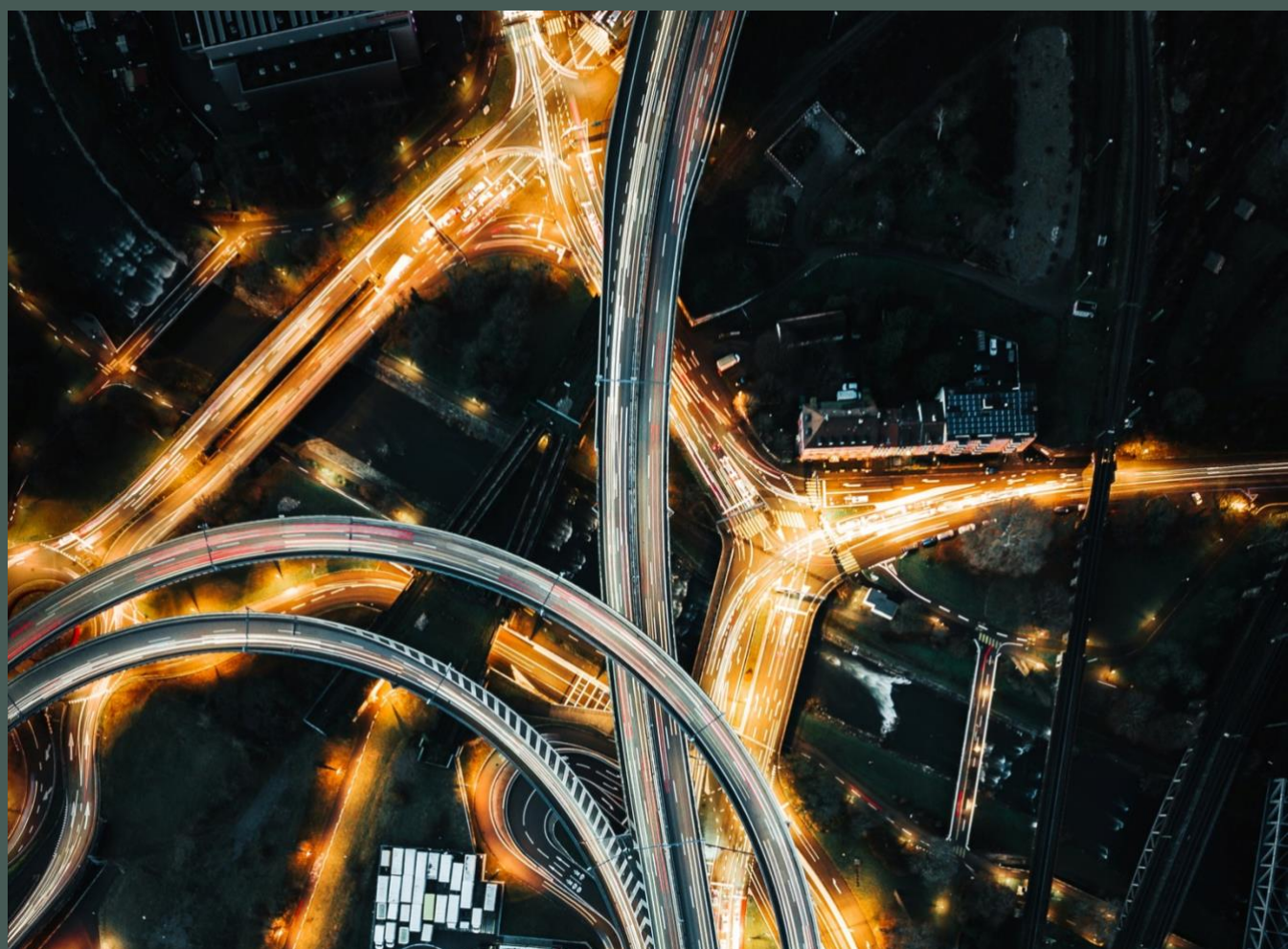


Aiuto all'esecuzione sonROAD18 – Raccomandazioni sul modello

Modello di calcolo per il rumore stradale



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'ambiente UFAM

Aiuto all'esecuzione sonROAD18 – Raccomandazioni sul modello

Modello di calcolo per il rumore stradale

Nota editoriale

Valenza giuridica

La presente pubblicazione è un aiuto all'esecuzione elaborato dall'UFAM in veste di autorità di vigilanza. Destinata in primo luogo alle autorità esecutive, essa concretizza le prescrizioni del diritto federale in materia ambientale (in merito a concetti giuridici indeterminati e alla portata e all'esercizio della discrezionalità) nell'intento di promuovere un'applicazione uniforme della legislazione. Le autorità esecutive che vi si attengono possono legittimamente ritenere che le loro decisioni siano conformi al diritto federale. Sono ammesse soluzioni alternative, purché conformi al diritto vigente.

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

Accompagnamento UFAM

Urs Walker, Sophie Hoehn, Judith Schäli, Cyrill Martin, Maurus Bärlocher

Grafica e impaginazione

Funke Lettershop AG

Foto di copertina

Veduta aerea di autostrade di notte, Basilea, Svizzera
© Moritz Enderle / EyeEm, gettyimages

Link per scaricare il PDF

www.bafu.admin.ch/uv-2314-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 2023

L'**Elaborazione dei dati di input e calcolo della propagazione** si trovano nella pubblicazione **Modello di calcolo per il rumore stradale sonROAD18**

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

Informazioni aggiornate sul tema Rumore:

www.bafu.admin.ch/rumore

Indice

Abstracts	5
Prefazione	6
1 Basi	7
1.1 Introduzione	7
1.2 Base legale	7
1.3 Modello di calcolo per le emissioni sonROAD18	8
1.4 Modello di propagazione del rumore secondo la norma ISO 9613-2	8
2 Raccomandazioni	10
2.1 Raccomandazioni sul modello	10
2.2 Livelli di immissione definiti	10
2.3 Velocità	11
2.4 Calcolo della propagazione	12
3 Bibliografia	13

Abstracts

The sonROAD18 model to determine road traffic noise is described in detail in the report *sonROAD18 – Model for Determining Road Traffic Noise* (available in German, French and Italian). This enforcement aid recommends using the sonROAD18 emission model to implement the Noise Abatement Ordinance with regard to road noise. The sonROAD18 model is suitable for all purposes, and is also to be used to forecast road noise in connection with building in areas affected by noise. This enforcement aid recommends using the sound propagation model described in standard ISO 9613-2 to determine immissions.

Il modello di calcolo per le emissioni del rumore stradale sonROAD18 è descritto in dettaglio nel rapporto *Modello di calcolo per il rumore stradale sonROAD18*. Il presente aiuto all'esecuzione raccomanda l'utilizzo del modello nell'esecuzione dell'ordinanza contro l'inquinamento fonico relativamente al rumore stradale. Il modello sonROAD18 è indicato per tutti gli ambiti di utilizzo e deve essere impiegato anche per le previsioni relative al rumore stradale in relazione all'attività edilizia in zone esposte al rumore. Per il calcolo delle immissioni il presente aiuto all'esecuzione raccomanda l'utilizzo del modello di propagazione del rumore secondo la norma ISO 9613-2.

Das Modell zur Berechnung von Strassenlärm-Emissionen sonROAD18 wird im Bericht *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm* detailliert beschrieben. Die vorliegende Vollzugshilfe empfiehlt beim Vollzug der Lärmschutz-Verordnung bezüglich Strassenlärm das Emissionsmodell sonROAD18 einzusetzen. Das Berechnungsmodell sonROAD18 ist für alle Verwendungszwecke geeignet. Auch für Strassenlärm-Prognosen im Zusammenhang mit dem Bauen in lärmbelasteten Gebieten soll sonROAD18 verwendet werden. Für die Berechnung der Immissionen wird in dieser Vollzugshilfe die Verwendung des Ausbreitungsmodells nach Norm ISO 9613-2 empfohlen.

Le modèle de calcul des émissions du bruit routier sonROAD18 est présenté de manière détaillée dans le rapport *sonROAD18 – Modèle de calcul du bruit routier*. La présente aide à l'exécution recommande l'utilisation du modèle d'émission sonROAD18 dans le cadre de l'exécution de l'ordonnance sur la protection contre le bruit concernant le bruit routier, ce modèle étant adapté à tous les domaines d'application. Le modèle sonROAD18 doit également être employé pour les prévisions du bruit routier dans le cadre de constructions dans des zones exposées au bruit. Pour le calcul des immissions, la présente aide à l'exécution recommande l'utilisation de la méthode de calcul de la propagation selon la norme ISO 9613-2.

Keywords:

determination of road traffic noise, noise pre-diction, model recommendation, emissions model, SWISS10

Parole chiave:

calcolo del rumore stradale, previsioni relative al rumore, raccomandazione sul modello, modello di emissione, SWISS10

Stichwörter:

Strassenlärm-berechnung, Lärmprognose, Modellempfehlung, Emissionsmodell, SWISS10

Mots-clés:

calcul du bruit routier, prévisions du bruit, recommandation des modèles, modèle d'émission, SWISS10

Prefazione

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 nella massima misura possibile. 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 hanno il vantaggio di essere più semplici e quindi di poter essere eseguiti in modo più rapido e capillare.

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 modello deve essere in grado di considerare correttamente le diverse categorie di veicoli e di determinare con precisione l'efficacia delle misure di protezione contro il rumore. I modelli di calcolo impiegati finora consentono di prendere in considerazione tali misure (ad esempio riduzione della velocità, pavimentazioni stradali fonoassorbenti o veicoli a trazione elettrica) unicamente in modo inadeguato o per niente.

L'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) ha dunque incaricato l'Empa di sviluppare un nuovo modello per le emissioni, conforme allo stato della tecnica e della conoscenza nonché in grado di soddisfare futuri sviluppi del parco veicoli. Il nuovo modello sonROAD18 consente un calcolo realistico e aggiornato delle emissioni foniche del traffico stradale. L'efficacia delle misure di protezione contro il rumore, soprattutto alla fonte, può essere prevista con grande precisione, permettendo di definire le misure più adatte a proteggere le persone esposte al rumore nelle situazioni concrete.

Il presente aiuto all'esecuzione raccomanda come calcolare il rumore stradale in futuro, garantendo in tal modo maggiore sicurezza in termini di uniformità e certezza del diritto.

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

1 Basi

1.1 Introduzione

Nel febbraio 2021 l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) ha pubblicato il modello sonROAD18, sviluppato dall'Empa su incarico dell'UFAM per il calcolo delle emissioni foniche del traffico stradale [1] [2]. Il modello sonROAD18 è considerato lo stato attuale della conoscenza e della tecnica in riferimento alla modellizzazione del rumore stradale e consente il calcolo delle emissioni prodotte dal rumore del traffico stradale ai sensi dell'allegato 3 dell'ordinanza del 15 dicembre 1986 contro l'inquinamento fonico (OIF) [3].

Il modello di calcolo è stato descritto in dettaglio nel corrispondente rapporto [1] del 2018, 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 breve in tedesco [4], francese [5] e italiano [6]. Quest'ultima contiene la descrizione del modello e i principali capitoli del rapporto finale dettagliato.

Nel gennaio 2022 l'UFAM ha pubblicato un numero della collana Studi sull'ambiente relativo al modello sonROAD18, che descrive l'elaborazione dei dati di input per il calcolo delle emissioni e contiene indicazioni sul calcolo della propagazione (UW-2127-I [7]).

In questa sede si raccomanda l'applicazione del modello per le emissioni sonROAD18 ai fini dell'esecuzione dell'ordinanza contro l'inquinamento fonico in relazione al rumore stradale. Per il calcolo della propagazione si consiglia invece l'utilizzo del modello di propagazione del rumore secondo la norma ISO 9613-2 [8].

1.2 Base legale

Le immissioni foniche sono determinate in base a calcoli o misurazioni (art. 38 cpv. 1 OIF). Secondo l'articolo 38 capoverso 3 OIF [3], le esigenze poste ai metodi di calcolo per la determinazione delle immissioni foniche sono rette dall'allegato 2 OIF. Secondo l'allegato 2 numero 1 capoverso 2 OIF, l'UFAM raccomanda alle autorità esecutive metodi di calcolo adeguati in base allo stato della tecnica.

Le raccomandazioni per i precedenti modelli StL86+ [9] [10] e sonRoad [11] riportate nel Manuale per il rumore [12] sono sostituite dalla presente raccomandazione.

Dal momento che per una valutazione del rumore rilevante a livello giuridico è determinante la media annuale dell'inquinamento fonico, in genere viene calcolato questo dato. Il modello sonROAD18 è conforme allo stato della tecnica, e pertanto, nei progetti concernenti il rumore stradale, le autorità esecutive possono attribuire la priorità ai calcoli rispetto alle misurazioni del rumore (praticabilità e proporzionalità).

1.3 Modello di calcolo per le emissioni sonROAD18

Nella pubblicazione Studi sull'ambiente dell'UFAM relativa al modello sonROAD18 [7] il modello viene presentato con le sue caratteristiche e le sue specifiche e confrontato con altri modelli a volte precedenti. SonROAD18 si contraddistingue per le seguenti caratteristiche principali:

- rispetto a modelli precedenti, l'efficacia delle misure alla fonte può essere calcolata con maggior precisione;
- sonROAD18 si basa sui dati di traffico SWISS10 [13] e calcola separatamente le emissioni foniche per ogni classe di veicolo SWISS10. sonROAD18 è stato inoltre ampliato per includere altre categorie di veicoli («SWISS10+») [7], tra cui, ad esempio, veicoli ibridi ed elettrici o tram;
- sonROAD18 presenta anche 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 e a ostacoli, effetto del suolo);
- 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 (porose, semidense e dense);
- 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;
- il set di formule di sonROAD18 si basa sul modello di calcolo europeo CNOSSOS-EU [14], che sarà utilizzato per la mappatura del rumore in tutta l'Unione europea. Di conseguenza, sonROAD18 è ampiamente compatibile con il modello europeo CNOSSOS-EU.

1.4 Modello di propagazione del rumore secondo la norma ISO 9613-2

La norma internazionale ISO 9613-2 *Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto – Parte 2: Metodo generale di calcolo* [8] mette a disposizione una procedura idonea per determinare la propagazione del suono dalla fonte di rumore ai punti di immissione. Si tratta di un metodo di calcolo spettrale pensato per diverse altezze della sorgente e del punto di ricezione, quindi utilizzabile per diversi tipi di rumore, che copre i meccanismi di attenuazione più importanti.

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 in funzione del tipo di suolo;
- riflessione sulle superfici;
- effetto di schermatura degli ostacoli¹;
- effetto meteo.

Sono pertanto coperti gli effetti acustici previsti ai sensi dell'allegato 2 numero 1 capoverso 1 OIF come attenuazione dovuta alla distanza e all'aria, effetti del suolo, attenuazione dovuta agli ostacoli e riflessioni. È inoltre possibile tenere conto degli effetti 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).

Il metodo di calcolo ISO è implementato e testato nella maggior parte dei pacchetti software di calcolo del rumore disponibili in commercio. L'algoritmo di calcolo è sufficientemente dettagliato e preciso per gli ambiti di utilizzo necessari; il tempo di calcolo e la memoria richiesta sono compatibili con calcolatori ordinari. Anche il tempo di calcolo e la memoria richiesta per il calcolo dei catasti dei rumori urbani o cantonali si mantengono entro limiti accettabili.

Le emissioni spettrali calcolate con sonROAD18 possono quindi essere convertite in livelli di immissione utilizzando il metodo di calcolo per la propagazione del rumore di cui alla norma ISO 9613-2.

¹ Ad es. edifici, elevazioni del terreno, cambi di pendenza, pareti e terrapieni antirumore, muri di sostegno, manufatti in generale.

2 Raccomandazioni

2.1 Raccomandazioni sul modello

Per il calcolo del rumore stradale secondo l'allegato 3 OIF, a partire dal 1° luglio 2023 l'UFAM raccomanda il modello di emissione sonROAD18 [1] [2] e il modello di propagazione secondo la norma ISO 9613-2 [8] per tutti gli ambiti di utilizzo relativi al rumore stradale.

Nel calcolo delle immissioni secondo la **norma ISO 9613-2 si deve tenere conto delle raccomandazioni del rapporto tecnico ISO/TR 17534-3, prima edizione del 15 gennaio 2015 [15]**. La norma ISO 9613-2 lascia un certo spazio all'interpretazione, che può essere colmato facendo riferimento al rapporto tecnico. Quest'ultimo contiene inoltre una serie di precisazioni che riducono l'incertezza delle previsioni con disposizioni facili da attuare.

Per i progetti per i quali il calcolo del rumore è stato iniziato prima del 1° luglio 2023 e per i quali l'onere risulterebbe sproporzionato è possibile rinunciare a un nuovo calcolo eseguito con il modello sonROAD18.

2.2 Livelli di immissione definiti

Secondo l'articolo 37a capoverso 1 OIF, nella sua decisione concernente la costruzione, la modifica o il risanamento di un impianto, l'autorità esecutiva definisce le immissioni foniche consentite. Nell'autorizzazione viene definito il livello massimo di immissione ammissibile per ogni punto di immissione di un locale sensibile al rumore².

I calcoli del rumore stradale eseguiti secondo l'attuale stato della tecnica restano validi. Se le immissioni vengono ora calcolate con il modello sonROAD18 unitamente alla norma ISO 9613-2, questi risultati saranno determinanti per le decisioni delle autorità competenti. Ciò vale in particolare anche per le decisioni concernenti il rispetto dei livelli di immissione decisi, calcolati in base a un modello di calcolo precedente.

² Occorre tenere presente che nell'approvazione di un progetto non si definisce esclusivamente le immissioni massime consentite, ma anche l'esercizio dell'impianto che causa il rumore, incluse le eventuali misure costruttive previste per la riduzione del rumore (pareti antirumore, pavimentazione ecc.).

Per quanto concerne il rumore stradale, le seguenti situazioni possono essere esempi di casi che comportano l'obbligo di ricalcolare le immissioni foniche:

- il raggiungimento (temporale) dell'orizzonte di risanamento originale;
- un risanamento completo dell'impianto stradale esistente³;
- un ampliamento o un potenziamento di un impianto stradale;
- uno spostamento dell'asse stradale;
- una modifica della quantità e/o composizione del traffico rilevante per il rumore o
- una modifica della velocità.

La semplice introduzione del modello sonROAD18 non comporta alcun obbligo retroattivo di determinazione del rumore o di risanamento fonico.

2.3 Velocità

Il modello sonROAD18 è utilizzabile in un intervallo di velocità di $20 \leq v \leq 130$ km/h (cfr. [1], cpv. 10.3, pag. 82 e cpv. 10.8, pag. 92).

Per le previsioni 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 (cfr. [2], cap. 5, pag. 38).** Tra i parametri statistici v_{50} , v_{media} e v_{60} esistono solo minime differenze (cfr. [2] tab. 5.1, pag. 39). La velocità v_{85} , rilevante per la sicurezza del traffico, non ha alcun significato per una previsione delle emissioni con sonROAD18.

3 Cfr. DTF 1C_506/2014, Aufhebung der Plangenehmigungsverfügung del 26 marzo 2013 (Ausführungsprojekt zu Nationalstrassen, N01/36 Anschluss Schlieren – Europabrücke / Umgestaltung und Lärmschutz Grünau).

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. Occorre tenere conto delle velocità massime in funzione delle categorie di veicolo secondo gli articoli 4a e 5 dell'ordinanza del 13 novembre 1962 sulle norme della circolazione stradale [16] (cfr. tab. 6 della pubblicazione Studi sull'ambiente dell'UFAM concernente il modello sonROAD18 [7]). In casi eccezionali da motivare può essere inserita nel modello la velocità acusticamente rilevante sotto forma di velocità media $v_{media} [c]$, giorno/notte. Eccezioni possono esservi quando⁴:

- le **condizioni topografiche**⁵ del percorso stradale impediscono al conducente di guidare alla velocità indicata (ad es. strada tortuosa (di montagna) con limite di velocità 80, percorso extraurbano);
- la **visibilità è limitata**, e per ragioni di sicurezza non si può procedere alla velocità indicata, 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 indicata** (ad es. da 80 a 50 km/h o da 50 a 80 km/h in entrata/uscita da una località) **aumentano le emissioni foniche**⁶;
- è presente l'installazione fissa di una segnaletica variabile con diverse velocità.

2.4 Calcolo della propagazione

Il calcolo della propagazione secondo la norma ISO 9613-2 deve essere di tipo spettrale e almeno con una risoluzione di frequenza in bande di ottava.

Si devono inoltre rispettare le avvertenze relative alle impostazioni di calcolo riportate alla sezione 3.2, pagina 20 della pubblicazione Studi sull'ambiente sonROAD18 [7].

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 [18], esso non è stato ancora validato per il calcolo del rumore stradale. **Di conseguenza, non è necessario apportare una correzione meteorologica specifica al luogo** (cioè $C_{met} = 0$; C_{met} secondo norma ISO 9613-2, eq. n. 6)⁷. Se la correzione meteorologica C_{met} di cui alla norma ISO 9613-2 è lasciata a zero, il modello di propagazione ISO 9613-2 calcola generalmente una situazione di propagazione favorevole.

⁴ elenco non esaustivo.

⁵ La presenza di una pendenza ordinaria non costituisce un'eccezione. sonROAD18 si basa sulla correzione della pendenza di CNOSSOS-EU, che in genere tiene già conto della velocità più lenta in salita o in discesa (cfr. [1] cpv. 12.1, pag. 100).

⁶ Si intende qui tenere conto anche del comportamento di guida (accelerazione/decelerazione).

⁷ Quando si calcola l'effetto di un ostacolo, invece, deve essere considerato il fattore K_{met} (eq. n. 18). Le attuali implementazioni software non consentono all'utente di influenzare questo fattore.

3 Bibliografia

- [1] Heutschi K., Locher B., *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm*, Empa, 9.7.2018
- [2] Heutschi K., *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm – Weiterentwicklungen und Ergänzungen*, Empa, versione 2.0, 7.2.2023
- [3] *Ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF)*, RS 814.41 del 15.12.1986, stato 1° luglio 2021
- [4] Heutschi K., Locher B., *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm – Kurzfassung*, Empa, 9.7.2018
- [5] Heutschi K., Locher B., *sonROAD18 – Modèle de calcul du bruit routier – Version abrégée*, Empa, 9.7.2018
- [6] Heutschi K., Locher B., *sonROAD18 – Modello di calcolo per il rumore stradale – versione ridotta*, Empa, 9.7.2018
- [7] UFAM (ed.), *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, 2021
- [8] Standard internazionale ISO 9613-2, *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation*, 15.12.1996 (prima edizione)
- [9] *Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm, Teil 1, Bedienungsanleitung zum Computerprogramm StL-86*, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 60, Ufficio federale per la protezione dell'ambiente, 1987
- [10] *Strassenlärm: Korrekturen zum Strassenlärm-Berechnungsmodell, Mitteilungen zur Lärmschutz-Verordnung (LSV) Nr. 6*, Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio (UFAFP), 1995
- [11] Heutschi K., *SonRoad – Berechnungsmodell für Strassenlärm*, Schriftenreihe Umwelt Nr. 366, Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio (UFAFP), 2004
- [12] *Manuale per il rumore stradale, Aiuto all'esecuzione per il risanamento*, Schgvanin G., Ziegler T., Pratica ambientale n. 0637, USTRA e UFAM, dicembre 2006
- [13] Direttiva USTRA 13012 *Verkehrszähler*, USTRA, edizione 2009, versione 1.05
- [14] JRC Reference Report, *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*, 2012
- [15] *Rapporto tecnico 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 (First edition)
- [16] Ordinanza sulle norme della circolazione stradale (ONC), RS 741.11 del 13.11.1962, stato 20.5.2021
- [17] Vergleich Reflexionsordnung ISO 9613-2, Analysen zum Einfluss auf die Genauigkeit und die Rechenzeit, n-Sphere AG, 5.11.2021, Version 1.1
- [18] Wunderli J. M., Schalcher S., *Aktualisierte flächendeckende Grundlagen für die Schallausbreitungsmodellierung in den Bereichen Meteorologie und Bodeneigenschaften*, Empa-Bericht Nr. 5214.024934-3, 9.2.2023