

Modello di calcolo per il rumore stradale sonROAD18

Elaborazione dei dati di input e calcolo della propagazione



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'ambiente UFAM

Modello di calcolo per il rumore stradale sonROAD18

Elaborazione dei dati di input e calcolo della propagazione

Nota editoriale

Editore

Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

L'UFAM è un ufficio del Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC).

Autore

Michael Gerber, UFAM, divisione Rumore e RNI

Accompagnamento UFAM

Urs Walker, UFAM, capo della divisione Rumore e RNI

Sophie Hoehn, UFAM, capo della sezione Rumore stradale

Judith Schäli, UFAM, Servizio giuridico 2

Gruppo di accompagnamento

Urs Walker, UFAM, divisione Rumore e RNI, presidente

Dario Bozzolo, IFEC, IFEC ingegneria SA

Hans-Peter Gloor, AG, Departement Bau, Verkehr und Umwelt

Dominique Luy, VD, Direction générale de l'environnement (fine 2018)

Bernard Gigon, VD, Direction générale de l'environnement (inizio 2019)

Yves Pillonel, USTRA, Standard e sicurezza infrastrutture (fine 2017)

Kirk Ingold, USTRA, Standard e sicurezza infrastrutture (inizio 2018)

Stefanie Rüttener, Città di Zurigo, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich UGZ

Marco Steiger, TI, Dipartimento del territorio

Georg Thomann, GR, Ufficio per la natura e l'ambiente

Kurt Heutschi, EMPA, settore acustica / riduzione del rumore

Sophie Hoehn, UFAM, divisione Rumore e RNI

Andreas Catillaz, UFAM, divisione Rumore e RNI

Indicazione bibliografica

UFAM (ed.) 2021: Modello di calcolo per il rumore stradale sonROAD18. Elaborazione dei dati di input e calcolo della propagazione. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Studi sull'ambiente n. 2127: 29 pagg.

Traduzione

Servizio linguistico italiano, UFAM

Grafica e impaginazione

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Foto di copertina

Friburgo, vista dall'alto.

© iStock, AsianDream

Link per scaricare il PDF

www.bafu.admin.ch/uw-2127-i

La versione cartacea non può essere ordinata.

La presente pubblicazione è disponibile anche in lingua francese e tedesca. La versione originale è in tedesco.

© UFAM 2021

Indice

Abstracts	5	Allegato 1 Schema categorie di veicoli SWISS10	25
Premessa	6	Allegato 2 Livello medio di emissione	26
1 Introduzione	7	Allegato 3 Correzioni spettrali standard della pavimentazione per 50 km/h	27
1.1 Obiettivo	7		
1.2 Caratteristiche principali di sonROAD18	8		
1.3 Confronto tra modelli precedenti e attuali	8	Allegato 4 Correzioni spettrali standard della pavimentazione per 80 km/h	28
1.4 Variabili di output	9		
1.5 Supplementi e calibrazioni del modello	9		
2 Dati di input	10	Allegato 5 Attribuzione del fattore suolo G alla copertura del suolo	29
2.1 Panoramica dei dati di input richiesti	10		
2.2 Volume / composizione di traffico	10		
2.2.1 Categorie di veicoli SWISS10+	10		
2.2.2 Convertitore SWISS10	12		
2.3 Velocità	14		
2.4 Qualità acustica della pavimentazione	15		
2.4.1 Pavimentazione di riferimento	15		
2.4.2 Qualità acustica della pavimentazione come fattore da considerare	15		
2.4.3 Integrazione mediante misurazioni della pavimentazione	16		
2.4.4 Integrazione mediante valori KB	16		
2.4.5 Sensibilità della qualità acustica della pavimentazione	17		
2.4.6 Aspetti importanti della qualità acustica della pavimentazione	17		
2.5 Pendenza della strada / corsie	18		
2.6 Temperatura dell'aria	18		
3 Calcolo della propagazione	20		
3.1 Modello per il calcolo della propagazione	20		
3.2 Parametri di calcolo	20		
3.3 Effetti meteo	21		
4 Implementazioni	22		
5 Bibliografia	23		

Abstracts

The sonROAD18 model to determine road traffic noise is described in detail in the Empa report *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm* [1] (sonROAD18 – model for determining road traffic noise; available in German). SonROAD18 is purely an emissions model. This publication supplements the description of the model. It explains how the emissions model can be used and gives advice on how to prepare input data. Finally, parameters are suggested for determining sound propagation.

Il modello di calcolo per le emissioni del rumore stradale sonROAD18 è descritto in dettaglio nel rapporto Empa *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm* [1]. sonROAD18 è un semplice modello di emissione, mentre la presente pubblicazione completa la descrizione di tale modello, spiegando come può essere impiegato e fornendo indicazioni su come elaborare i dati di input. Infine, vengono proposte impostazioni di calcolo per il calcolo della propagazione.

Das Modell zur Berechnung von Strassenlärm-Emissionen sonROAD18 wird im Empa-Bericht *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm* [1] detailliert beschrieben. SonROAD18 ist ein reines Emissionsmodell. Die vorliegende Publikation ergänzt den Modellbescrieb. Sie erläutert, wie das Emissionsmodell eingesetzt werden kann und gibt Hinweise für die Aufbereitung der Eingabedaten. Schliesslich werden Berechnungseinstellungen für die Ausbreitungsrechnung vorgeschlagen.

Le modèle de calcul des émissions du bruit routier sonROAD18 est présenté de manière détaillée dans le rapport de l'Empa *Modèle de calcul du bruit routier*[1]. sonROAD18 est un modèle d'émission pur. La présente publication a pour but de compléter son descriptif. Elle explique comment utiliser le modèle et fournit des indications sur le traitement des données d'entrée. Des paramètres pour le calcul de la propagation sont également proposés à la fin du document.

Keywords:

determination of road traffic noise, noise prediction, emissions model, SWISS10

Parole chiave:

calcolo del rumore stradale, legge sull'ambiente, modello di emissione, SWISS10

Stichwörter:

Strassenlärm-berechnung, Lärmprognose, Emissionsmodell, SWISS10

Mots-clés :

calcul du bruit routier, prévisions du bruit, modèle d'émission, SWISS10

Premessa

Il rumore stradale è di gran lunga la fonte di rumore più rilevante in Svizzera. I proprietari di strade sono tenuti per legge a ridurre l'inquinamento fonico. Per determinare l'inquinamento fonico esistente e confrontarlo con i valori limite di riferimento, il rumore può essere misurato o calcolato. Rispetto alle misurazioni, i calcoli del rumore hanno il vantaggio di essere più semplici e quindi di poter essere eseguiti in modo più rapido ed economico. A tale fine, occorre impiegare un modello di calcolo del rumore stradale che sia il più preciso possibile nonché compatibile con la pratica d'esecuzione. Il rumore deve essere calcolato o pronosticato anche per determinare l'efficacia delle misure di riduzione o per rappresentare situazioni future, ad esempio la costruzione di nuovi edifici.

La legge sulla protezione dell'ambiente esige che il rumore stradale debba essere limitato da misure applicate il più direttamente possibile alla fonte. I modelli di calcolo impiegati finora non consentono di prendere in considerazione tali misure – riduzione della velocità, pavimentazioni stradali fonoassorbenti, pneumatici silenziosi, veicoli a trazione elettrica – se non in modo inadeguato.

L'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) ha dunque incaricato l'Empa di sviluppare un nuovo modello per le emissioni, conforme allo stato dell'arte e delle conoscenze nonché in grado di soddisfare futuri sviluppi del parco veicoli. L'obiettivo del nuovo modello è garantire un calcolo realistico e aggiornato delle emissioni di rumore stradale. Tra le altre cose, occorre prevedere con grande precisione l'efficacia delle misure di protezione contro il rumore, soprattutto alla fonte, in modo da definire le misure più adatte a tutelare le persone esposte al rumore.

L'accuratezza delle previsioni di un modello di calcolo è direttamente proporzionale alla qualità dei dati di input. La categorizzazione dettagliata dei veicoli mediante SWISS10 incrementa tale accuratezza e consente un calcolo più preciso degli scenari. sonROAD18 va oltre e fornisce valori di emissione anche per altre categorie di veicoli, come i veicoli a trazione alternativa (ibridi, elettrici), i veicoli del trasporto pubblico e i veicoli agricoli (SWISS10+).

Anche la caratterizzazione acustica delle pavimentazioni stradali riveste grande importanza, in quanto la loro qualità acustica influisce in modo determinante sulle emissioni foniche del traffico stradale. Pertanto, durante lo sviluppo di sonROAD18, si è prestata particolare attenzione a questo fattore di influenza.

Urs Walker, divisione Rumore e RNI
Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

1 Introduzione

1.1 Obiettivo

In termini di numero di persone esposte a immissioni foniche eccessive, il rumore stradale è la fonte più rilevante in Svizzera. Per determinare le immissioni di rumore stradale, è necessario un modello di calcolo che sia il più preciso possibile e che possa essere utilizzato per diversi scopi. L'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) raccomanda alle autorità di esecuzione di utilizzare metodi di calcolo idonei e conformi allo stato dell'arte¹.

Su incarico dell'UFAM, l'Empa ha sviluppato un nuovo modello di calcolo per il rumore stradale denominato sonROAD18, basato sul modello europeo CNOSSOS. Tuttavia, il numero di categorie di veicoli è stato notevolmente incrementato (SWISS10+) e i coefficienti del modello sono stati adattati al parco veicoli e agli pneumatici utilizzati sulle strade svizzere. Si tratta di un semplice modello per le emissioni, privo di calcolo della propagazione.

Il nuovo modello per le emissioni sonROAD18 [1] consente di calcolare con precisione le emissioni foniche prodotte dai veicoli omologati per la rete stradale svizzera, considerando una valutazione del rumore del traffico stradale secondo l'allegato 3 dell'ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF) [2].

Il nuovo modello deve poter essere utilizzato per situazioni standard nonché per situazioni particolari e calcolo di scenari. Inoltre, deve essere adatto sia per calcoli semplici con pochi dati di base sia per calcoli dettagliati con molti dati di base.

I dati di base minimi richiesti per un calcolo sono: volumi di traffico giornaliero medio (TGM) o volumi di traffico orari (Nt1, Nt2, Nn1, Nn2), velocità di cartello, pendenza (da $\pm 1\%$), correzione per la pavimentazione (almeno sotto forma del valore di correzione KB finora utilizzato), temperatura annuale media dell'aria. Questi dati di input sono paragonabili a quelli richiesti per i modelli di previsione del rumore stradale finora utilizzati.

Il modello sonROAD18 si basa sulla categorizzazione dei veicoli SWISS10. In assenza di volumi di traffico orario diurni e notturni per tutte le dieci categorie di veicoli, è possibile stimare tali volumi di traffico utilizzando il convertitore SWISS10, anch'esso sviluppato recentemente dall'Empa. Il convertitore SWISS10 è parte integrante del modello sonROAD18.

sonROAD18 consente una modellizzazione accurata per le singole corsie, il che significa una modellizzazione realistica, specialmente per le autostrade; con un onere supplementare, si incrementa così la qualità della previsione.

Con sonROAD18 sono state recentemente introdotte le correzioni spettrali della pavimentazione. La correzione per la pavimentazione nel modello riguarda solo il rumore di rotolamento ed è indipendente tanto dalla velocità quanto dalla categoria del veicolo. È possibile continuare a utilizzare i metodi di misurazione più comuni in Svizzera per determinare la qualità acustica della pavimentazione (CPX, SPB, SEM). Nei casi in cui non si possono effettuare misurazioni, sono state stabilite correzioni spettrali standard per la pavimentazione.

Per determinare con l'aiuto del modello per le emissioni sonROAD18 le immissioni nei mappali esposti al rumore, è necessario effettuare un calcolo della propagazione. I calcoli di prova hanno dimostrato che il modello secondo la norma ISO 9613-2² è adatto a essere combinato con sonROAD18 per quanto riguarda l'accuratezza delle previsioni e il tempo di calcolo.

Il presente documento spiega l'applicazione del modello sonROAD18 per le emissioni. Non sostituisce alcun aiuto all'esecuzione. Il *Manuale per il rumore stradale* [4] e i set di geodati di base del diritto ambientale per il catasto del rumore stradale³ rimangono invariati.

1 Art. 38 cpv. 3 dell'ordinanza del 6 dicembre 1986 contro l'inquinamento fonico (OIF) [2] in combinato disposto con l'allegato 2 n. 1 cpv. 2 OIF.

2 *Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto - Parte 2: Metodo generale di calcolo* [3] (cfr. cap. 3)

3 Identificatori 142.1 e 144.1

1.2 Caratteristiche principali di sonROAD18

sonROAD18 è descritto in dettaglio nel rapporto [1] corrispondente, che comprende nello specifico anche una documentazione delle campagne di misurazione, delle procedure di valutazione, della calibrazione nonché della validazione del modello. La descrizione dettagliata del modello è disponibile esclusivamente in tedesco, cui si aggiungono una versione ridotta sempre in tedesco [5], in francese [6] e in italiano [7]. Quest'ultima contiene la descrizione vera e propria del modello e i principali capitoli del rapporto finale dettagliato.

Si riportano qui di seguito le caratteristiche principali di sonROAD18.

- Rispetto a modelli precedenti, l'efficacia delle misure di limitazione del rumore alla fonte può essere calcolata con maggiore precisione.
 - sonROAD18 si basa sui dati di traffico SWISS10 e calcola separatamente le emissioni foniche per ogni classe di veicolo SWISS10. sonROAD18 è stato inoltre ampliato per includere altre categorie di veicoli («SWISS10+»), tra cui, ad esempio, veicoli ibridi ed elettrici o tram. I moderni sistemi di rilevamento del traffico consentono di classificare automaticamente fino a dieci diverse categorie di veicoli (ad es. secondo SWISS10).
 - sonROAD18 presenta una risoluzione di frequenza in bande di terzo d'ottava che tiene conto con precisione delle attenuazioni della propagazione (ad es. attenuazione dovuta all'aria, effetto suolo). Le capacità di calcolo e di memoria dei tradizionali computer fissi permettono di calcolare e di memorizzare in questa risoluzione di frequenza.
 - Nel calcolo, anche la qualità acustica della pavimentazione è considerata con una risoluzione in banda di terzo d'ottava. In questo modo è possibile tenere conto adeguatamente della vasta gamma di diverse pavimentazioni stradali (dense, semidense e porose). La correzione della pavimentazione è spettrale e indipendente dalla velocità nonché dalle categorie di veicoli. L'effetto definitivo della pavimentazione sul rumore totale dipende comunque dalla velocità e dalla categoria del veicolo, poiché questi due fattori determinano le relative percentuali di rumore del motore e rumore di rotolamento.
- sonROAD18 consente di calcolare le emissioni già a partire da una velocità di 20 km/h, di calcolare le situazioni di colonna, di eseguire calcoli basati su diverse velocità per classe di veicolo come pure di simulare processi di accelerazione in casi individuali.
 - sonROAD18 riflette il parco veicoli e i relativi pneumatici in Svizzera fino al 2017⁴.
 - Il set di formule di sonROAD18 si basa sul modello di calcolo europeo CNOSSOS-EU [8], che sarà utilizzato per la mappatura del rumore in tutta l'Unione Europea a partire dal 2022. Di conseguenza, sonROAD18 è ampiamente compatibile con il modello europeo CNOSSOS-EU.

1.3 Confronto tra modelli precedenti e attuali

Nella tabella 1, le proprietà del modello sonROAD18 sono messe a confronto con precedenti modelli di calcolo del rumore stradale. Oltre al calcolo delle emissioni, i modelli StL86+ [9], [10] e sonRoad [11] comprendono anche un calcolo della propagazione. sonROAD18 è un semplice modello per la determinazione delle emissioni, privo di calcolo della propagazione. La tabella elenca solo le caratteristiche relative alle emissioni.

⁴ I dati di misurazione per la calibrazione del modello provengono dagli anni compresi tra il 2008 e il 2017.

Tabella 1

Caratteristiche di sonROAD18 rispetto ad altri modelli di calcolo del rumore stradale

Parametro	StL86+	sonRoad	CNOSSOS-EU	sonROAD18
Numero di categorie di veicoli	2	2	5	>10 (SWISS10+)
Intervallo di velocità	ca. 50 – 120 km/h	ca. 30 – 120 km/h	20 – 130 km/h	20 – 130 km/h e situazioni di colonna
Velocità per classe di veicolo	no	sì	sì	sì
Correzione della pavimentazione	non spettrale	non spettrale	spettrale	spettrale
Correzione dell'accelerazione	no	no	sì	simulazione caso individuale ⁵
Correzione della temperatura	no	no	sì	sì
Caratterizzazione delle emissioni	livello di pressione sonora a 1 m di distanza	potenza sonora irradiata	potenza sonora irradiata nel semispazio	potenza sonora irradiata nel semispazio
Altezza della fonte	0,80 m	0,45 m	0,05 m	0,05 m
Caratteristica di irradiazione	orizzontale	no	no	no
	verticale	no	no	sì
Frequenza di risoluzione	nessuna ⁶	24 bande di terzo d'ottava	8 bande di ottava	24 bande di terzo d'ottava
Livello massimo L_{max}	no	no	no	sì ⁷

5 La correzione forfettaria dell'accelerazione utilizzata dal modello CNOSSOS-EU per incroci e rotoatorie non è stata adottata [8]. È invece possibile simulare un processo di accelerazione per casi speciali (cfr. rapporto finale [1], allegato J, *Hinweise zu Korrekturen für Beschleunigungsvorgänge (Knoten und Kreisel* (pag. 190).

6 Livello energetico medio ponderato A

7 Oltre al livello energetico medio LAeq

Rispetto agli altri modelli, sonROAD18 presenta essenzialmente i seguenti vantaggi:

- categorizzazione molto più dettagliata dei tipi di veicoli con oltre dieci categorie (compresi gli autobus del trasporto pubblico, i tram, i veicoli agricoli);
- inclusione delle caratteristiche di emissione dell'attuale flotta di veicoli con i relativi pneumatici;
- attenzione per la crescente elettrificazione dei sistemi di trazione: è possibile calcolare le emissioni foniche dei veicoli ibridi nonché di quelli a trazione interamente elettrica;
- applicabilità del modello all'intervallo di velocità ridotte, comprese le situazioni di colonna;
- inclusione della caratteristica di irradiazione sonora verticale dipendente dall'angolo;
- possibilità di stimare i livelli massimi per ogni categoria di veicoli.

1.4 Variabili di output

Con sonROAD18 è possibile calcolare le variabili di output di cui all'allegato 3 numero 31 OIF. sonROAD18 consente inoltre di determinare le seguenti variabili di output: la deviazione standard del pronostico delle emissioni (per categoria di veicolo), lo spettro di frequenza delle emissioni e il livello massimo ponderato A $L_{A,max}$.

1.5 Supplementi e calibrazioni del modello

È possibile eseguire calibrazioni del modello, se necessario.

2 Dati di input

2.1 Panoramica dei dati di input richiesti

Per un calcolo basato su sonROAD18, sono necessari i dati di input elencati nella tabella 2 (cfr. [1] par 10.3, pag. 82):

Tabella 2

Dati di input richiesti per sonROAD18

Variabile di input	Requisiti minimi	Requisiti estesi	Campo di applicazione / valore	Par.
Volume / composizione di traffico	volumi di traffico TGM o volumi di traffico Nt1, Nt2, Nn1, Nn2 → ripartizione in categorie SWISS10 mediante convertitore SWISS10 ⁸	volumi di traffico orari medi $N[c]$ per categorie SWISS10 c giorno e notte	valori decimali (eccetto TGM: valori interi)	2.2
Velocità	di cartello	caso standard: di cartello caso eccezionale: velocità acusticamente rilevante	$20 \text{ km/h} \leq v \leq 130 \text{ km/h}$ e $v = 0 \text{ km/h}$ (situazioni di colonna) valori interi	2.3
Qualità acustica della pavimentazione, senza misurazione della qualità acustica della pavimentazione (metodo precedente)	valore KB → correzione spettrale standard stabilita per la pavimentazione	valore KB → correzione spettrale standard stabilita per la pavimentazione	correzioni standard della pavimentazione per 50 km/h: $-9 \text{ dBA} \leq \text{valore KB} \leq +3 \text{ dBA}$ correzioni standard della pavimentazione per 80 km/h: $-6 \text{ dBA} \leq \text{valore KB} \leq +5 \text{ dBA}$ Valori interi	2.4
Qualità acustica della pavimentazione, con misurazione della qualità acustica della pavimentazione	correzione spettrale misurata della pavimentazione	correzione spettrale misurata della pavimentazione	valori in banda di terzo d'ottava arrotondati matematicamente a 0,1 dB, senza ponderazione A	2.4
Pendenza longitudinale della strada	ad es. con swissTLM ^{3D} [12]	ad es. con swissTLM ^{3D} [12]	valori interi da $\pm 1\%$ (a seconda del segno)	2.5
Temperatura dell'aria	caso standard: valore medio annuale	caso standard: valore medio annuale	valori interi	2.6

⁸ cfr. par. 2.2.2, pag. 12

2.2 Volume / composizione di traffico

2.2.1 Categorie di veicoli SWISS10+

La categorizzazione dei diversi veicoli si basa su SWISS10 secondo la direttiva USTRA 13012 «Sistemi di rilevamento automatico del traffico» [13], con estensione alle categorie di veicoli ibridi o a trazione esclusivamente elettrica («SWISS10+») nonché a ulteriori categorie di veicoli quali tram e veicoli agricoli. Pertanto, sonROAD18 consen-

te di effettuare i calcoli sia con il parco veicoli attuale sia con quello futuro.

La tabella 3 elenca le diverse categorie di veicoli SWISS 10+⁹. L'allegato 1 a questo documento rappresenta in maniera schematica l'attribuzione dei diversi tipi di veicoli alle categorie SWISS10.

⁹ In termini di acustica, i veicoli con motore a combustione di idrogeno sono equiparati ai veicoli con motore a combustione convenzionale, mentre i veicoli a celle di combustibile idrogeno-ossigeno, in combinazione con una trazione elettrica, sono equiparati ai veicoli con motore elettrico.

Tabella 3

Categorie di veicoli secondo SWISS10+ Strutturata in categorie principali, sottocategorie e tipi

N.	Categorie generali Categorie SWISS10+	N.	Sottocategorie Categorie SWISS10+ (sistema di trazione)	Tipi
1	Autobus ¹⁰	1a	autobus a trazione convenzionale	
		1b	autobus a trazione ibrida/elettrica ¹¹	
2	Moto	2a	a trazione convenzionale	
		2b	a trazione elettrica ¹²	
3	Autovetture	3a	autovetture a trazione convenzionale	
		3b	autovetture a trazione ibrida	
		3c	autovetture a trazione elettrica	
4	Autovetture con rimorchio			
5	Furgoni fino a 3,5t			
6	Furgoni fino a 3,5t con rimorchio			
7	Furgoni fino a 3,5t con semirimorchio			
8	Camion	8a	camion a trazione convenzionale	
		8b	camion a trazione elettrica ¹³	
9	Autotreni			
10	Semirimorchi			
11	Autobus del trasporto pubblico / delle aziende di trasporto cittadine	11a	autobus diesel, 2 assi	
		11b	autobus snodati diesel, 3 assi	
		11c	autobus a gas, 3 assi	
		11d	autobus ibridi, 2/3 assi	
		11e	filobus snodati elettrici, 3 assi	
		11f	filobus a doppio snodo, 4 assi	
		11g	autobus a batteria	SOR EBN 8 minibus elettrico, 2 assi Volvo 7900 EH autobus elettrico ibrido, 2 assi Autobus elettrico Caetano, 2 assi Swisstrolley + autobus snodato con batteria, 3 assi
12	Tram	12a		Bern Combino
		12b		Basel BVB Combino
		12c		Basel BLT Tango
		12d		Basel Flexity
		12e		Zürich Cobra
		12f		Zürich Tram ² 000
13	Veicoli agricoli	13a	trattori	
		13b	trattori con rimorchio, carichi	
		13c	macchine agricole per raccolta	

10 Per autobus s'intendono autobus da turismo / pullman e non autobus del trasporto pubblico

11 Al momento della pubblicazione di questo documento, per la categoria di veicoli 1b non esistevano ancora coefficienti di modello.

12 Al momento della pubblicazione di questo documento, per la categoria di veicoli 2b non esistevano ancora coefficienti di modello.

13 Al momento della pubblicazione di questo documento, per la categoria di veicoli 8b non esistevano ancora coefficienti di modello.

Per le categorie SWISS10 dalla n. 1 alla n. 10, l'allegato 2 illustra con un grafico il livello medio di emissione in funzione della velocità.

2.2.1.1 Tram

Nel modello sonROAD18 i tram sono trattati come una categoria di veicoli a parte (categoria n. 12). Per decidere se il rumore dei tram deve essere valutato come fonte di rumore stradale o ferroviario, si fa riferimento alla *Checklist ambiente per impianti ferroviari non soggetti all'EIA*, numero 5.12, *Rumore, Fase d'esercizio tram*, pagina 36 [14]. Nei casi in cui il traffico tramviario deve essere valutato come rumore stradale secondo l'allegato 3 OIF, il pronostico delle emissioni viene effettuato tramite sonROAD18 con i veicoli della categoria n. 12. Nei casi in cui il traffico tramviario viene valutato come rumore ferroviario secondo l'allegato 4 OIF, si può impiegare come modello di previsione sonTRAM.¹⁴

Se al momento del pronostico il tipo di tram (categoria n. 12) non è ancora conosciuto o non sono disponibili informazioni specifiche sull'acustica del tipo di tram da modellare, si può prendere come riferimento il tipo di tram Cobra delle aziende di trasporto cittadine di Zurigo (Verkehrsbetriebe Zürich, VBZ).

2.2.1.2 Autobus

Se al momento del pronostico il tipo di autobus (categoria n. 11) non è ancora conosciuto o non sono disponibili informazioni specifiche sull'acustica del tipo di autobus da modellare, si può prendere come riferimento il modello di autobus più simile della tabella 3.

2.2.2 Convertitore SWISS10

Per utilizzare al meglio sonROAD18, sono necessari come dati di input i volumi di traffico orario medio $N[c]$ per categoria SWISS10 c , rilevati separatamente di giorno e di notte.

Se questi dati di base dettagliati sul numero di veicoli per classe di veicolo non sono disponibili, sonROAD18 offre in alternativa il convertitore SWISS10 (cfr. [1], cap. 11, pag. 95 e [15] cap. 4, pag. 26). Il convertitore è stato creato dall'Empa nell'ambito dello sviluppo del model-

lo sonROAD18 per i casi in cui non siano disponibili dati di traffico più idonei suddivisi per categorie di veicolo.

SWISS10 consiste in una tabella di conversione che esegue la ripartizione nelle categorie SWISS10 per diverse situazioni di traffico (combinazione di tipo di strada e velocità di cartello). Il convertitore SWISS10 è stato sviluppato e convalidato dall'Empa su incarico dell'UFAM. Esso si basa su una varietà di conteggi di traffico manuali e automatici sia in aree urbane sia in aree rurali e su diversi tipi di strade.

2.2.2.1 Volumi di traffico TGM, Nt1, Nt2, Nn1, Nn2 e corsie

Il convertitore SWISS10 richiede come variabili di input principali il traffico giornaliero medio (TGM; numero di veicoli nelle 24 ore) o i volumi di traffico orario Nt1, Nt2, Nn1, Nn2 secondo l'allegato 3, numero 32 OIF, da cui si stimano i volumi di traffico orario $N[c]$ delle categorie SWISS10 per il giorno e la notte per ogni corsia. La stima viene eseguita in funzione del tipo di strada, della velocità massima di cartello ed eventualmente della corsia (corsia di scorrimento o di sorpasso su strade a grande capacità).

Con il convertitore SWISS10, sonROAD18 è in grado di prevedere le emissioni esatte per corsia, mentre le comuni implementazioni software (programmi per il calcolo della propagazione del rumore) forniscono le variabili di output per una sola corsia. Il convertitore SWISS10 calcola i volumi di traffico orario per il traffico motorizzato privato (TMP) nelle categorie SWISS10, ma non per il trasporto pubblico. Il numero di veicoli per le categorie di veicoli n. 11 e n. 12 deve quindi essere considerato a parte. Il convertitore SWISS10 non calcola neanche i volumi di traffico per i tipi di trazione alternativa – come quella ibrida ed elettrica¹⁵ – né per i veicoli agricoli (categoria n. 13). Al momento dello sviluppo del convertitore SWISS10, i contatori di traffico non erano in grado di distinguere tra i diversi tipi di trazione. Pertanto, i veicoli con sistemi di trazione alternativa sono inclusi nei volumi di traffico dei veicoli a trazione convenzionale. Le categorie di veicoli con sistemi di trazione alternativa sono da intendersi in preparazione ai futuri sviluppi del parco veicoli e vengo-

14 <https://sontram.empa.ch>

15 Categorie di veicoli del traffico motorizzato privato con tipi di trazione alternativa secondo la tabella 3: 1b, 2b, 3b, 3c, 8b.

no inoltre utilizzate per il calcolo di scenari, ad esempio nel contesto di studi.

Nelle situazioni di scarso traffico, combinate con una bassa velocità (≤ 30 km/h), l'impiego del convertitore SWISS10 è sconsigliato e sono da preferire conteggi di traffico propri.

Per le strade a grande capacità con due corsie nella stessa direzione di marcia, il convertitore SWISS10 consente di eseguire una previsione differenziata e separata della composizione del traffico per la corsia di scorrimento e per quella di sorpasso. Quando si utilizza il convertitore SWISS10 in relazione a strade a grande capacità con due corsie nella stessa direzione di marcia, l'utente deve selezionare «corsia di scorrimento» o «corsia di sorpasso». Il convertitore SWISS10 non è stato sviluppato per strade a grande capacità con più di due corsie nella stessa direzione di marcia (ad es. seconda corsia di sorpasso o area di un raccordo autostradale). In questi casi si raccomanda di utilizzare direttamente i dati di traffico del contatore SWISS10 più vicino, se possibile¹⁶.

Il convertitore SWISS10 fornisce una previsione dettagliata, pertanto non è necessario applicare i fattori di conversione di cui all'allegato 3 numero 33 OIF.

2.2.2.2 Tipi di strade e situazioni di traffico

La classificazione delle strade si basa sui tipi di strada citati nella norma [16] VSS 40 040b. L'attribuzione non avviene in base al volume di traffico o al percorso urbano o extraurbano, ma secondo la funzione della strada:

- ES: strade di servizio di importanza di quartiere con funzioni di accesso alle proprietà
- SS: strade di raccolta di importanza locale con funzioni di raccolta
- VS: strade di raccordo di importanza da regionale a subregionale con funzioni di collegamento
- HVS: strade principali di importanza da nazionale a subregionale con funzioni di collegamento
- HLS: strade a grande capacità, di importanza da internazionale a regionale con funzioni di transito

¹⁶ Vedi anche il Censimento svizzero del traffico stradale (CSTS), conteggi automatici continui dell'USTRA.

Su questa base, il convertitore SWISS10 utilizza le seguenti situazioni di traffico:

Tabella 4:
Situazioni di traffico del convertitore SWISS10

ID	Sigla	Tipo di strada	Velocità di cartello [km/h]	Numero di corsie in entrambe le direzioni	Corsia
01	SS-30	strada di raccolta	30	2	corsia di scorrimento
02	SS-50	strada di raccolta	50	2	corsia di scorrimento
03	VS-50-60	strada di raccordo	50 o 60	2	corsia di scorrimento
04	VS-80	strada di raccordo	80	2	corsia di scorrimento
05	HVS-50-60	strada principale	50 o 60	2	corsia di scorrimento
06	HVS-80	strada principale	80	2	corsia di scorrimento
07	HLS-2-80	strada a grande capacità	80	2	corsia di scorrimento
08	HLS-2-100	strada a grande capacità	100	2	corsia di scorrimento
09	HLS-4-N-80	strada a grande capacità	80	4	corsia di scorrimento
10	HLS-4-U-80	strada a grande capacità	80	4	corsia di sorpasso
11	HLS-4-N-100	strada a grande capacità	100	4	corsia di scorrimento
12	HLS-4-U-100	strada a grande capacità	100	4	corsia di sorpasso
13	HLS-4-N-120	strada a grande capacità	120	4	corsia di scorrimento
14	HLS-4-U-120	strada a grande capacità	120	4	corsia di sorpasso

Durante lo sviluppo del convertitore SWISS10, la situazione dei dati non ha permesso di specificare una chiave di ripartizione nelle diverse categorie di veicoli SWISS10 per ogni combinazione di velocità di cartello e tipo di strada. Le situazioni di traffico che non figurano nel convertitore SWISS10 possono essere sostituite dalle situazioni di traffico indicate nella seguente tabella 5:

Tabella 5
Elenco delle situazioni di traffico utilizzabili in sostituzione delle situazioni di traffico assenti.

Tipo di strada	Velocità di cartello [km/h]	Situazione di traffico sostitutiva
Strada di raccolta SS / zona d'incontro	20	→ SS-30
Strada di raccordo VS	30	→ VS-50-60
Strada principale HVS	30	→ HVS-50-60
Strada principale HVS	70	→ HVS-80

2.3 Velocità

Secondo [1], paragrafo 10.3, pagina 82, il modello sonROAD18 è utilizzabile in un intervallo di velocità di $20 \text{ km/h} \leq v \leq 130 \text{ km/h}$ come pure con $v = 0 \text{ km/h}$ (in situazioni di colonna, cfr. [1], par. 10.8, pag. 92).

Per il pronostico delle emissioni con sonROAD18 non si usa alcuna distribuzione della velocità come variabile di input, ma si presume che tutti i veicoli di una categoria di veicoli c viaggino alla stessa velocità $v[c]$ inserita nel modello.

Se sono disponibili dati con velocità misurate, si usano piuttosto v_{50} o v_{media} quali parametri statistici per la velocità da inserire. **Le analisi hanno dimostrato che la velocità media v_{media} è adatta come velocità acusticamente rilevante per sonROAD18.** In [15], capitolo 5, pagina 38 basandosi su distribuzioni di velocità reali, si riporta che negli esempi esaminati le differenze tra i parametri statistici v_{50} , v_{media} e v_{60} sono minime (bassa sensibilità).

La velocità v_{85} non ha alcun significato per un pronostico delle emissioni con sonROAD18.

Per il calcolo del livello delle emissioni relativo allo stato iniziale e a quello previsto, di solito si prende la velocità di cartello come riferimento. Tuttavia, per i motivi indicati qui di seguito, il modello consente anche di utilizzare la velocità media v_{media} .

In casi eccezionali da motivare, in deroga a questa regola generale, può essere inserita nel modello la velocità acusticamente rilevante sotto forma di velocità media v_{media} [c], giorno/notte. Eccezioni possono esservi quando¹⁷:

- le **condizioni topografiche** del percorso stradale impediscono al conducente di guidare alla velocità di cartello (ad es. strada tortuosa (di montagna) con limite di velocità 80, percorso extraurbano);
- la **visibilità e/o lo spazio di manovra sono limitati** e per ragioni di sicurezza non si può procedere alla velocità di cartello, indipendentemente dalle condizioni atmosferiche (ad es. strada stretta con limite di velocità 50, percorso urbano o centro abitato stretto);
- nelle immediate vicinanze **di un cambio della velocità di cartello** (ad es. da 80 km/h a 50 km/h in entrata/uscita da una località) **aumentano le emissioni foniche**.¹⁸

Riguardo alla velocità di cartello, occorre tenere presente che in sonROAD18 vanno considerate le velocità massime *in funzione della categoria di veicolo* di cui alla *tabella 6*, secondo gli articoli 4a e 5 dell'ordinanza sulle norme della circolazione stradale (ONC) [18]¹⁹.

¹⁷ Secondo la decisione del Tribunale Federale 1C_11/2017 del 2 marzo 2018, ai fini di una prova dell'efficacia della riduzione di velocità (acustica), è determinante la velocità media v_{media} per lo stato iniziale, e la velocità di cartello per quello futuro.

¹⁸ Si intende qui tener conto anche del comportamento di guida (accelerare/decelerare).

¹⁹ Le velocità massime sono indipendenti dal sistema di trazione; di conseguenza, si applicano tanto ai veicoli a trazione ibrida, elettrica o a idrogeno quanto ai veicoli a trazione convenzionale. La velocità massima consentita per autoveicoli leggeri con rimorchio su strade e autostrade si applica solo se il peso totale del rimorchio non supera 3,5 t (cfr. art. 5 cpv. 2 lett. c ONC [18]).

Tabella 6

Velocità massime in funzione della categoria di veicolo secondo gli articoli 4a e 5 dell'ordinanza sulle norme della circolazione stradale [18]

Evidenziata in rosso: la velocità massima consentita per la rispettiva categoria di veicoli è inferiore alla velocità massima di cartello.

Classe SWISS10	Descrizione classe	Strade 100 km/h	Autostrade 120 km/h
1	Autobus	100 km/h	100 km/h
2	Moto	100 km/h	120 km/h
3	Autovetture	100 km/h	120 km/h
4	Autovetture con rimorchio	100 km/h	100 km/h
5	Furgoni fino a 3,5 t	100 km/h	120 km/h
6	Furgoni fino a 3,5 t con rimorchio	100 km/h	100 km/h
7	Furgoni fino a 3,5 t con semirimorchio	100 km/h	100 km/h
8	Camion	80 km/h	80 km/h
9	Autotreni	80 km/h	80 km/h
10	Semirimorchi	80 km/h	80 km/h

2.4 Qualità acustica della pavimentazione

2.4.1 Pavimentazione di riferimento

La pavimentazione di riferimento di sonROAD18 corrisponde a una ACMR8 (tenore di vuoti pari a <8%), posata conformemente alla SNR 640 436 svizzera in vigore in quel momento [19]. Secondo l'allegato 1b del *Manuale per il rumore stradale* [20], per velocità >90 km/h, questa pavimentazione presenta un valore KB pari a 0 dBA. Per velocità <60 km/h viene indicato un valore di +1 dBA. Secondo una ricerca [21], le valutazioni attuali riguardanti l'ACMR8 mostrano un valore KB pari a +0,3 dBA per velocità ridotta (traffico misto; 8% di N2). Da ciò si può concludere che la qualità acustica delle pavimentazioni di riferimento di entrambi i modelli StL86+ e sonROAD18 è quasi identica.

2.4.2 Qualità acustica della pavimentazione come fattore da considerare

La massima affidabilità di previsione si ottiene idealmente determinando la qualità acustica spettrale della pavimentazione con un metodo di misurazione standard (SPB, CPX, SEM, cfr. [22]) e inserendo in sonROAD18 quale cor-

reazione della pavimentazione $\Delta_{L_{W,R,road}[i]}$ (i : indice della banda in terzo d'ottava). Se tuttavia non sono disponibili valori misurati, è possibile utilizzare come standard i valori KB associati al modello di calcolo StL86+ sotto forma di correzioni standard della pavimentazione (cfr. par. 2.4.4).

Con l'aiuto delle procedure spiegate nella descrizione del modello [1] (cfr. rimandi ai capitoli corrispondenti nella figura 1), è possibile convertire la qualità acustica misurata di una pavimentazione esistente in una correzione spettrale della pavimentazione $\Delta_{L_{W,R,road}[i]}$ compatibile con sonROAD18.

2.4.3 Integrazione mediante misurazioni della pavimentazione

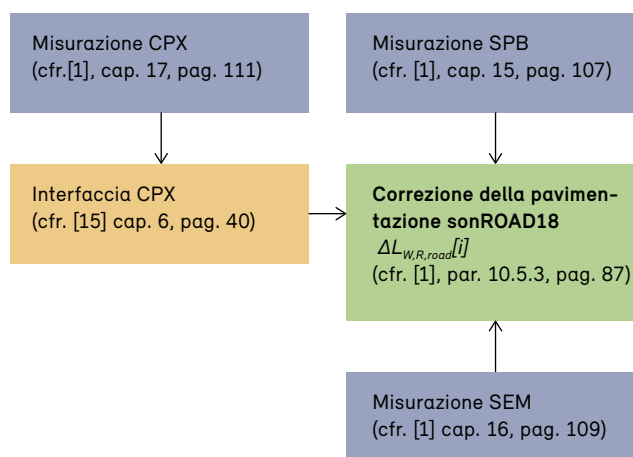
La tabella 7 mostra i tre metodi di misurazione più comuni in Svizzera per determinare la qualità acustica della pavimentazione (cfr. anche [22]).

Tabella 7 Metodo di misurazione per integrare la qualità acustica della pavimentazione in sonROAD18

Metodo di misurazione	Norma	Descrizione
SPB: misurazione statistica del passaggio (Statistical Pass-By)	ISO 11819-1	misurazione di singoli passaggi isolati di un veicolo con registrazione simultanea della velocità di guida e della categoria di veicolo per una misurazione normata.
SEM: misurazione delle emissioni a campione	non normalizzata	misurazione del rumore stradale totale in prossimità della strada.
CPX: Close Proximity	ISO 11819-2	utilizzando un rimorchio di misura, si percorre il tragitto registrando il rumore di rotolamento di un'autovettura e di un camion dotati di pneumatici standard.

Tutti questi metodi di misurazione impiegati finora possono continuare a essere utilizzati con sonROAD18. Le misurazioni SPB e SEM – come mostrato in figura 1 – possono essere integrate direttamente in sonROAD18. Un'interfaccia CPX (modello di conversione CPX) consente l'impiego di misurazioni CPX.

Figura 1 Integrazione della qualità acustica della pavimentazione in sonROAD18 mediante misurazioni



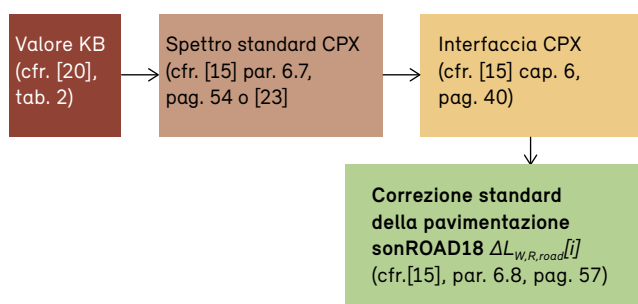
2.4.4 Integrazione mediante valori KB

Se non sono state effettuate misurazioni della pavimentazione o se queste non possono essere eseguite, si può ricorrere a cosiddette **correzioni standard della pavimentazione** attraverso un'ipotesi di valore KB, realizzate come segue (cfr. [23] e figura 2): partendo da una banca dei dati di misurazione CPX, che tra le altre cose include vari tipi ed età della pavimentazione nonché i valori KB corrispondenti, si sono raggruppati gli spettri CPX in base a valori KB. Successivamente, è stato calcolato uno spettro CPX mediato per ciascuno dei gruppi KB, denominato **spettri standard CPX**. Le analisi statistiche hanno dimostrato che le deviazioni standard per ogni spettro standard CPX sono inferiori quando le si raggruppa per valori KB invece che per tipo di pavimentazione (cfr. [23]).

Ogni **spettro standard CPX** mediato è stato poi convertito mediante interfaccia CPX (cfr. [15], cap. 6, pag. 40) in una correzione spettrale della pavimentazione compatibile con sonROAD18 $\Delta_{L_{W,R,road}[i]}$. Queste correzioni spettrali stabilite per la pavimentazione sono denominate **correzioni standard della pavimentazione** e, partendo dalla loro funzione, possono essere confrontate con i valori KB. Le **correzioni standard della pavimentazione** sono riportate sotto forma di tabella per le velocità 50 km/h e 80 km/h nell'allegato 3 e nell'allegato 4. I due set di correzioni standard della pavimentazione sono denominati rispettivamente KB50 e KB80. Sono rappresentati sia in

forma tabellare che grafica anche nel rapporto dell’Empa *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm – Weiterentwicklungen und Ergänzungen* (cfr. [15], par. 6.8, pag. 57).

Figura 2
Integrazione della qualità acustica della pavimentazione in sonROAD18 mediante valori KB



La tabella 8 attribuisce i valori KB della tabella 2 dell’allegato 1b del *Manuale per il rumore stradale* [20] ai due set KB50 e KB80 della correzione standard della pavimentazione di sonROAD18 in funzione della velocità di cartello.

Tabella 8
Attribuzione dei valori KB alle correzioni standard della pavimentazione sonROAD18 in funzione della velocità

Velocità di cartello	Allegato 1b Manuale per il rumore stradale, tab. 2, valore KB dalla colonna	Correzione standard della pavimentazione sonROAD18
≤ 60 km/h	< 60 km/h, N2 = 8 %	KB50
70 km/h	< 60 km/h, N2 = 8 %	KB80
≥ 80 km/h	> 90 km/h, N2 = 15 %	KB80

2.4.5 Sensibilità della qualità acustica della pavimentazione

sonROAD18 determina le emissioni foniche totali dei veicoli tramite la somma energetica formata dalla componente di trazione e da quella del rumore di rotolamento, come pure con una correzione per la caratteristica di irradiazione sonora verticale. La correzione della pavimentazione influisce esclusivamente sulla componente del rumore di rotolamento.

In un modello di calcolo del rumore stradale, la qualità acustica della pavimentazione riveste grande importanza (cfr. anche l’analisi di sensibilità²⁰ in [1] par. 13.2, tab. 13.1, pag. 105). A velocità medie ed elevate, la correzione della pavimentazione è uno dei fattori che più influenza le emissioni totali. Solo alle basse velocità (≤ 40 km/h) le emissioni totali sono influenzate significativamente dal rumore del motore.

Con il modello StL86+, la correzione della pavimentazione influisce costantemente sul rumore totale, poiché questo modello non prevede alcuna separazione tra rumore del motore e rumore di rotolamento. Dall’esperienza fatta con StL86+, si prevede che la correzione della pavimentazione influisca al 100 per cento sul livello delle emissioni, indipendentemente dalla situazione. Questo significa, ad esempio, che una pavimentazione fonoassorbente ad alta efficacia, con un valore KB di – 6 dBA, riduce le emissioni di – 6 dBA in ogni situazione, indipendentemente dalla velocità, dalla pendenza e dalla composizione del traffico. In realtà, però, l’efficacia della pavimentazione dipende in misura non ancora del tutto nota dai fattori di influenza menzionati. Più bassa è la velocità, più bassa è la percentuale del rumore di rotolamento sul rumore totale. In questo caso, ne consegue che anche l’influenza della correzione della pavimentazione sul rumore totale è bassa.

2.4.6 Aspetti importanti della qualità acustica della pavimentazione

Gli spettri della pavimentazione elencati nella tabella 9.1 del rapporto *Empa sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm* [1] non sono adatti a essere impiegati come correzioni della pavimentazione. Essi sono stati utilizzati unicamente per la calibrazione del modello e sono quindi documentati nel suddetto rapporto per motivi di completezza (cfr. [1] par. 9.4 Belagseinfluss, pag. 81). Durante la calibrazione, per definire i coefficienti del modello, è stata ipotizzata una qualità acustica della pavimentazione per una determinata zona di misurazione, che dunque vale solo per tale zona. Pertanto, questi spettri di pavimentazione non sono rappresentativi per i tipi di pavimentazione elencati.

²⁰ Sensibilità del pronostico delle emissioni alle modifiche delle variabili di input.

La pavimentazione acusticamente neutra non è la pavimentazione di riferimento²¹ del modello, in quanto occorre impiegare la correzione standard della pavimentazione per $KB = 0$ dB.

Per situazioni con una pavimentazione fonoassorbente e basse velocità ($v \leq 50$ km/h), il modello sonROAD18 non è stato definitivamente convalidato²². Ciò significa in particolare che, quando si combinano le misure di protezione contro il rumore «riduzione della velocità» e «pavimentazione fonoassorbente», l'accuratezza delle previsioni non è ancora stabilita in modo definitivo.

2.5 Pendenza della strada / corsie

Nel modello sonROAD18, la correzione della pendenza non dipende dalla frequenza, ma dalla velocità e dalla classe di veicolo (cfr. [1], par. 10.5.2, eq. n. 10.4–6). Nel caso di una pendenza longitudinale della strada $s \leq -1$ per cento o $s \geq 1$ per cento, è necessaria una correzione della pendenza dipendente dal segno, che dunque, per le strade non piane, richiede una modellizzazione per sensi di circolazione separati.

I programmi per il calcolo della propagazione del rumore consentono all'utente che esegue una modellizzazione di dividere automaticamente la strada in due corsie con un asse stradale, distribuendo così in maniera uniforme il volume di traffico tra le corsie.

La pendenza della strada in direzione longitudinale deve essere inserita come valore dipendente dal segno a partire da ± 1 per cento. L'intervallo di valori non è limitato.

La pendenza longitudinale della strada può essere ottenuta, ad esempio, dal modello topografico in grande scala del paesaggio della Svizzera denominato swissTLM^{3D} dell'Ufficio federale di topografia swisstopo [12].

Su una strada su cui circola approssimativamente lo stesso volume di traffico in entrambe le direzioni di marcia, di solito prevale la correzione positiva della pendenza.

21 Cioè ACMR8 mediante $\Delta L_{w,R,road}[i] = 0$ dB per tutte le bande di frequenza.

22 Al momento dello sviluppo del modello, esistevano solo pochi percorsi T30 con pavimentazione fonoassorbente.

Se una sezione / un tracciato stradale si compone esclusivamente di corsie che vengono percorse in direzione discendente (pendenza negativa)²³, per una pendenza s compresa nell'intervallo -4 per cento $\leq s \leq 0$ per cento, non è necessaria alcuna correzione della pendenza, indipendentemente dalla velocità e dalla classe di veicolo ($\Delta L_{w,P,grad}[C] = 0$ dB, cfr. [1], par. 10.5.2, eq. n. 10.4–6).

Sebbene sonROAD18 sia in grado di calcolare singolarmente ogni corsia, nella maggior parte dei casi si tratta di una semplice sezione stradale a due corsie con traffico opposto e volumi di traffico quasi identici in entrambe le direzioni di marcia. La strada può essere modellata come singolo asse se tutti i seguenti criteri sono soddisfatti:

- la differenza del traffico giornaliero medio TGM tra le due direzioni di marcia è inferiore al 10 per cento;
- la pendenza longitudinale della strada s è inferiore o uguale al 3 per cento.

Con una modellizzazione accurata delle corsie si ottengono emissioni più precise per i seguenti casi:

- situazione con uno o più ostacoli alla propagazione del rumore²⁴ e pendenza ripida;
- se effettivamente sono presenti più corsie per direzione di marcia (ad es. sulle autostrade).

2.6 Temperatura dell'aria

Per il calcolo delle emissioni medie annue, anche la temperatura è da intendersi come temperatura media annua. Si tratta della temperatura dell'aria, non della temperatura superficiale della pavimentazione, e non viene differenziata tra il giorno e la notte. La temperatura di riferimento di sonROAD18, pari a 10 °C, corrisponde sull'Altipiano al valore medio annuale²⁵, per cui di solito non è necessario effettuare alcuna correzione per i calcoli della media annuale (cfr. [1], par. 3.2, pag. 10 o par. 10.1, pag. 82).

23 Ad esempio, strade a senso unico, strade con sensi di circolazione separati, ingressi o uscite da strade/autostrade.

24 Ad esempio: parete o argine antirumore, muro di sostegno, cambio di pendenza, scarpata.

25 Valore medio annuale 2017 per la Svizzera settentrionale (Nord delle Alpi) al di sotto dei 1000 s.l.m.: 9,8 °C, fonte: MeteoSvizzera, Begert M., Frei C. Area-mean temperatures of Switzerland. DOI: 0.18751/Climate/Timeseries/CHTM/1.0, 10.02.2018.

Di solito non è richiesta alcuna correzione della temperatura neanche per la valutazione preventiva del rumore di future situazioni costruttive e/o di esercizio (orizzonte di previsione).

Se la temperatura media annuale si discosta di oltre 5 °C dalla temperatura di riferimento, è necessaria una correzione. In questi casi, ad esempio, si può ricorrere alla valutazione dell'andamento annuale della temperatura presso le stazioni della rete climatologica svizzera (Swiss NBCN) di MeteoSvizzera²⁶.

²⁶ www.meteosvizzera.admin.ch/home.html

3 Calcolo della propagazione

3.1 Modello per il calcolo della propagazione

La norma internazionale ISO 9613-2 *Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation* [3] – mette a disposizione una regola di calcolo completa per determinare la propagazione del suono dalla strada come fonte di rumore ai punti di immissione. Tale regola può essere applicata a una vasta gamma di fonti di rumore e copre i meccanismi di attenuazione più importanti. Questo metodo è applicabile alle fonti di rumore a livello del suolo, come il traffico stradale e ferroviario o l'industria e il commercio. Il metodo è implementato nella maggior parte dei pacchetti software di calcolo del rumore disponibili in commercio. Con un calcolo della propagazione basato sulla norma ISO 9613-2, si tiene conto, tra gli altri, dei seguenti effetti acustici:

- divergenza/attenuazione geometrica,
- assorbimento atmosferico,
- effetto suolo dipendente dal tipo di suolo,
- riflessione sulle superfici,
- schermatura attraverso ostacoli,²⁷
- effetto meteo.

Il calcolo dipende dalla frequenza (risoluzione in banda di ottava con frequenze nominali di banda media da 63 Hz a 8 kHz; cioè 8 bande di frequenza).

Con la norma ISO 9613-2 si determina il livello di pressione sonora continuo ponderato A in condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione del suono (condizioni di vento o una leggera inversione termica ben sviluppata, come avviene di solito di notte).

La norma ISO 9613-2 lascia talvolta un certo spazio all'interpretazione. Queste lacune possono essere colmate facendo riferimento al *Technical Report ISO/TR 17534-3, Acoustics – Software for the calculation of sound outdoors – Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1* [24]. Il *Technical Report* contiene inoltre una

serie di specifiche che riducono l'incertezza delle previsioni con disposizioni facili da attuare.

Gli spettri di emissione calcolati con sonROAD18 devono essere convertiti in livelli di immissione utilizzando il metodo di calcolo per la propagazione del rumore di cui alla norma ISO 9613-2 [3], edizione 1996. Il calcolo della propagazione deve essere di tipo spettrale, almeno con una risoluzione di frequenza in bande di ottava.

Il software per il calcolo della propagazione del rumore o le sue impostazioni di calcolo devono tenere conto di tutte le raccomandazioni di cui al documento ISO/TR 17534-3, prima edizione del 15 gennaio 2015 [24].

Il calcolo della propagazione secondo il modello StL86+ non è compatibile con sonROAD18, tra l'altro perché i due modelli presentano un'altezza diversa della fonte.

3.2 Parametri di calcolo

I parametri di calcolo riportati qui di seguito sono quelli che, nell'ambito degli scenari di prova ipotizzati, si sono rivelati idonei ai fini di un calcolo della propagazione più preciso possibile nonché adeguato alla situazione.

- Condizioni di riferimento: $T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, umidità relativa dell'aria 70 per cento.
- Effetto suolo: il metodo semplificato per determinare l'effetto suolo non è ammesso, poiché, secondo la norma ISO 9613-2, può essere utilizzato solo per calcoli non spettrali ed è limitato ai suoli porosi o almeno in gran parte porosi.
- Considerazione della diffrazione laterale intorno agli oggetti, anche nel caso di più oggetti (diffrazione laterale multipla).
- In questa sede, il fattore suolo G di cui alla norma ISO 9613-2, par. 7.3.1 [3], non viene considerato come regola generale, poiché di solito la porosità del suolo varia lungo la via di propagazione, come pure dipende dalla situazione. Fanno eccezione le strade e i parcheggi, che generalmente sono fonoriflettenti ($G = 0$).

²⁷ Ad esempio, edifici, elevazioni del terreno, cambi di pendenza, pareti e terrapieni antirumore, muri di sostegno, manufatti in generale.

L'allegato 5 contiene una tabella di attribuzione del fattore suolo G alle coperture del suolo secondo swisTLM^{3D}.

- Assorbimento degli edifici: in assenza di altri dati noti, gli edifici devono essere modellati con una perdita dovuta alla riflessione di 1 dB. In caso contrario, si possono usare anche altri gradi di assorbimento.
- Calcolo almeno di una riflessione ($n \geq 1$). Nelle aree urbane densamente edificate (vie strette e costruite) si raccomanda di calcolare anche riflessioni di ordine superiore, in modo da tenere conto anche delle riflessioni multiple sulle facciate degli edifici e del conseguente aumento del livello sonoro.
- Considerazione anche delle attenuazioni legate alla vegetazione eventualmente presente di cui all'allegato A (informativo) della norma ISO 9613-2, se, in base alla copertura del suolo secondo la cartografia ufficiale, si tratta di superfici boschive.
- Non si tiene conto delle attenuazioni legate a edifici industriali e costruzioni eventualmente presenti di cui all'allegato A (informativo) della norma ISO 9613-2. Queste strutture non devono essere generalizzate bensì modellate come singoli oggetti 3D, con pianta personalizzata e relativa altezza.

Se per il calcolo delle emissioni si inserisce una temperatura diversa da quella di riferimento, di solito è necessario adeguare anche la temperatura utilizzata nel calcolo della propagazione (cfr. par. 2.6).

3.3 Effetti meteo

Il metodo di calcolo della propagazione del rumore secondo la norma ISO 9613-2 tiene conto degli effetti meteo (situazione del vento, inversioni termiche). Per un calcolo della propagazione che includa le condizioni meteorologiche medie annuali di un luogo, sono necessari calcoli di modelli meteorologici o misurazioni (profili di vento e di temperatura). Sebbene in linea di principio sia disponibile un modello di calcolo per tutta la Svizzera [25], esso non è stato ancora validato per il calcolo del rumore stradale. **Di conseguenza, non è necessario apportare una correzione meteorologica** (cioè $C_{met} = 0$; C_{met} secondo norma ISO 9613-2, eq. n. 6). Quando si calcola l'effetto di un ostacolo, invece, il fattore K_{met} (eq. n. 18) deve

essere preso in considerazione²⁸. Se si rinuncia alla correzione meteorologica C_{met} di cui alla norma ISO 9613-2, si presume generalmente una situazione di propagazione favorevole.

²⁸ Le attuali implementazioni software non consentono all'utente di influenzare questo fattore.

4 Implementazioni

sonROAD18²⁹, analogamente a sonRAIL³⁰ e sonTRAM³¹, è disponibile come strumento in rete. Include anche il convertitore SWISS10, il modello di conversione CPX, l'output degli spettri di emissione in forma tabellare e grafica e la stima dei livelli massimi.

Sono disponibili ulteriori implementazioni commerciali di programmi di calcolo del rumore 3D. In questi casi occorre attenersi sempre alle dichiarazioni di conformità dei produttori di software.

²⁹ <https://sonroad18.empa.ch>

³⁰ <https://sonrail.empa.ch>

³¹ <https://sontram.empa.ch>

5 Bibliografia

- [1] Heutschi K., Locher B., 2018: *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm*, Empa, 9.7.2018: www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [2] Ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF), RS 814.41 del 15.12.1986, stato 7.5.2019
- [3] Norma internazionale *ISO 9613-2 Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation*, 15.12.1996 (prima edizione)
- [4] Manuale per il rumore stradale, *Aiuto all'esecuzione per il risanamento*, Schgvanin G., Ziegler T., Pratica ambientale n. 0637, USTRA e UFAM, dicembre 2006
- [5] Heutschi K., Locher B., 2018: *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm – Kurzfassung*, Empa, 9.7.2018: www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [6] Heutschi K., Locher B., 2018: *sonROAD18 – Modèle de calcul du bruit routier – Version abrégée*, Empa, 9.7.2018: www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [7] Heutschi K., Locher B., 2018: *sonROAD18 – Modello di calcolo per il rumore stradale – versione ridotta*, Empa, 9.7.2018: www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [8] JRC Reference Report, *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*, 2012
- [9] *Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm*, Teil 1, Bedienungsanleitung zum Computerprogramm StL-86, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 60, Bundesamt für Umweltschutz, 1987 (disponibile in tedesco e francese)
- [10] *Strassenlärm: Korrekturen zum Strassenlärm-Berechnungsmodell*, Mitteilungen zur Lärmschutz-Verordnung (LSV) Nr. 6, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 1995 (disponibile in tedesco e francese)
- [11] Heutschi K., *SonRoad – Berechnungsmodell für Strassenlärm*, Schriftenreihe Umwelt Nr. 366, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 2004 (disponibile in tedesco e francese)
- [12] Catalogo degli oggetti di swissTLM^{3D} 1.9, Ufficio federale di topografia swisstopo, aprile 2021, <https://www.swisstopo.admin.ch/it/geodata/landscape/tlm3d.html#documenti>
- [13] Direttiva USTRA 13012 *Sistemi di rilevamento automatico del traffico*, USTRA, edizione 2009, versione 1.05 (disponibile in tedesco e francese)
- [14] Checklist ambiente per impianti ferroviari non soggetti all'EIA, ottobre 2010 (in corso di revisione), UFT e UFAM
- [15] Heutschi K., *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm – Weiterentwicklungen und Ergänzungen*, Empa, 15.5.2020: www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [16] Norma VSS 40 040b *Projektierung, Grundlagen*, Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti, 31.3.2019
- [17] Ordinanza del DATEC concernente le zone con limite di velocità massimo di 30 km/h e le zone d'incontro, RS 741.213.3 del 28.9.2001, stato 1.1.2021
- [18] Ordinanza sulle norme della circolazione stradale (ONC), RS 741.11 del 13.11.1962, aggiornato al 20.5.2021
- [19] SNR 640 436, *Semidichtes Mischgut und Deckschichten; Festlegungen, Anforderungen, Konzeption und Ausführungen*, Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS), 2013 (disponibile in tedesco e francese)

-
- [20] Allegato 1b al Manuale per il rumore stradale, *Belagskennwerte – Anwendungshilfe für die Belagsakustik*, USTRA e UFAM, 31.7.2013
- [21] *Rapporto Aktualisierung Belagskennwerte 2016 im Innerortsbereich*, Grolimund + Partner AG, 23.10.2017
- [22] Allegato 1c al Manuale per il rumore stradale, *Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen*, USTRA e UFAM, 11.12.2013
- [23] E. Bühlmann, E. Hammer, *Projektbericht Ermittlung von CPX-Standardspektren für sonROAD18*, Grolimund + Partner AG, 15.5.2020
- [24] Technical Report ISO/TR 17534-3, *Acoustics – Software for the calculation of sound outdoors – Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1*, 15.1.2015 (prima edizione)
- [25] J.M. Wunderli, *Aufbereitung von flächendeckenden Grundlagen für die Schallausbreitungsmodellierung in den Bereichen Meteorologie und Bodeneigenschaften*, rapporto Empa n. 459 348, 2011
- [26] ASTRA IT-Dokumentation 65 021, *Verkehrsmonitoring VMON, Anwendungshandbuch*, edizione 2016, versione 2.2.0

Allegato 1 Schema categorie di veicoli SWISS10

Figura 3

Schema categorie di veicoli secondo SWISS10*Secondo [26] par. 4.4.1.1, tab. 4, pag. 59.*

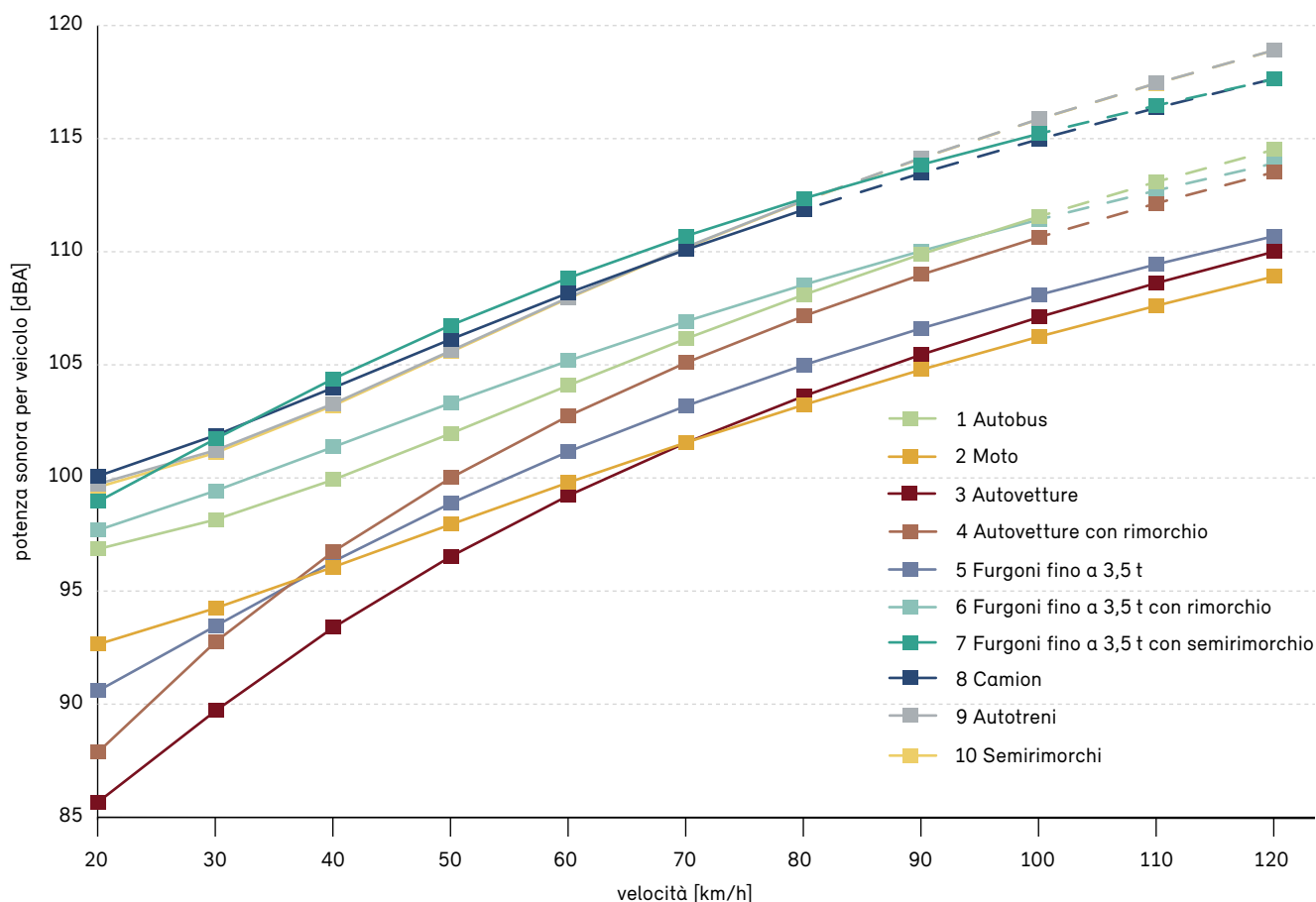
1		Autobus
2		Moto
3		Autovetture
4		Autovetture con rimorchio
5		Furgoni
6		Furgoni con rimorchio
7		Furgoni con semirimorchio
8		Camion
9		Autotreni
10		Semirimorchi

Allegato 2 Livello medio di emissione

Il grafico sottostante mostra i livelli medi di potenza sonora ponderati A per le categorie SWISS10 n. 1–10³² in funzione della velocità di guida. Per alcune categorie di veicoli, si tratta di estrapolazioni a partire da 80 km/h o 100 km/h (cfr. par. 2.3 e *tabella 6*). I livelli di potenza sonora delle emissioni sono stati calcolati per le condizioni di riferimento (cioè sulla pavimentazione di riferimento ACMR8 e con una temperatura dell'aria di 10 °C).

Figura 4

Livelli medi di potenza sonora ponderati A per veicolo in funzione della velocità di guida per le varie categorie SWISS10



32 Con sistema di trazione convenzionale, cioè motore a combustione.

Allegato 3 Correzioni spettrali standard della pavimentazione per 50 km/h

La tabella 9 elenca le correzioni spettrali standard della pavimentazione per 50 km/h in [dB].

La rappresentazione grafica delle correzioni standard della pavimentazione si trova in [15], fig. 6.19, pag. 58.

Tabella 9

Correzioni spettrali standard della pavimentazione per 50 km/h [dB]

Bande di terzo d'ottava mancanti integrate (in blu: bande di terzo d'ottava della misurazione CPX normalizzata).

Frequenza [Hz]	Valore KB [dB], 50 km/h												
	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
50	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
63	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
80	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
100	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
125	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
160	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
200	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
250	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
315	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
400	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.5	1.2	2.3	3.4
500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	3.3
630	-6.9	-4.4	-2.6	-1.6	-1.0	-0.7	-0.6	-0.2	0.7	1.9	3.0	4.3	5.5
800	-15.0	-12.1	-9.3	-6.5	-4.0	-2.5	-1.5	-0.7	0.1	1.1	1.9	3.0	3.9
1000	-15.4	-13.2	-10.7	-7.5	-4.7	-2.6	-0.7	0.6	1.6	2.4	3.3	4.0	4.8
1250	-11.4	-10.3	-9.0	-6.7	-4.3	-2.5	-0.7	0.7	1.7	2.7	3.6	4.4	5.2
1600	-12.0	-10.8	-9.4	-7.2	-4.3	-2.1	-0.1	0.6	1.0	1.5	2.1	2.4	2.7
2000	-14.0	-12.2	-10.2	-7.5	-4.6	-2.0	0.1	0.5	0.8	1.1	1.4	1.6	1.7
2500	-15.5	-12.8	-10.1	-7.2	-4.3	-2.3	-0.8	-0.2	0.0	0.7	1.4	1.7	2.3
3150	-16.3	-13.9	-11.3	-8.3	-5.6	-3.6	-1.8	-0.4	0.3	1.0	1.7	2.0	2.5
4000	-14.9	-12.9	-10.6	-7.7	-5.1	-3.0	-1.2	0.0	0.6	1.0	1.5	1.7	1.9
5000	-11.5	-9.8	-7.9	-5.7	-3.8	-2.3	-0.9	-0.2	0.1	0.9	1.6	2.0	2.4
6300	-11.5	-9.8	-7.9	-5.7	-3.8	-2.3	-0.9	-0.2	0.1	0.9	1.6	2.0	2.4
8000	-11.5	-9.8	-7.9	-5.7	-3.8	-2.3	-0.9	-0.2	0.1	0.9	1.6	2.0	2.4
10000	-11.5	-9.8	-7.9	-5.7	-3.8	-2.3	-0.9	-0.2	0.1	0.9	1.6	2.0	2.4

Allegato 4 Correzioni spettrali standard della pavimentazione per 80 km/h

La tabella 10 elenca le correzioni spettrali standard della pavimentazione per 80 km/h in [dB].

La rappresentazione grafica delle correzioni standard della pavimentazione si trova in [15], fig. 6.20, pag. 59.

Tabella 10

Correzioni spettrali standard della pavimentazione per 80 km/h [dB]

Bande di terzo d'ottava mancanti integrate (in blu: bande di terzo d'ottava della misurazione CPX normalizzata).

Frequenza [Hz]	Valore KB [dB], 80 km/h											
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
50	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8
63	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8
80	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8
100	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8
125	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8
160	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8
200	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8
250	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8
315	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8
400	0.8	0.9	0.9	0.8	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	2.3	3.0	3.3
500	0.7	0.9	0.8	0.5	-0.1	0.1	0.5	0.7	1.2	2.1	3.1	3.6
630	0.1	0.5	0.6	0.4	-0.3	0.1	1.0	1.6	2.1	3.2	4.1	4.4
800	-5.1	-4.2	-2.7	-1.2	-0.2	0.4	1.3	2.1	2.7	3.6	4.5	4.9
1000	-5.1	-5.1	-4.5	-3.3	-2.2	-1.5	-0.6	0.4	1.4	2.7	4.3	5.5
1250	-6.3	-6.2	-5.9	-4.5	-2.9	-1.8	-0.1	1.5	2.4	3.3	4.8	5.7
1600	-6.3	-6.3	-6.1	-4.7	-2.8	-1.7	-0.6	0.3	1.1	1.5	2.2	3.0
2000	-6.8	-6.5	-6.2	-5.0	-3.0	-1.8	0.1	1.4	2.0	2.2	2.7	3.2
2500	-7.3	-7.0	-6.5	-5.4	-3.6	-2.7	-1.7	-0.9	-0.5	-0.4	0.6	2.0
3150	-7.2	-6.8	-6.4	-5.4	-3.5	-2.4	-0.5	1.0	1.5	1.5	2.1	2.6
4000	-5.9	-5.3	-4.9	-3.9	-2.2	-1.0	2.0	3.8	4.0	3.7	3.7	3.3
5000	-5.7	-4.7	-4.2	-3.0	-1.4	-0.6	0.0	1.8	2.4	1.9	2.0	2.2
6300	-5.7	-4.7	-4.2	-3.0	-1.4	-0.6	0.0	1.8	2.4	1.9	2.0	2.2
8000	-5.7	-4.7	-4.2	-3.0	-1.4	-0.6	0.0	1.8	2.4	1.9	2.0	2.2
10000	-5.7	-4.7	-4.2	-3.0	-1.4	-0.6	0.0	1.8	2.4	1.9	2.0	2.2

Allegato 5 Attribuzione del fattore suolo G alla copertura del suolo

La tabella 11 assegna un fattore suolo G a ogni tipo di copertura del suolo secondo swissTLM^{3D}, Feature Class TLM_BODENBEDECKUNG. Poiché tipi di oggetto definiti possono sovrapporsi, la tabella 11 specifica anche un fattore suolo G per tipi di copertura del suolo combinati.

Il fattore suolo G («Ground factor G ») è definito nella norma UNI ISO 9613-2, par. 7.3.1, pag. 5 [3]. Esso descrive la porosità del suolo ($0.0 \leq G \leq 1.0$). Un valore pari a 0.0 indica una pavimentazione dura (cioè acusticamente riflettente), mentre un valore di 1.0 indica

una pavimentazione porosa. Il fattore suolo è una delle variabili che influenzano la determinazione dell'effetto suolo A_{gr} (cfr. eq. (9) in combinazione con la tab. 3 della norma ISO 9613-2).

L'attribuzione è avvenuta in conformità con la tabella 3, pagina 5 del rapporto dell'Empa *Aufbereitung von flächendeckenden Grundlagen für die Schallausbreitungsmodellierung in den Bereichen Meteorologie und Bodeneigenschaften* [25].

Tabella 11

Attribuzione di un fattore suolo G a ogni tipo di copertura del suolo nonché ai tipi di copertura del suolo sovrapposti e combinati secondo swissTLM^{3D} (i tipi di copertura del suolo evidenziati in rosso non devono sovrapporsi)

	Roccia	Corsi d'acqua	Arbusteto	Rocce incoerenti	Ghiacciai	Acque stagnanti	Zona umida	Foresta	Foresta aperta
	1	5	6	7	9	10	11	12	13
1 Fels	0.0		0.0					0.7	0.7
5 Fliessgewässer		0.0			0.0		0.7		
6 Gebüschwald	0.0		1.0	0.0			1.0		
7 Lockergestein			0.0	0.0	0.0		0.7		0.7
9 Gletscher		0.0		0.0	0.0	0.0			
10 stehende Gewässer					0.0	0.0	0.7		
11 Feuchtgebiet		0.7	1.0	0.7		0.7	1.0	1.0	1.0
12 Wald	0.7						1.0	1.0	
13 Wald offen	0.7			0.7			1.0		1.0

Fonte: Catalogo degli oggetti swissTLM^{3D}, par. 7.1, Feature Class TLM_BODENBEDECKUNG, fig. 1, pag. 46 [12]