *Flusso pulsante decelerato*

Questa condizione, esattamente opposta alla precedente, si concretizza in genere in avvicinamento ad un incrocio principale o in uscita da un'autostrada, quando gran parte dei Veicoli sono in decelerazione.

2.3.4. Calcolo dell'emissione

La Guide du bruit des Transports Terrestres "Prevision des niveaux sonorres" del CETUR non fornisce i valori di potenza dei diversi veicoli nelle varie condizioni di impiego e sulle diverse tipologie di pavimentazioni/infrastruttura, ma ricorre al concetto di "isofona di riferimento".

Relativamente a tale isofona, viene calcolata l'emissione sonora **E**, ovvero il livello equivalente sul periodo di un'ora, dovuto al transito di un singolo veicolo su un punto situato a 30 metri dal bordo della sede stradale e a 10 metri di altezza, in assenza di ostacoli ed in presenza di un suolo riflettente, nelle ipotesi di strada rettilinea. Il valore dell'emissione E è fornito dalla formula:

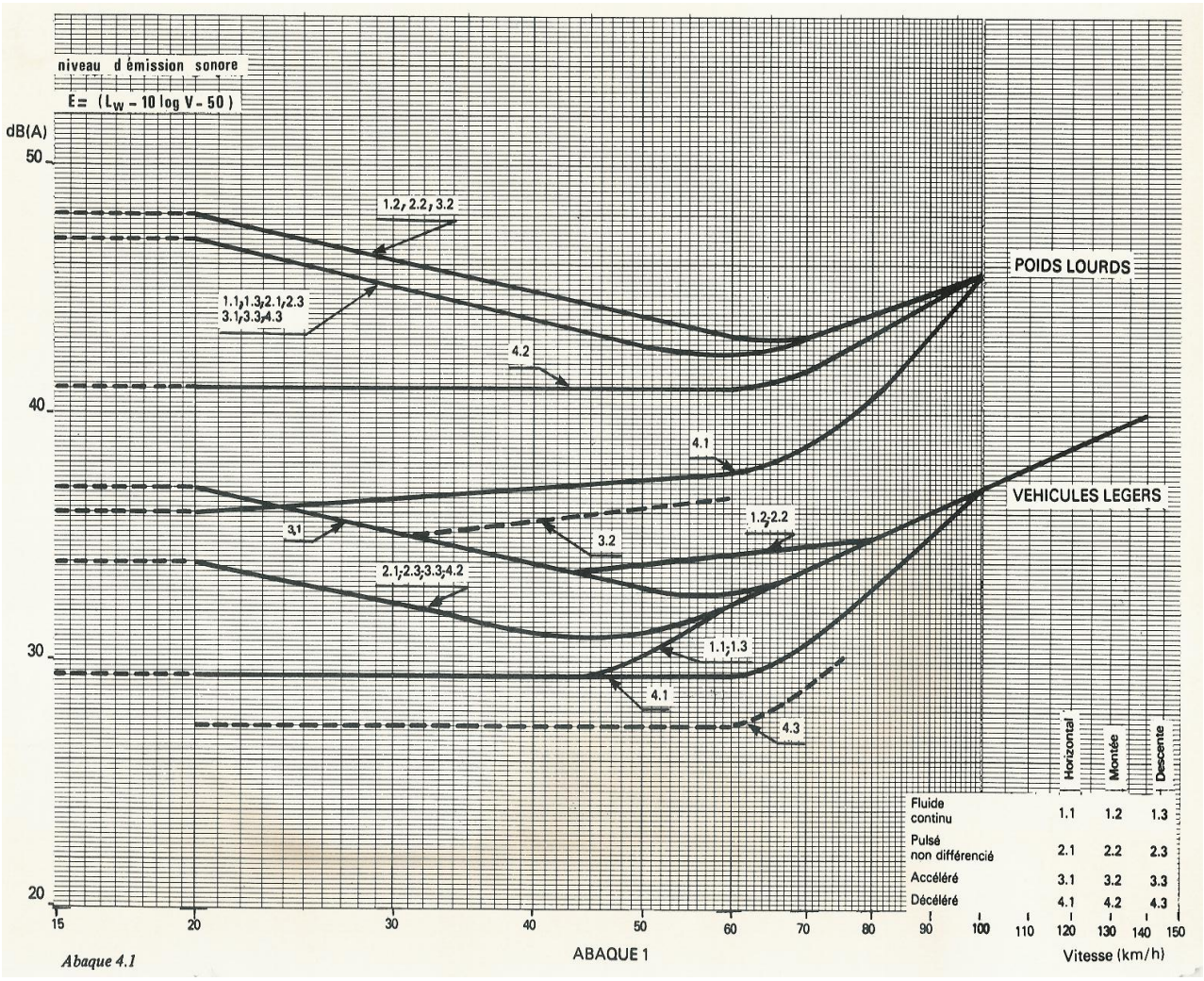
$$\mathbf{E = (L_w - 10 \log V - 50)} \qquad [13]$$

dove:

V è la velocità media del flusso dei Veicoli, definite come la velocità che viene raggiunta o superata da almeno il 50% dei veicoli, o la velocità media maggiorata di ½ della deviazione standard.

L_W è la potenza sonora del singolo veicolo.

La seguente figura riporta i valori di E differenziati fra veicoli leggeri e pesanti.



2.3.5. Modello di sorgente

Il metodo XP-S 31-133 richiede come dati di input i valori di potenza sonora ponderata A per metro di infrastruttura stradale, ovvero la grandezza $L_{Aw/m}$, come riportato dalla formula [6].

Il livello di potenza sonora L_{Awi}, in dB(A), di una sorgente puntuale composita **i** in una determinata banda di ottava **j** è calcolato a partire dal valore di emissione sonora E fornito dal precedente nomogramma, per veicoli leggere e pesanti, utilizzando la seguente relazione:

$$L_{Awi} = L_{Aw/m} + 10lg(li) + R(j) \qquad [14]$$

dove:

$L_{Aw/m}$ è la potenza sonora per metro di strada della specifica sorgente per banda di ottava, data da :

$$L_{Aw/m} = [(E_{lv} + 10lg(Q_{lv}) \oplus (E_{hv} + 10lg(Q_{hv})] + 20$$

dove:

E_{lv} è il valore di emissione sonora per veicoli leggeri, ricavabile dal precedente nomogramma

E_{hv} è il valore di emissione sonora per Veicoli pesanti, ricavabile dal precedente nomogramma

Q_{lv} è il volume di traffico di veicoli leggeri, nel periodo di riferimento

Q_{hv} è il flusso di veicoli pesanti , nel periodo di riferimento

$\oplus$ e la somma energetica di livelli data da : $L1 \oplus L2 = 10 \log[10^{(L1/10)} + 10^{(L2/10)}]$

li è la lunghezza della porzione di sorgente rettilinea rappresentata dalla singola sorgente puntiforme **i**

R(j) è il valore spettrale in dB(A), per ciascuna banda **j** dato dalla seguente tabella

N° banda	Frequenza [hz]	Valore di Rj
1	125	- 14.5
2	250	-10.2
3	500	-7.2
4	1000	-3.9
5	2000	-6.4
6	4000	-11.4

3. ADATTAMENTO DEL CODICE DI CALCOLO NMPB 96

3.1. Generalità

Come riportato nei paragrafi precedenti, per il rumore da traffico stradale e per la mappatura degli assi stradali principali, la direttiva END consiglia l'uso del metodo di calcolo ufficiale francese «NMPB-Routes-96 (SETRACERTU-LCPC-CSTB)», citato nell'«Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6» e nella norma francese «XPS 31-133».
La stessa direttiva, nell'allegato B comma 2.2. evidenzia che i dati di ingresso di ingresso concernenti l'emissione fanno capo al documento «Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980».

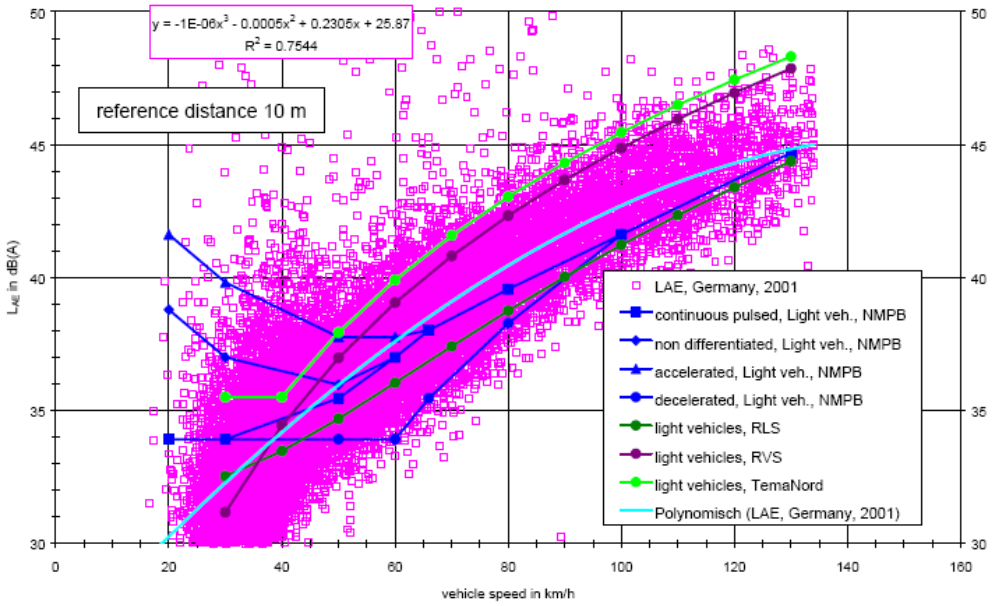
Nel comma 3.1.1. della Raccomandazione della Commissione del 6 agosto 2003 concernente le linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore del traffico stradale, si evidenzia che " *nel 2002 le autorità francesi hanno avviato un progetto destinato a rivedere i valori di emissione*" e successivamente si riporta il concetto che se "*lo Stato membro che adotti questo metodo provvisorio di calcolo desidera aggiornare i fattori di emissione, si raccomanda il procedimento di misurazione di seguito descritto: il livello di emissione acustica di un veicolo è caratterizzato dal massimo livello sonoro di passaggio* L_{Amax} *in dB misurato a 7,5 m dall'asse di spostamento del veicolo; tale livello sonoro è determinato separatamente per diversi tipi di veicolo, velocità e flussi di traffico; l''inclinazione stradale è individuata, ma la superficie stradale non è presa in considerazione in modo esplicito".*

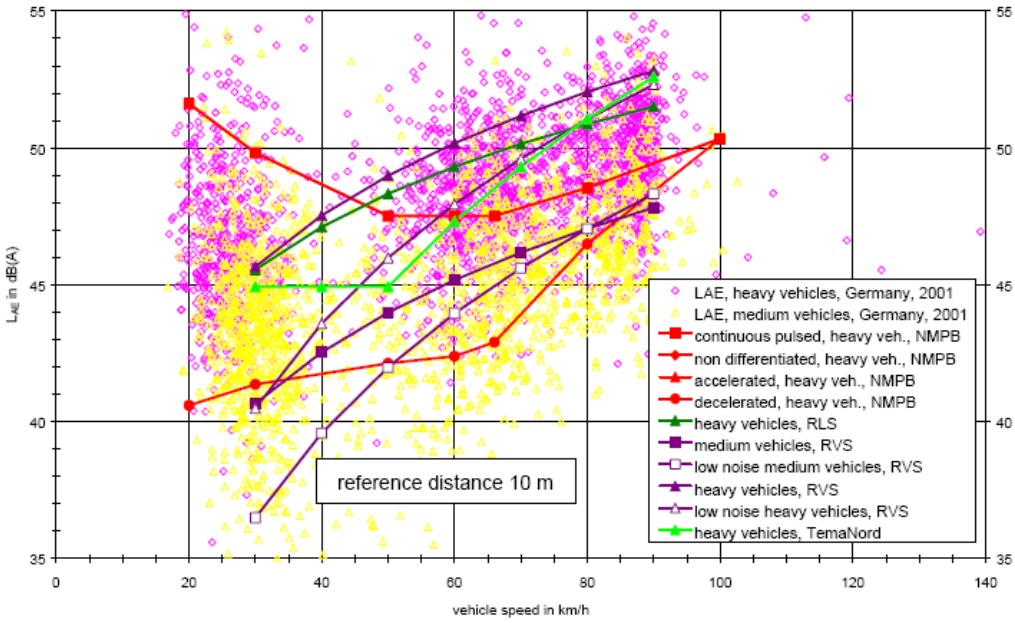
La metodologia di misura sommariamente descritta nella raccomandazione del 6 agosto 2003, è più dettagliatamente specificata nella norma UNI-ISO 11819-1 "Statistical pass-by": al fine di rendere più accurate le simulazioni effettuate allo scopo di mappare acusticamente la propria rete, Autostrade per l'Italia S.p.a. ha portato a termine specifiche campagne seguendo tale procedura.

3.2. Aggiornamento banca dati di emissione

3.2.1. Stato dell'arte

La necessità di procedere all'aggiornamento della banca dati è evidenziata dalle seguenti figure, che evidenziano le notevoli differenze riscontrate nei dati di emissione relativi al parco veicoli/tipologia di pavimentazioni di nazioni europee (risultati della ricerca "**Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping**" commissionata dalla DG Environment nel 2002 alla socie Wölfel Meßsysteme Software GmbH & Co.



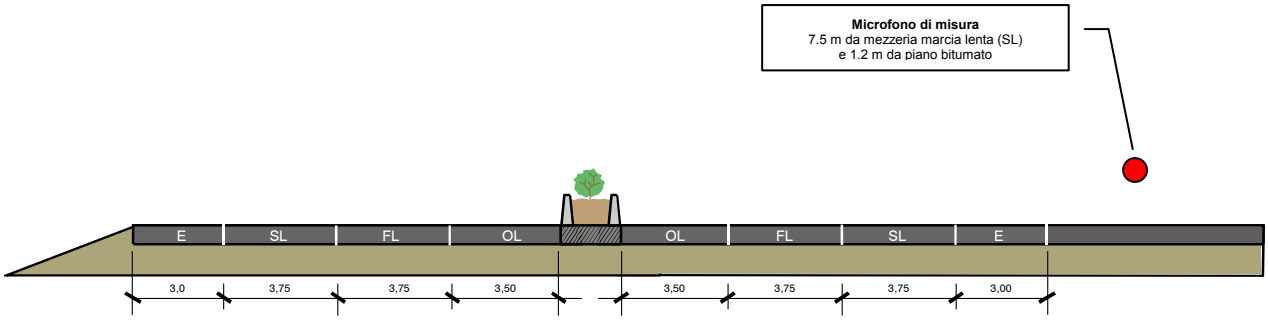


Secondo quanto definito dalla norma XPS 31-133 e a norma delle specifiche della «Guide du Bruit 1980», il livello di potenza sonora L_w e l'emissione acustica E sono stati calcolati dal livello di pressione sonora misurata L_p e dalla velocità del veicolo V mediante:

$$L_w = L_p + 25{,}5 \qquad \text{ed} \qquad E = (L_w - 10 \log V - 50)$$

Tali formule sono state utilizzate per calcolare i livelli di potenza a partire dai risultati delle misure di seguito descritte.

3.2.2. Misure di Statistical Pass-by



Le modalità di misura sono schematicamente riportate nella figura seguente, da cui si evidenzia come la posizione standard del microfono sia a 7.5 m di distanza dall'asse di marcia.

Per la misura delle velocità di transito è stato utilizzato un telelaser con precisione di ± 3% , mentre il rispetto delle condizioni meteorologiche previste dalla norma è stato effettuato con un monitoraggio continuativo di temperatura, umidità, intensità e direzione vento.

Categorie veicoli e condizioni di flusso

Si sono valutate le pavimentazioni drenanti tradizionali di più comune impiego sulla rete di Autostrade per l'Italia S.p.a., ovvero le pavimentazioni di tipo chiuso su più tratti di competenza.

Le misure sono state eseguite per le diverse categorie di veicoli definiti dalla procedura UNI-ISO, ovvero:

1a. Autovetture:

- Autovetture passeggeri;

1b. Altri veicoli leggeri:

- Autovetture con rimorchio;
- Autovetture con roulotte;
- Furgoncini leggeri e veicoli per trasporto di merci con un massimo di 4 ruote;
- Minibus o furgoncini per trasporto persone con un massimo di 4 ruote;
- Camper;

2a. Veicoli pesanti a doppio assale:

- Autocarri commerciali con 2 assali e più di 4 ruote;
- Autobus e pullman con 2 assali e più di 4 ruote;

2b. Veicoli pesanti multiassale:

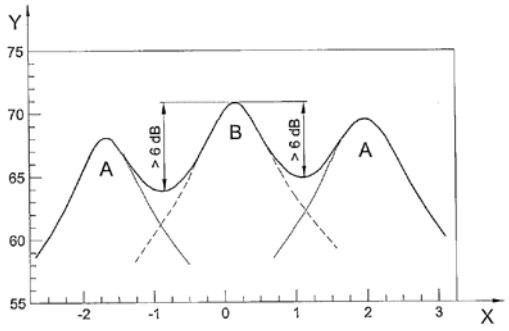
- Autocarri, autobus e pullman con più di 2 assali;

Al fine di rendere compatibili i dati rilevati con quanto richiesto dal modello NMPB 96, le diverse categorie sono state successivamente raggruppate nelle categorie principali:

- **Veicoli leggeri** = categorie 1a + 1b
- **Veicoli pesanti** = categorie 2a + 2b

Il procedimento di misurazione ha previsto il posizionamento del microfono ad una distanza di circa 1.2 m (± 0.1) sul piano stradale, ed ad una distanza orizzontale dalla postazione del microfono all'asse della corsia lungo la quale viaggiano i veicoli da rilevare di 7.5 m (± 0.1).

Le misurazioni sono state effettuate esclusivamente su dei veicoli che rientrano chiaramente in una delle categorie precedentemente descritte, su passaggi di singoli veicoli che possono essere distinti chiaramente dal resto del traffico stradale (appena prima e subito dopo il passaggio di un veicolo per cui è prevista la misurazione, il livello di pressione sonora ponderato A è stato di almeno 6 dB minore del massimo livello di pressione sonora ponderato A durante il passaggio).



I dati ottenuti dalle elaborazioni dei singoli passaggi sono stati quindi riportati in tabelle e suddivisi in base alle categorie di appartenenza dei veicoli misurati:

E' stata in seguito effettuata una normalizzazione dei dati, mediante un'analisi di regressione lineare dei livelli di pressione sonora sulla velocità, usando coppie di dati consistenti del livello massimo sonoro ponderato A, a confronto con il logaritmo (base 10) della velocità di ogni veicolo transitato. Tale regressione lineare è stata adattata ai punti dati per ciascuna categoria di veicoli separata, usando il metodo dei minimi quadrati.

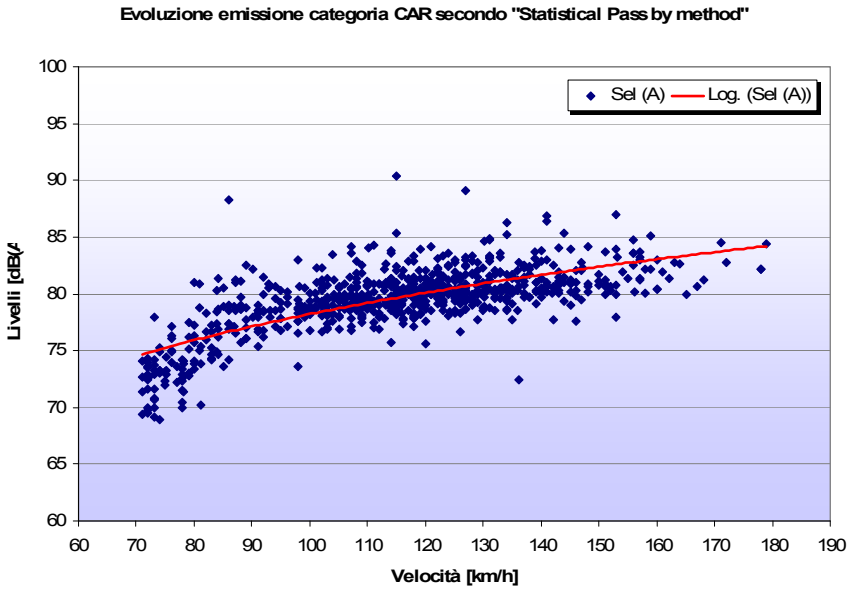
I risultati sono in seguito stati interpolati in modo da ottenere curve SEL/velocità tramite cui implementare le banche dati input.

Al fine di aggiornate il data base di emissione considerando l'invecchiamento delle pavimentazioni ed il rinnovamento del parco veicoli transitante sulla rete, Autostrade per l'Italia ha effettuato delle campagne estese di misura dei livelli di emissione dei veicoli. I risultati sono stati elaborati ed implementati nelle banche dati di emissione del codice di calcolo utilizzato.

Di seguito è un esempio dei risultati presso un sito di misura al km 83+500 sulla A26 (direzione nord).

Sistema di misura

Pavimentazione



Le elaborazioni di tutte le classi di veicoli sulle diverse tipologie di pavimentazione hanno prodotto l'aggiornamento e l'attualizzazione delle banche dati di emissione che sono state utilizzate per la calibrazione del modello come descritto nel capitolo seguente.

4. CONFRONTO TRA MODELLO DI CALCOLO NMPB 96 CON DIVERSE BANCHE DATI

L'implementazione della banca dati della reale emissione sonora del traffico autostradale Italiano all'interno del codice di calcolo NMPB 96 aveva condotto nella prima edizione delle mappature finalizzate all'attuazione della Direttiva 2002/49/CE allo studio di un caso pilota nella località di Ferentino [attraversato dall'autostrada A1 Milano – Napoli tra le progressive km 612+652 ed il km 620+138].

Lo scopo era stato quello di verificare, su una morfologia ricomprendente le principali sezioni di attraversamento stradale, la miglior rispondenza alla realtà di quanto modellizzato utilizzando il data base ricavato dai valori di emissione della "Guide du Bruit des Transports Terrestres" del CETUR e la banca dati Italiana ricavata con la metodologia della norma UNI-ISO 11819-1.

I risultati di tale studio avevano condotto alle seguenti conclusioni:

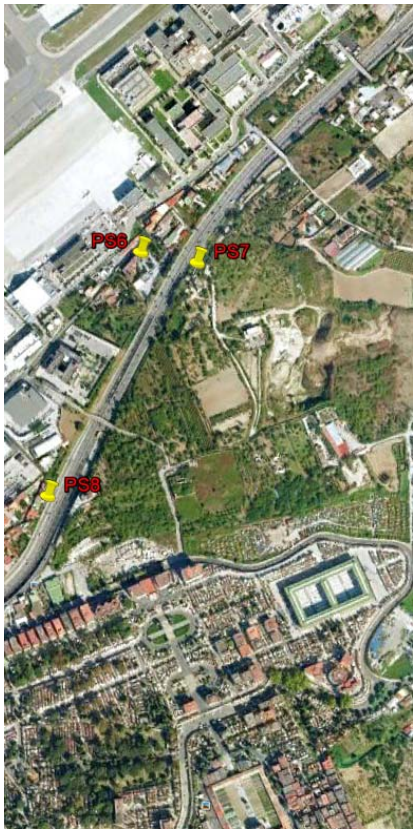
- La procedura di calcolo raccomandata dalla Direttiva END come metodo ad interim fornisce in genere valori sovrastimati rispetto ai risultati di monitoraggi acustici;
- Utilizzando la procedura NMPB 96 e la banca dati di Autostrade per l'Italia SpA, il valore medio della sovrastima è pari a 0.6 dB(A) nel periodo diurno e 0.2 dB(A) nel periodo notturno;
- Utilizzando la procedura NMPB 96 e la banca dati di Autostrade per l'Italia SpA, tutti i valori calcolati nei diversi punti di misura rientrano nell'intervallo di ± 2 dB(A) rispetto ai risultati delle misurazioni effettuate negli stessi punti;
- Utilizzando la procedura NMPB 96 e la banca dati "Guide du Bruit des Transports Terrestres", il valore medio della sovrastima è pari a 2.7 dB(A) nel periodo diurno e 2.2 dB(A) nel periodo notturno;
- Utilizzando la procedura NMPB 96 e la banca dati "Guide du Bruit des Transports Terrestres", il 70% dei dati di calcolo differisce per più di ± 2 dB(A) rispetto ai risultati delle misurazioni effettuate negli stessi punti;

Alla luce di tali risultati ed al fine di rendere la mappatura acustica più rispondente ai dati reali si è pertanto adottata la banca dati dedotta dagli specifici rilievi di pass by effettuati lungo la rete di Autostrade per l'Italia ed aggiornata per le finalità del presente aggiornamento di Legge.

4.1 Calibrazione del modello

Al fine di validare il modello sull'aggiornamento della banca dati sono stati effettuati dei monitoraggi acustici specifici nella zona di Napoli in alcune sezioni di attraversamento rappresentative. Il posizionamento di tali punti è riportato nella figure seguenti:

Autostrada A1 [prossimità km 756]



Diramazione Capodichino D02 [prossimità km 1]

Ogni monitoraggio acustico ha avuto la durata minima di una settimana ed è stato accompagnato da rilievi meteo e di traffico finalizzati ad una puntuale e precisa descrizione del fenomeno.
I risultati emersi sono i seguenti:

Codice	distanza [m]	altezza da p.c. [m]	Misura [dB(A)]		Modello [dB(A)]		Differenza [dB]	
			day	night	day	night	day	night
PS1	27.8	8.1	68.7	62.8	69.3	63.7	0.6	0.9
PS2	27.8	10.5	67.2	61.8	67	62.4	-0.2	0.6
PS3	16	2.7	69.9	64.1	71.4	65.1	1.5	1
PS4	20	4	70	64.2	70.8	65.4	0.8	1.2
PS5	12	5.3	75.2	69.8	76.8	70.9	1.6	1.1
PS6	62	5.2	63.1	56.9	62.4	56.5	-0.7	-0.4
PS7	15	9.5	71.6	65.5	72.7	66.9	1.1	1.4
PS8	2.5	3	74.9	68.6	75.5	68.9	0.6	0.3

Viene confermata la tendenza media del modello a sovrastimare i livelli il che è spiegabile dal momento che non possono essere tenuti in considerazione effetti della vegetazione ed altri fenomeni di minore importanza.

Mediamente il modello risulta sovrastimare di 0.7 dB(A) nel periodo diurno e 0.8 dB(A) nel periodo notturno, quindi abbondantemente entro i ± 2 dB(A) ritenuti normativamente accettabili come approssimazione, dalle normative vigenti su metodi e modelli di calcolo.

5. MODALITÀ DI PRESENTAZIONE AGLI AGGLOMERATI

5.1 Mappatura Acustica Livello L_{DEN}

Tridimensionalizzazione del terreno attraverso entità mesh

Strade con entità 3d poliline in corrispondenza delle corsie, che **simulano i flussi di traffico**. Tali entità rappresentano e georiferiscono le **sorgenti di rumore** alle quali sono assegnate le quantità di veicoli transitanti divisi per **categoria, velocità, periodo temporale di passaggio e livelli di emissione** corrispondenti.

Posizionamento di "**ricettori di mappa**" sul terreno con maglia 10x10 a 4 m di altezza e di "**ricettori di facciata**" su ogni lato degli edifici a 4 m di altezza.

Calcoli effettuati in frequenza. Per ogni ricettore presente viene calcolato anche lo spettro che lo ha generato.

Vengono restituite le curve isofoniche con relativi data base in formato *.shp, *.shx e *.dbf e dei punti mappa a 4 m di altezza che saranno utili all'agglomerato per la sovrapposizione degli effetti della rumorosità prodotta dalla propria rete viarie ed altre infrastrutture di trasporto.

5.2 Mappatura Acustica Livello L_{NIGHT}

Tridimensionalizzazione del terreno attraverso entità mesh

Strade con entità 3d poliline in corrispondenza delle corsie, che **simulano i flussi di traffico**. Tali entità rappresentano e georiferiscono le **sorgenti di rumore** alle quali sono assegnate le quantità di veicoli transitanti divisi per **categoria, velocità, periodo temporale di passaggio e livelli di emissione** corrispondenti.

Posizionamento di "**ricettori di mappa**" sul terreno con maglia 10x10 a 4 m di altezza e di "**ricettori di facciata**" su ogni lato degli edifici a 4 m di altezza.

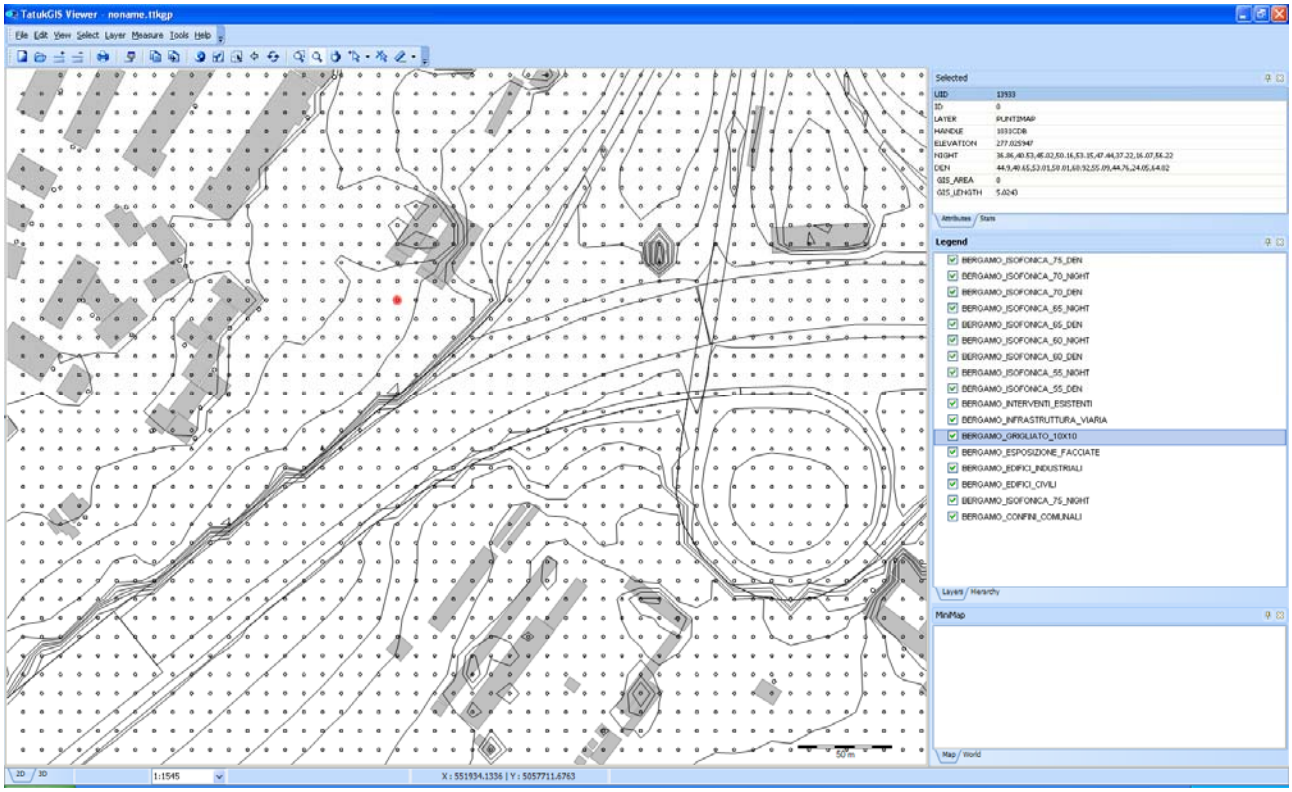
Calcoli effettuati in frequenza. Per ogni ricettore presente viene calcolato anche lo spettro che lo ha generato.

Vengono restituite le curve isofoniche con relativi data base in formato *.shp, *.shx e *.dbf e dei punti mappa a 4 m di altezza che saranno utili all'agglomerato per la sovrapposizione degli effetti della rumorosità prodotta dalla propria rete viarie ed altre infrastrutture di trasporto.

*5.3 Chiavi di lettura file *.shp*

Tutto il materiale viene consegnato su supporto digitale è conforme alle specifiche del DL n. 194 del 19 agosto 2005 e della Direttiva 2002/49/CE. In particolare vengono ora fornite alcune chiavi di lettura degli strati informatici di cui i files *.shp sono costituiti con una legenda dei valori ivi contenuti in modo da rendere più agevole l'utilizzo.

La figura seguente riporta una schermata di un visualizzatore GIS [TatukGIS] nel quale sono stati importati tutti gli strati cartografici consegnati.



Gli strati informatici presenti sono:

- X_CONFINI_COMUNALI (confine del comune)
- X_EDIFICI_CIVILI (edifici a destinazione d'uso prevalente residenziale)
- X_EDIFICI_INDUSTRIALI (edifici a destinazione d'uso prevalente produttiva)
- X_EDIFICI_SENSIBILI (edifici, ove presenti, quali scuole, ospedali, ecc.)
- X_INFRASTRUTTURA_VIARIA (bordo stradale)
- X_INTERVENTI_ESISTENTI (interventi di mitigazione in opera, quali barriere, coperture, ecc.)
- X_ESPOSIZIONE_FACCIATE [punti a 4 m di altezza che riportano l'impatto sull'edificio individuandone la tipologia di facciata (più esposta o meno esposta se presente) ed i relativi L_{DEN} ed L_{night} (chiave di lettura dei valori in frequenza: 63,125,250,500,1k,2k,4k,8k,A)]
- X_GRIGLIATO_10x10 [punti a 4 m di altezza che riportano l'impatto sulla mappa del terreno in maglia regolare 10 x 10 m con relativi L_{DEN} ed L_{night} (chiave di lettura dei valori in frequenza: 63,125,250,500,1k,2k,4k,8k,A)]

- X_ISOFONICA_55_DEN (curva isofonica relativa al livello equivalente L_{DEN} 55 ricavata per interpolazione logaritmica tra i livelli calcolati a 4 m di altezza su maglia 10 x 10 m)
- X_ISOFONICA_60_DEN (curva isofonica relativa al livello equivalente L_{DEN} 60 ricavata per interpolazione logaritmica tra i livelli calcolati a 4 m di altezza su maglia 10 x 10 m)
- X_ISOFONICA_65_DEN (curva isofonica relativa al livello equivalente L_{DEN} 65 ricavata per interpolazione logaritmica tra i livelli calcolati a 4 m di altezza su maglia 10 x 10 m)
- X_ISOFONICA_70_DEN (curva isofonica relativa al livello equivalente L_{DEN} 70 ricavata per interpolazione logaritmica tra i livelli calcolati a 4 m di altezza su maglia 10 x 10 m)
- X_ISOFONICA_75_DEN (curva isofonica relativa al livello equivalente L_{DEN} 75 ricavata per interpolazione logaritmica tra i livelli calcolati a 4 m di altezza su maglia 10 x 10 m)
- X_ISOFONICA_55_NIGHT (curva isofonica relativa al livello equivalente L_{night} 55 ricavata per interpolazione logaritmica tra i livelli calcolati a 4 m di altezza su maglia 10 x 10 m)
- X_ISOFONICA_60_NIGHT (curva isofonica relativa al livello equivalente L_{night} 60 ricavata per interpolazione logaritmica tra i livelli calcolati a 4 m di altezza su maglia 10 x 10 m)
- X_ISOFONICA_65_NIGHT (curva isofonica relativa al livello equivalente L_{night} 65 ricavata per interpolazione logaritmica tra i livelli calcolati a 4 m di altezza su maglia 10 x 10 m)
- X_ISOFONICA_70_NIGHT (curva isofonica relativa al livello equivalente L_{night} 70 ricavata per interpolazione logaritmica tra i livelli calcolati a 4 m di altezza su maglia 10 x 10 m)
- X_ISOFONICA_75_NIGHT (curva isofonica relativa al livello equivalente L_{night} 75 ricavata per interpolazione logaritmica tra i livelli calcolati a 4 m di altezza su maglia 10 x 10 m)

6. CONCLUSIONI

Al fine di rendere la mappatura acustica richiesta da END più rispondente ai dati reali, si è adottata la banca dati aggiornata dai rilievi di statistical pass-by effettuati sulla rete di Autostrade per l'Italia S.p.a. e su altre tratte di strade italiane.
I dati consegnati si riferiscono al traffico consolidato al 31 dicembre 2011.

7. 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) 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".

3) European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise -(WG-AEN), Position Paper Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, January 2006.