



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung EKLB
Commission fédérale pour la lutte contre le bruit CFLB
Commissione federale per la lotta contro il rumore CFLR
Cumissiun federala per il cumbat cunter la canera CFCC

Valori limite per il rumore del traffico stradale, ferroviario e aereo

**Raccomandazioni della Commissione federale per
la lotta contro il rumore CFLR**

**A cura della Commissione federale per
la lotta contro il rumore CFLR
Berna, 2021**

Nota editoriale

Editore

Commissione federale per la lotta contro il rumore (CFLR)

Membri (in ordine alfabetico): Blaise Arlaud, Jürg Artho, Dario Bozzolo, Christian Cajochen, Stefan Fahrländer, Anne-Christine Favre (fino al 2019), Christoph Jäger, Ottilia Lütolf Elsener, Christa Perregaux, Martin Rösli, Sabine Schlittmeier, André Schrade, Georg Thomann, Silvia Tobias, Jean-Marc Wunderli

Gruppo di lavoro (in ordine alfabetico)

Jürg Artho, Dr. phil. (CFLR)
Hans Bögli, Dr. sc. techn. (UFAM)
Mark Brink, PD Dr. phil. (CFLR e UFAM)
Christoph Jäger, Dr. iur. (CFLR)
Martin Rösli, Prof. Dr. phil. (CFLR)
Georg Thomann, Dr. sc. techn. (CFLR)
Jean Marc Wunderli, Dr. ing. (CFLR)

Indicazione bibliografica

CFLR (ed.) 2021: Valori limite per il rumore stradale, ferroviario e aereo. Raccomandazioni della Commissione federale per la lotta contro il rumore CFLR, Commissione federale per la lotta contro il rumore, Berna.

Download PDF

https://www.eklb.admin.ch/de/dokumentation/berichte/CFLR_2021_Valori_limite_i.pdf
(La versione cartacea non può essere ordinata)

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

© CFLR 2021

La CFLR opera come commissione specialistica extraparlamentare indipendente e interdisciplinare della Confederazione nell'ambito della lotta contro i rumori e le vibrazioni, in collaborazione con i settori della scienza, della ricerca, dell'esecuzione e dell'amministrazione. La CFLR fornisce consulenza al Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC) e all'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) per questioni scientifiche e metodologiche riguardanti la lotta contro il rumore e le vibrazioni e i loro effetti sulla salute, sul benessere e sullo spazio vitale ed elabora i documenti, i rapporti, le raccomandazioni e le proposte inerenti a tale settore.

Indice

Indice.....	3
Riassunto.....	5
1 Situazione di partenza, obiettivi, modo di procedere	9
1.1 Situazione di partenza	10
1.2 Lavori preliminari.....	11
1.3 Mandato e obiettivo.....	12
1.4 Modo di procedere generale per la determinazione dei valori limite d'esposizione	13
2 Basi legali.....	16
2.1 In generale	16
2.2 Obiettivo di protezione	16
2.3 Bene protetto	17
2.4 Piano di protezione	17
2.5 Valori limite d'esposizione.....	18
2.6 Effetti del rumore determinanti.....	19
2.7 Campo d'applicazione e luogo di determinazione del carico fonico	21
2.8 Interpretazione di nozioni giuridiche indeterminate.....	23
3 Determinazione di valori limite generici	26
3.1 Fase 1: determinazione degli effetti rilevanti per la salute	27
3.2 Fase 2: determinazione dei Disability Weight (DW).....	32
3.3 Fase 3: definizione di requisiti minimi per la qualità degli studi scientifici presi in considerazione	33
3.4 Fase 4: determinazione dello stato della scienza	34
3.5 Fase 5: determinazione dei rischi accettabili, che definiscono il passaggio tra disturbi trascurabili e considerevoli dovuti al rumore	35
3.6 Fase 6: determinazione di relazioni dose-effetto e di valori soglia riferiti al punto finale	38

3.7	Fase 7: determinazione di valori limite generici espressi mediante i descrittori acustici L_{den} e L_{night} per i tipi di rumore esaminati	41
4	Analisi di ulteriori elementi del metodo di valutazione del rumore e della loro necessità di adeguamento	45
4.1	Campo d'applicazione.....	45
4.2	Luogo di determinazione.....	46
4.3	Descrittori acustici.....	49
4.4	Periodi di valutazione.....	50
4.5	Differenziazione dei valori limite d'esposizione in funzione dei gradi di sensibilità (GS).....	52
4.6	Differenziazione in valori di pianificazione, valori limite d'immissione e valori d'allarme	54
4.7	Schema dei valori limite	57
4.8	Determinazione dei valori limite per tipo di rumore.....	60
4.9	Livelli di valutazione e correzioni di livello.....	64
4.10	Punti in sospeso e necessità di ricerca.....	70
5	Raccomandazioni	74
5.1	Campo d'applicazione e luogo di determinazione	75
5.2	Grandezze e periodi di valutazione.....	75
5.3	Gradi di sensibilità.....	76
5.4	Valori limite d'esposizione e schema dei valori limite	76
5.5	Classificazione delle raccomandazioni nel contesto nazionale e internazionale.....	78
	Allegato.....	85
A.1	Tabelle	85
A.2	Testo originale delle norme giuridiche rilevanti in relazione alla definizione dei valori limite (con evidenziazione dei termini importanti).....	90
A.3	Analisi separate effettuate per domande specifiche	91
A.4	Glossario dei termini, delle abbreviazioni e dei simboli	114
A.5	Indice bibliografico	121

Riassunto

Panoramica

L'odierno concetto di protezione della popolazione dal rumore applicato in Svizzera è stato definito negli anni Ottanta nella legge sulla protezione dell'ambiente (LPAmb) e in seguito concretizzato nell'ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF). I valori limite per il rumore vigenti oggi sono stati stabiliti con questa ordinanza. Ritenuto che le basi scientifiche dei valori limite attualmente in vigore per il rumore provocato dal traffico (rumore stradale, ferroviario e aereo) sono ormai obsolete, nel presente rapporto la Commissione federale per la lotta contro il rumore (CFLR) formula delle raccomandazioni per l'adeguamento di tali valori limite o del sistema dei valori limite nell'OIF.

Le raccomandazioni formulate nel presente rapporto si basano sia su un'analisi completa dell'attuale letteratura scientifica sugli effetti dell'inquinamento fonico sulla salute, sia sulle esperienze pluriennali maturate nell'esecuzione dell'OIF e nell'ambito della giurisprudenza in materia di rumore ambientale. Le raccomandazioni si prefiggono di fornire al Consiglio federale i mezzi necessari per strutturare il sistema dei valori limite in Svizzera o, laddove necessario, adeguare i valori limite del rumore in modo da soddisfare i requisiti della LPAmb. Esse si riferiscono esclusivamente al rumore stradale, ferroviario e aereo.

Le principali raccomandazioni

Aspetto normativo:	Raccomandazione:
Campo d'applicazione dei valori limite	I valori limite dovranno valere come sinora per tutti i locali sensibili al rumore, ma le norme per i locali che non servono a uno scopo residenziale a lungo termine dovranno essere interpretate in modo più flessibile.
Luogo di determinazione	Il luogo di determinazione del rumore dovrà d'ora in poi essere il punto più rumoroso sull'involucro dell'edificio dell'unità abitativa o d'uso da valutare (anziché il centro della finestra aperta di locali sensibili al rumore).
Descrittori acustici e livelli di valutazione	Come descrittore acustico dovrà essere impiegato L_{Aeq} per il periodo diurno e notturno o, in alternativa al L_{Aeq} , L_{den} per il periodo diurno. Le immissioni foniche dovranno essere valutate come sinora mediante un livello di valutazione L_r , composto da un descrittore acustico e da correzioni di livello.
Periodi di valutazione	Il periodo notturno dovrà ora essere esteso a 9 ore (dalle ore 22 alle ore 07); il periodo diurno si ridurrà a 15 ore (dalle ore 07 alle ore 22).

Aspetto normativo:	Raccomandazione:
	Nel caso del rumore del traffico aereo, per l'ora tra le 06 e le 07 si raccomanda ora un valore limite orario supplementare.
Gradi di sensibilità	I gradi di sensibilità devono essere mantenuti. D'ora in poi i valori limite dei gradi di sensibilità II e III dovranno essere equiparati.
Schema dei valori limite	L'attuale schema dei valori limite con VLI uniformi per tutte le diverse tipologie di rumore del traffico dovrà essere sostanzialmente mantenuto. Per i gradi di sensibilità II e III, i VLI dovranno essere fissati a 60 dB per il periodo diurno e a 50 dB per il periodo notturno. Differenze relative allo specifico tipo di rumore dovranno essere considerate, come finora, mediante correzioni di livello comprese nel livello di valutazione L_r .
Valori limite	I valori limite dovranno essere adeguati in base allo stato attuale delle conoscenze. Ne conseguiranno, a seconda del tipo di rumore, del periodo di valutazione e del grado di sensibilità, inasprimenti del VLI compresi in media tra 0 e 11 dB.

Panoramica dei lavori della Commissione

Nella prima fase del suo lavoro, la Commissione ha allestito le basi giuridiche e ha vagliato e valutato la letteratura scientifica rilevante nel campo degli effetti epidemiologici e del disturbo provocati dal rumore. Partendo da basi scientifiche, è stato stabilito un approccio sistematico e graduale per determinare i valori limite del rumore mediante le cosiddette relazioni dose-effetto.

Anzitutto, sono stati determinati dei «valori limite generici» per il rumore stradale, ferroviario e aereo, basati sui descrittori acustici L_{den} e L_{night} utilizzati nella maggior parte degli studi fondamentali e delle meta-analisi. Essi possono essere intesi come una sorta di valori limite di immissione (VLI) ai sensi della LPAmb poiché definiscono, per ognuno dei tre tipi di rumore, il livello acustico in corrispondenza del quale viene superato il limite di dannosità o di disturbo. Per la determinazione dei valori limite generici sono stati determinanti sia effetti medico somatici (malattie in senso stretto, ad es. del sistema cardiovascolare) sia fastidi e disturbi del sonno dovuti al rumore, riferiti dalle persone interpellate. Per gli effetti medico somatici e per quelli riferiti dalle persone interpellate (fastidi e disturbi del sonno indotti dal rumore), sono stati dapprima determinati valori limite distinti per ciascun tipo di rumore sulla base delle rispettive relazioni dose-effetto e in seguito è stato adottato come valore limite generico il valore ogni volta più basso.

In una fase successiva, sono stati analizzati ulteriori elementi dell'attuale metodo di valutazione del rumore ed è stato abbozzato uno schema dei valori limite, in cui i valori limite generici sono stati convertiti in valori limite d'esposizione concreti. Inoltre, sono

state sviluppate raccomandazioni per la definizione del luogo di determinazione del carico fonico, nonché per la determinazione dei periodi di valutazione, come pure per altri aspetti normativi dell'OIF.

Da ultimo, le raccomandazioni sono state confrontate con altre normative già esistenti, in particolare con gli attuali valori limite fissati nell'OIF.

Raccomandazioni relative ai valori limite

Le basi scientifiche ampiamente aggiornate, fornite negli ultimi anni e decenni dalla ricerca sugli effetti del rumore e dall'epidemiologia ambientale, raccomandano diversi adeguamenti dei valori limite nell'OIF, la cui intensità varia a seconda del tipo di rumore, del grado di sensibilità e del periodo di tempo considerato.

Per quanto riguarda il **rumore stradale**, il VLI durante il giorno e per il grado di sensibilità II rimane pressoché identico. Per il medesimo grado di sensibilità ma durante il periodo notturno, il VLI diventa più severo di 3 dB.

Per quanto riguarda il **rumore del traffico ferroviario**, si raccomanda di valutare più severamente sia il periodo diurno sia quello notturno: per il grado di sensibilità II, il VLI dovrà essere più severo di 6 dB durante il periodo diurno e di 2 dB durante il periodo notturno.

Secondo la raccomandazione, il **rumore aereo** sarà valutato in maniera più severa rispetto a quanto fatto sinora, sia di giorno sia di notte. Per il grado di sensibilità II durante il periodo diurno i valori limite saranno più severi di 6 dB. Il periodo notturno continuerà a essere valutato con valori limite per singole ore, che, per il grado di sensibilità II, saranno più severi di 1-3 dB.

Dato che per tutti i tipi di rumore trattati nel presente rapporto si raccomanda di abbassare il VLI del grado di sensibilità III portandolo al livello di quello del grado di sensibilità II, per il livello di sensibilità III risulta un inasprimento sostanziale di 5 dB rispetto allo status quo.

Raccomandazioni generali

Campo di applicazione. I locali non destinati a uno scopo residenziale a lungo termine possono essere trattati in modo più flessibile rispetto alle abitazioni per quanto concerne la validità dei valori limite e delle misure di protezione contro il rumore, purché all'interno sia garantita la protezione contro l'inquinamento fonico.

Luogo di determinazione. Come luogo di determinazione del carico fonico deve essere previsto il punto più rumoroso sull'involucro dell'edificio dell'unità abitativa o d'uso da valutare (senza considerare le aggiunte sporgenti come ad es. i balconi). Con il carico fonico nel punto più esposto al rumore s'intende indicare se in linea di massima sussiste o meno un problema di rumore e se l'impianto che provoca lo stesso deve essere risanato o meno.

Periodi di valutazione. In linea di principio, si raccomanda di estendere il periodo di valutazione notturno per tutti i tipi di rumore del traffico alla fascia oraria 22-07, e quindi a una durata di 9 ore, rispettivamente di ridurre il periodo diurno alla fascia oraria 07-22 e quindi dalle attuali 16 a 15 ore.

Grandezza di valutazione. Come grandezza di valutazione del carico fonico si raccomanda come sinora l'utilizzo di un livello di valutazione L_r . Tale livello è composto da un descrittore acustico e da correzioni di normalizzazione che tengono conto dei diversi effetti provocati dai vari tipi di rumore. Grazie a questo modo di procedere, il giudizio di valore sull'effetto indesiderato di un determinato tipo di rumore, che deve pertanto essere limitato con un valore limite, si esprime soltanto nelle correzioni di normalizzazione (indicate con K nell'OIF). In tal modo, viene ripreso un elemento essenziale dell'attuale sistema dell'OIF, adeguando le correzioni di normalizzazione allo stato attuale delle conoscenze.

Schema dei valori limite. Si raccomanda di mantenere l'attuale schema dei valori limite caratterizzato dai due periodi di tempo giorno e notte, nonché dai tre tipi di valori limite d'esposizione, ossia il valore di pianificazione, il valore limite di immissione (VLI) e il valore d'allarme (VA). Il livello di valutazione del VLI deve essere fissato in modo uniforme per tutti i tipi di rumore e le differenze di efficacia tra i tipi di rumore devono essere prese in considerazione, come finora, con correzioni di livello (K). In linea di principio, la Commissione si esprime anche a favore del mantenimento dei gradi di sensibilità. Essa riconosce tuttavia anche l'importanza di proteggere le abitazioni dal rumore in maniera uniforme. Di conseguenza, essa raccomanda di equiparare i valori limite dei gradi di sensibilità II e III per il rumore del traffico stradale, ferroviario e aereo. La Commissione raccomanda per le zone con gradi di sensibilità II e III di fissare il VLI in corrispondenza di $L_r = 60$ dB per il periodo diurno e di $L_r = 50$ dB per il periodo notturno.

Per descrivere il carico acustico durante il periodo diurno, si raccomanda di utilizzare come descrittore acustico il L_{den} con le fasce orarie 07-19, 19-22 e 22-07, oppure un livello energetico medio non ponderato sull'arco di 9 ore tra le ore 07 e le ore 22. I vantaggi e gli svantaggi di entrambe le varianti sono discussi nel rapporto. Ritenuto che i vantaggi e gli svantaggi si compensano reciprocamente, non viene formulata alcuna raccomandazione per una misura rispetto all'altra.

Quale descrittore acustico per il periodo notturno si consiglia in linea di principio un L_{night} sull'arco di 9 ore, tra le ore 22 e le ore 07. Già oggi la valutazione del rumore aereo notturno nell'OIF diverge da quella degli altri due tipi di rumore da traffico. Per quanto riguarda il rumore aereo, oltre alle tre ore notturne (22-23, 23-00 e 05-06) considerate sinora si propone ora di fissare un valore limite separato anche per l'ora compresa tra le 06 e le 07 del mattino.

Si raccomanda di stralciare dall'OIF tutte le correzioni del livello volte a tenere conto di volumi di traffico esigui. Le correzioni del livello che tengono conto di caratteristiche particolari dei rumori, come ad esempio il rumore dell'esercizio di manovra e lo stridio

delle rotaie, devono invece essere mantenute poiché non esistono indicazioni a sostegno del fatto che tali correzioni non siano giustificate nell'ottica del disturbo o degli effetti.

1 Situazione di partenza, obiettivi, modo di procedere

1.1 Situazione di partenza

I principi fondamentali dell'odierna regolamentazione vigente in materia di lotta contro il rumore sono stati sanciti con l'entrata in vigore della legge sulla protezione dell'ambiente (LPAmb, 1985) e dell'ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF, 1987). Tale regolamentazione contiene prescrizioni in materia di prevenzione contro il rumore, requisiti per la protezione contro l'inquinamento fonico in caso di nuovi impianti e per il risanamento di impianti esistenti, nonché requisiti per le zone edificabili e gli edifici con locali sensibili al rumore nelle zone esposte al rumore.

In linea di principio, la popolazione deve essere protetta dal rumore nocivo o molesto (art. 74 Cost.). Il Consiglio federale deve stabilire sotto forma di valori limite d'esposizione quali sono i rumori considerati nocivi o molesti. Questi ha adempiuto a tale mandato stabilendo i valori limite d'esposizione riportati negli allegati dell'OIF. Dall'entrata in vigore dell'ordinanza nel 1987, questi allegati contengono valori limite d'esposizione per strade, impianti ferroviari, impianti di tiro civili, impianti dell'industria e delle arti e mestieri, aerodromi militari e aerodromi civili per aeromobili di piccole dimensioni. Gli allegati disciplinano inoltre il modo in cui deve essere determinato il carico fonico rilevante. L'OIF disciplina anche dove devono essere rispettati i valori limite d'esposizione. Dal 1987 l'OIF è stata riveduta più volte e integrata con valori limite d'esposizione per altri tipi di rumore, tra cui i valori limite d'esposizione per gli aerodromi civili (aeroporti) con aerei di grandi dimensioni (2001).

Sebbene la lotta contro il rumore abbia dato buoni risultati nella protezione e nella prevenzione contro il rumore e nel risanamento di impianti rumorosi, negli ultimi anni il metodo di valutazione e i valori limite d'esposizione attualmente in vigore sono stati messi in discussione a più riprese, soprattutto nell'ambito del rumore prodotto da strade, ferrovie e aeroporti. Ciò non deve sorprendere poiché le basi scientifiche determinanti per questi valori limite d'esposizione risalgono in gran parte agli anni Settanta, Ottanta e Novanta.

La Commissione federale per la lotta contro il rumore (CFLR, di seguito denominata anche semplicemente «Commissione») e la precedente commissione (Commissione federale per la valutazione dei valori limite per le immissioni foniche) hanno finora pubblicato sette rapporti¹ contenenti raccomandazioni per i valori limite d'esposizione. I rapporti concernenti il rumore per gli impianti delle infrastrutture di trasporto (strade, ferrovie e aeroporti) risalgono in parte già a 40 anni fa. Tuttavia, si deve verificare periodicamente la conformità dei valori limite d'esposizione a suo tempo fissati alle nuove conoscenze ed esperienze scientifiche e, se necessario, tali limiti devono essere adeguati alle stesse [1]. A causa del mancato adeguamento è possibile che,

¹ Si veda <https://www.eklb.admin.ch/it/documentazione/rapporti>

nell'ambito dell'applicazione del diritto, un valore limite d'esposizione non sia più giudicato conforme alla legge, come accaduto ad esempio nel caso del rumore aereo al mattino presto nella fascia oraria 06-07.² Anche la ricerca sugli effetti del rumore ha portato a molte nuove conoscenze negli ultimi decenni. Gli sviluppi degli ultimi 30 anni circa hanno generato, da un lato, nuove conoscenze ed esperienze pratiche e, dall'altro, problemi nell'applicazione delle regolamentazioni vigenti. La necessità di una verifica dei valori limite d'esposizione stabiliti nell'OIF è pertanto indiscussa. Ciò è stato riconosciuto anche dalla CFLR e dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), che già nel 2007 ha avviato un relativo progetto per la verifica delle basi scientifiche dei valori limite d'esposizione. Tale progetto si è concluso nel 2010 con la presentazione di un rapporto sulla necessità d'intervento [2]. Anche il «Piano nazionale di misure volte a ridurre gli stimoli sonori» [3] deciso dal Consiglio federale nel 2017 ha ribadito la necessità di una tale verifica.

1.2 Lavori preliminari

La Commissione ha cominciato a riflettere su una verifica e un eventuale adeguamento dei valori limite d'esposizione per il rumore stradale, ferroviario e aereo già nel 2007 e ha continuato negli anni successivi. All'epoca, in una prima fase, nell'ambito di un ampio studio preliminare svolto da un gruppo di progetto interdisciplinare, su incarico della CFLR è stato chiarito come si fossero sviluppati i diversi ambiti inerenti al rumore (tecnica e gestione, acustica, effetti dei rumori, diritto) dall'entrata in vigore dei valori limite d'esposizione e se ne fosse conseguita una giustificata necessità di procedere a una verifica dettagliata degli stessi. Lo studio preliminare comprendeva cinque cosiddetti «Inputpapier»[4-8] e un rapporto di sintesi [2], che illustrava la necessità d'intervento. Nel rapporto di sintesi il gruppo di progetto è giunto alla conclusione che le basi empirico-scientifiche della valutazione del rumore, in particolare per quanto concerne gli effetti del rumore (fastidi, disturbi, effetti medico somatici e sociali), dovrebbero essere aggiornati.

Dopo la presentazione del suddetto rapporto di sintesi, in una seconda fase la Commissione e l'UFAM si sono occupati di concretizzare la necessità di ricerca volta a verificare ed eventualmente adeguare i valori limite d'esposizione, e a tal scopo hanno incaricato un gruppo di lavoro interdisciplinare di elaborare il relativo piano di ricerca [9]. Nel piano di ricerca, è stato considerato prioritario l'aggiornamento delle conoscenze nei seguenti ambiti tematici:

- schema delle attività, rispettivamente utilizzo del tempo da parte della popolazione svizzera (con differenziazione fra le situazioni diurna e notturna);

² Cfr. sentenza TF 137 II 58 (aeroporto di Zurigo), 22.12.2010

- effetti a lungo termine del rumore sulla salute (medico somatica o psichica) (studi epidemiologici);
- relazioni dose-effetto per il rumore del traffico in base alle ore del giorno e in relazione alla molestia e ai disturbi del sonno;
- disturbi del sonno causati dal rumore.

In seguito, questi lavori preliminari hanno funto da base per il lancio dello studio SiRENE, finanziato dal Fondo nazionale svizzero e in parte dall'UFAM. Tra il 2014 e il 2020 tale studio ha analizzato in diversi studi parziali gli effetti dell'inquinamento fonico prodotto dal traffico stradale, ferroviario e aereo sul disturbo, sul sonno e sui rischi di morbidità e di mortalità cardiovascolari e cardiometabolici in Svizzera. I risultati dello studio SiRENE sono stati pubblicati in varie riviste scientifiche specializzate.³

Oltre allo studio SiRENE, più o meno nello stesso periodo sono state elaborate, e nell'ottobre 2018 pubblicate, le «Environmental Noise Guidelines for the European Region» (Linee guida per il rumore ambientale) dell'OMS [10]. Partendo dalla letteratura scientifica relativa al periodo 2000-2014, questa pubblicazione, che ha avuto notevole riscontro, riporta direttive concrete per la protezione della salute dal rumore.

Grazie allo studio SiRENE, alle linee guida dell'OMS e ad altri studi empirici condotti nel frattempo in Svizzera e all'estero, sono ora presenti le basi su cui è possibile verificare se i valori limite d'esposizione per il rumore del traffico stradale, ferroviario e aereo soddisfano ancora i requisiti legali o se e in quale misura tali valori devono essere adeguati.

1.3 Mandato e obiettivo

L'elaborazione di proposte per i valori limite d'esposizione e, in relazione a ciò, di proposte relative al metodo di valutazione del rumore rientra tra i compiti della CFLR conformemente alla decisione d'istituzione della stessa da parte del Consiglio federale il 14 dicembre 2018.⁴

Su basi scientifiche aggiornate, da un lato, e sulle pluriennali esperienze maturate con l'esecuzione dell'OIF, dall'altro, nel presente rapporto la CFLR ha elaborato una serie di proposte sull'adeguamento dell'OIF e dei valori limite del rumore ivi definiti, al fine di soddisfare in futuro i requisiti posti dalla legge sulla protezione dell'ambiente (LPAmb).

Il presente rapporto si concentra sul **rumore del traffico stradale, ferroviario e aereo prodotto dall'aviazione civile** (senza l'aviazione di piccole dimensioni). Queste sono

³ L'elenco completo delle pubblicazioni dello studio SiRENE è disponibile all'indirizzo <http://www.sirene-studie.ch>

⁴ Consultabile all'indirizzo: <https://www.eklb.admin.ch/it/la-commissione/in-breve>

le principali fonti di rumore in Svizzera in base al numero di persone interessate e a cui, salvo indicazione contraria, ci si riferisce nell'ambito del presente rapporto. Il rapporto non tratta il rumore delle piazze di tiro civili, quello dell'industria e delle arti e mestieri, il rumore delle piazze d'armi, di tiro e d'esercitazione militari, il rumore aereo prodotto dall'aviazione militare, il rumore quotidiano o i fastidi e i disturbi provocati dagli infrasuoni.

Gli obiettivi del rapporto sono i seguenti:

- verificare se, dall'attuale stato delle conoscenze scientifiche o dell'esperienza (art. 15 LPAmb), scaturiscano indicazioni sulla necessità di effettuare modifiche degli attuali valori limite d'esposizione per il rumore del traffico stradale, ferroviario e aereo nonché del metodo di valutazione dell'OIF;
- elaborare proposte per la valutazione delle immissioni foniche, basate su criteri di salute chiaramente definiti e sullo stato attuale delle conoscenze o dell'esperienza;
- all'occorrenza, formulare raccomandazioni per adeguamenti del metodo di valutazione esistente e dei valori limite d'esposizione.

1.4 Modo di procedere generale per la determinazione dei valori limite d'esposizione

L'intera struttura normativa volta alla protezione contro il rumore del traffico stradale, ferroviario e aereo dell'OIF non contempla solo i valori limite d'esposizione in decibel, ma è molto più complessa. Per ridurre la complessità del progetto di verifica dei valori limite d'esposizione per il rumore del traffico prodotto da diverse fonti ed eventualmente proporre nuovi valori limite e relativi metodi di valutazione del rumore, il lavoro della Commissione si è articolato in diverse fasi.

In una prima fase, la Commissione ha innanzitutto esaminato le basi giuridiche e ha proceduto a un'interpretazione delle nozioni giuridiche indeterminate presenti nel diritto in materia di protezione contro il rumore (cfr. capitolo 2). La Commissione si è quindi posta il compito di determinare valori limite generici per tutti e tre i tipi di rumore del traffico (si veda il capitolo 3). A tal fine ha utilizzato descrittori acustici L_{den} (per la giornata di 24 ore) e L_{night} (per la notte) di uso comune nell'UE e nella ricerca. Con il termine «generico» s'intende che, in questa fase, viene trattata in via del tutto generale la questione sia della modalità di definizione di valori limite orientati alla protezione della salute sia del livello a cui si situano secondo criteri scientifici per poter svolgere la loro funzione di protezione dell'uomo da effetti dannosi e molesti. Questi valori limite generici hanno lo scopo di definire, per ogni tipo di rumore del traffico (strada, ferrovia,

traffico aereo), il carico acustico, espresso mediante descrittori acustici L_{den} e L_{night} , che può essere considerato «dannoso o molesto» ai sensi della legge. I valori limite generici definiscono quindi, analogamente ai VLI nell'OIF, il livello acustico in corrispondenza del quale viene superato il limite di dannosità o di disturbo.

Per stabilire i valori limite occorre in primo luogo (almeno) una relazione dose-effetto che indichi il modo in cui l'effetto cambia in caso di aumento del carico fonico (esposizione). In secondo luogo, è necessario un criterio che definisca il livello che può raggiungere il carico fonico per non essere considerato né dannoso né molesto. In quasi tutti gli studi sull'impatto del rumore, gli effetti del rumore sono analizzati per uno specifico tipo di rumore, ossia in relazione a una determinata fonte di rumore, come il rumore stradale, ferroviario o aereo. L_{den} e L_{night} sono i descrittori acustici analizzati meglio.⁵ Essi sono utilizzati sia nella direttiva UE sul rumore ambientale [11] sia nelle Environmental Noise Guidelines dell'OMS [10] e possono essere convertiti con una buona approssimazione in altri descrittori acustici, ad es. nel livello medio giornaliero su 16 ore L_{day} [12]. Inoltre, L_{den} e L_{night} costituiscono i descrittori acustici determinanti in tutta una serie di studi originali, tra cui lo studio SiRENE, e in molte meta-analisi. È pertanto opportuno concentrarsi (per il momento) su questi due descrittori acustici per determinare proprio questi valori limite generici e occuparsi solo in una seconda fase di ulteriori differenziazioni della sistematica dei valori limite ed eventualmente di una conversione in altri descrittori acustici, eventualmente più adatti per la Svizzera (si veda il capitolo 4).

In linea di massima, i valori limite generici per ogni tipo di rumore sono stati stabiliti per il carico fonico in corrispondenza del quale, *rispetto a un livello sufficientemente basso, «non critico»*, esiste un *rischio accresciuto, scientificamente provato, di effetti dannosi per la salute o molesti*. Per determinare i valori limite generici sono stati quindi determinanti sia gli effetti medico somatici e psichici, sia i disturbi causati dal rumore con le corrispondenti relazioni dose-effetto. Ciò implica che un valore limite soddisfa le prescrizioni legali soltanto se limita sia le immissioni dannose che quelle moleste. Per valutare la dannosità, la Commissione ha preso in considerazione lo stato delle conoscenze sugli effetti medico somatici e psichici. Per valutare il disturbo, la Commissione si è riferita a sondaggi fornite dalle persone interrogate e riportanti informazioni in merito al fastidio causato dal rumore così come ai disturbi del sonno indotti dal rumore.

L'attuazione delle singole fasi allo scopo di stabilire valori limite generici per lo specifico tipo di rumore (descrittori acustici L_{den} e L_{night}) è descritta nei capitoli da 3.1 a 3.7.

⁵ L_{den} è composto dal livello sonoro medio o continuo equivalente (L_{Aeq}) del giorno (07-19), della sera (19-23) e della notte (23-07). Il periodo serale e quello notturno sono sottoposti a una correzione (malus) di 5 dB o 10 dB, al fine di tenere conto dell'accresciuta sensibilità dell'essere umano al rumore in queste fasce orarie. L_{night} corrisponde al livello energetico medio equivalente durante le ore notturne (23-07). Se del caso, si applicano riferimenti temporali diversi da quelli qui indicati.

In una seconda fase, sono state esaminate le esigenze di adattamento degli elementi e degli aspetti normativi restanti nonché dell'intero metodo di valutazione dell'OIF (si veda il capitolo 4). Le analisi hanno riguardato innanzitutto il *luogo rilevante ai fini della determinazione del carico fonico*, il *descrittore acustico* e la *grandezza di valutazione* da raccomandare, i *periodi di valutazione*, la differenziazione dei *gradi di sensibilità* dal punto di vista della pianificazione del territorio, la *differenziazione tra valori di pianificazione*, *valori limite di immissione* e *valori d'allarme* e le *correzioni di livello* attualmente applicate nell'OIF. Ciò è avvenuto, da un lato, sulla base dell'attuale letteratura scientifica e di valutazioni separate dei dati dello studio SiRENE, segnatamente del sondaggio SiRENE [13, 14] (cfr. Allegato A.3), e, dall'altro, sulla base delle esperienze acquisite negli ultimi decenni con l'esecuzione dell'OIF. Partendo da queste basi, nel capitolo 5 vengono formulate raccomandazioni concrete in merito al metodo di valutazione del rumore stradale, ferroviario e aereo, allo schema dei valori limite presente nell'OIF e ai valori limite stessi.

2 Basi legali

2.1 In generale

La protezione contro l'inquinamento fonico è parte della protezione dell'ambiente, disciplinata dalla Costituzione federale (Cost.)⁶ e principalmente nella legge federale sulla protezione dell'ambiente (LPAmb). L'ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF) del Consiglio federale concretizza il quadro legale.

Nell'ambito del rumore provocato dal traffico, si deve inoltre considerare la legislazione speciale quale diritto funzionale per la protezione contro l'inquinamento fonico e, in particolare, la legge federale concernente il risanamento fonico delle ferrovie (LRFF; provvedimenti per il risanamento delle tratte ferroviarie), la legge federale sulla navigazione aerea (LNA) con l'ordinanza sull'infrastruttura aeronautica (OSIA, divieto di volo notturno)⁷ e la legge sulla circolazione stradale (LCStr) con l'ordinanza sulle norme della circolazione stradale (ONC, divieto di circolare la notte e la domenica per gli autocarri).⁸ A questi si aggiungono gli atti normativi che limitano le emissioni foniche ammesse dei veicoli e degli aeromobili.

LPAmb e OIF costituiscono il quadro giuridico per la determinazione di valori limite d'esposizione. Nel presente capitolo sono illustrati i principali elementi del piano legale di protezione contro l'inquinamento fonico e le prescrizioni della Costituzione federale e della LPAmb per la determinazione di valori limite d'esposizione. L'interpretazione di nozioni giuridiche e regolamentazioni indeterminate o che necessitano di essere interpretate ha luogo nel capitolo 2.8 e nel capitolo 3 quando vengono desunti i valori limite generici.

2.2 Obiettivo di protezione

Secondo la Costituzione federale e la LPAmb, lo scopo della protezione dell'ambiente è di proteggere l'uomo e il suo ambiente naturale, inclusi la fauna e la flora, le loro biocenosi e i loro biotopi dagli effetti dannosi o molesti.⁹ La Confederazione è tenuta e autorizzata a emanare disposizioni per raggiungere questo obiettivo.¹⁰

⁶ Cfr. art. 74 Cost.

⁷ Art. 39 OSIA

⁸ Art. 91 ONC

⁹ Cfr. art. 74 cpv. 1 Cost; art. 1 cpv. 1 LPAmb

¹⁰ Griffel [15], art. 74 n. 24; Griffel [16], pag. 10 segg.

Nell'ambito della protezione contro l'inquinamento fonico, questo obiettivo generale di protezione è limitato e concretizzato in modo tale che «la popolazione» non sia «considerevolmente disturbata».¹¹ I documenti legislativi spiegano che le persone devono essere protette da disturbi che «[...] possono condurre alla diminuzione della capacità di lavoro e della gioia di vivere, ad impedire un contatto vivificante con la natura, a precludere il senso dell'intimità, in una parola a ledere la vita privata».¹²

La LPAmb è quindi orientata alla protezione dell'essere umano (approccio antropocentrico); talvolta è anche denominata «legge sanitaria».¹³ Ciò vale in particolare per la protezione contro l'inquinamento fonico. La fauna, la flora e i loro biotopi sono tuttavia esclusi dalla protezione, soprattutto in mancanza di sufficienti conoscenze scientifiche sull'effetto del rumore su di essi.¹⁴

Al fine di proteggere efficacemente la popolazione dal rumore, si dovrebbe partire dal presupposto che l'obiettivo non comprende solo la prevenzione di disturbi immediati del benessere, ma anche ripercussioni a lungo termine sulla salute.

2.3 Bene protetto

Dall'obiettivo di protezione illustrato si desume che il bene protetto dalla lotta contro il rumore è il benessere della popolazione. Entrambi i concetti (benessere e popolazione) necessitano di interpretazione in senso giuridico e sono chiariti nel capitolo 2.8.

2.4 Piano di protezione

Il piano di protezione legale è legato alla costruzione e all'esercizio di *impianti* (infrastrutture di trasporto, costruzioni e macchine industriali e artigianali ecc.) e in caso contrario non si applica.¹⁵ La LPAmb non intende impedire attività o impianti rumorosi, bensì limitare il più possibile o mantenere sotto una determinata soglia le immissioni, ottimizzando la costruzione e l'esercizio mediante misure applicate all'impianto che emette rumore.¹⁶

¹¹ Art. 15 LPAmb

¹² Messaggio LPA 1979, FF 1979 III pag. 713

¹³ Cfr. Griffel [15]

¹⁴ Cfr. Wagner Pfeifer [17], n. marg. 450. Gli animali possono tuttavia, in determinate circostanze, essere inclusi nella protezione dell'uomo dalle immissioni foniche, cfr. sentenza TF 1C_579/2017 del 18 luglio 2018 (concernente RNI) e DTF 118 Ib 4c/bb; DTF 117 Ib 10, consid. 4.

¹⁵ Griffel [16], pag. 81 segg.

¹⁶ Griffel [16], pag. 83 e pag. 85

Per proteggere l'uomo da immissioni foniche dannose o moleste (come per altre immissioni) la LPAmb prevede un piano di protezione, che si articola su più livelli. In un primo livello, indipendentemente dall'inquinamento fonico esistente, nell'ambito della prevenzione il rumore deve essere limitato nella misura massima consentita dal progresso tecnico, dalle condizioni d'esercizio e dalle possibilità economiche. Se queste misure non sono sufficienti per rispettare i valori limite, nel secondo livello si devono inasprire le misure per garantire il rispetto dei valori limite. In caso di impianti pubblici o concessionati si applica il terzo livello: se un inasprimento delle misure fosse sproporzionato o se altri interessi fossero giudicati di maggiore importanza rispetto alla protezione contro il rumore, gli edifici interessati devono essere dotati di isolamento acustico.

2.5 Valori limite d'esposizione

Il diritto in materia di protezione contro l'inquinamento fonico prevede tre valori limite d'esposizione, fra i quali il valore limite di immissione (VLI) svolge una funzione centrale. Il valore di pianificazione (VP) (più basso) e il valore d'allarme (VA) (più elevato) sono sempre correlati al VLI.

Il VLI è stabilito nell'OIF conformemente alle prescrizioni degli articoli 13 e 15 LPAmb (in proposito cfr. il capitolo 2.6). Esso serve a valutare gli effetti dannosi o molesti nel luogo di ricezione e stabilisce la soglia di dannosità o disturbo del rumore. Il diritto fissa dunque un chiaro limite quantitativo oltre il quale il carico fonico è considerato dannoso o molesto (definizione giuridica).¹⁷ Il carico fonico provocato da rumori tecnici (rumore di veicoli, macchinari o apparecchi) può essere quantificato in modo inequivocabile, sia mediante calcolo sia mediante misurazione, e confrontato con il VLI.¹⁸

Sulla base del VLI, il Consiglio federale deve stabilire a livello di ordinanza valori di pianificazione (VP) inferiori al VLI.¹⁹ Essi concretizzano, seppur non in modo esaustivo, il principio di prevenzione.²⁰ I VP influenzano la pianificazione del territorio, in quanto devono essere rispettati per la delimitazione o l'urbanizzazione di zone edificabili,²¹ per la costruzione di nuovi impianti fissi rumorosi²² o in caso di ampie modifiche a impianti esistenti²³.

¹⁷ Schrade & Loretan [18], art. 13 N 1 seg.; Griffel [16], pag. 80

¹⁸ Schrade & Loretan [18], art. 13 N 12

¹⁹ Cfr. art. 23 LPAmb

²⁰ Cfr. ad es. DTF 141 II 476 consid. 3.3, 3.5.1; 124 II 517, consid. 4b

²¹ Cfr. art. 24 LPAmb

²² Cfr. art. 25 LPAmb

²³ Cfr. ad es. DTF 141 II 483; 133 II 181 consid. 7.2; sentenza TF 1C_10/2010 del 16.09.2010, consid. 4. Cfr. in merito alle esigenze legali in materia di protezione contro l'inquinamento fonico in caso di impianti modificati, ad es., Gossweiler [19], pag. 104 segg.; Alig & Schärmeli [20], pag. 193 segg.

A complemento, in base alla legge il Consiglio federale può stabilire valori d'allarme (VA). Questi valori sono superiori al VLI e servono a valutare l'urgenza dei risanamenti. Essi sono inoltre importanti come soglia per disporre provvedimenti d'isolamento acustico passivi²⁴ e come limite massimo per concedere facilitazioni relative all'obbligo di risanamento²⁵ per gli impianti fissi esistenti.²⁶

I valori limite di esposizione sono collegati alla pianificazione del territorio (pianificazione dell'utilizzazione) mediante gradi di sensibilità al rumore²⁷. Secondo il diritto federale, ogni zona di utilizzazione deve essere obbligatoriamente attribuita a uno dei quattro gradi di sensibilità. Ogni grado di sensibilità ha i propri VLI, VP e VA.

Il superamento dei VLI non ha conseguenze solo per gli impianti rumorosi, ma può anche impedire o limitare la costruzione di nuovi edifici con locali sensibili al rumore nei dintorni delle fonti di rumore. Giusta l'art. 22 LPAmb, possono essere concesse autorizzazioni per edifici nuovi destinati al soggiorno prolungato di persone soltanto se i VLI non sono superati. Qualora sussista un interesse preponderante rispetto alla protezione della salute della popolazione per la costruzione di nuovi edifici, con il consenso di un'autorità cantonale può essere accordata un'autorizzazione eccezionale.²⁸

2.6 Effetti del rumore determinanti

Secondo le prescrizioni della LPAmb, i VLI per il rumore «sono stabiliti in modo che, secondo la scienza o l'esperienza, le immissioni inferiori a tali valori non molestino considerevolmente la popolazione».²⁹ In questo contesto si deve «tenere conto» degli «effetti delle immissioni su categorie di persone particolarmente sensibili, come i bambini, i malati, gli anziani e le donne incinte».³⁰ Si tratta di una precisazione in merito al mandato conferito al Consiglio federale di stabilire VLI o meglio di un criterio ausiliario.³¹ Il limite della dannosità o del disturbo provocato dalle immissioni foniche è quindi posto laddove l'inquinamento fonico causa un considerevole pregiudizio al benessere della popolazione interessata.³²

La valutazione della dannosità o del disturbo provocati dal rumore si basa su un criterio oggettivo di sensibilità al rumore:³³

²⁴ Cfr. art. 20 LPAmb

²⁵ Cfr. art. 17 cpv. 2 LPAmb, relativizzato all'art. 20 cpv. 1 LPAmb

²⁶ Cfr. Griffel [16], pag. 119

²⁷ Cfr. art. 43 OIF

²⁸ Cfr. art. 22 cpv. 2 LPAmb; 31 OIF; Griffel [16], pag. 131 segg.

²⁹ Art. 15 LPAmb

³⁰ Cfr. art. 13 cpv. 2 e art. 15 LPAmb

³¹ Cfr. Griffel & Rausch [21], art. 13 n. 2

³² Zäch & Wolf [1], art. 15 n. 22

³³ Cfr. in merito a quanto segue: Zäch & Wolf [1], art. 15 n. 24 segg.; Schrade & Loretan [14], art. 13, n. 16 segg.

- il punto di partenza è l'intera popolazione; nessuna categoria di persone può essere tralasciata, fermo restando che, per natura, possono essere contemplate solo persone effettivamente esposte al rumore. In questo contesto si deve prestare attenzione alla rappresentatività dell'indagine.³⁴
- L'art. 13 cpv. 2 LPAmb contiene inoltre una prescrizione sul modo in cui, all'interno della popolazione complessiva, le diverse sensibilità delle varie categorie di persone devono essere valutate nell'ambito della determinazione dei VLI. L'obbligo di tenere in considerazione le categorie di persone particolarmente sensibili vieta di basarsi esclusivamente sulla sensibilità al rumore della popolazione media.³⁵ Il bisogno di protezione di queste categorie deve essere considerato relativamente maggiore di quello delle categorie delle persone medie o addirittura particolarmente forti, fatto che esclude ad esempio una media aritmetica.³⁶
- Nella letteratura giuridica, gli attuali VLI sono talvolta commentati in modo critico poiché non tengono sufficientemente conto dell'art. 13 cpv. 2 LPAmb. Non basta quindi orientare i VLI a una determinata percentuale di «persone fortemente molestate», ma occorre anche analizzare se la valutazione di determinate categorie di persone (particolarmente sensibili) differisce significativamente dalla media.³⁷
- Viceversa, non è possibile né giuridicamente prescritto fissare i VLI a un livello talmente basso che le immissioni di rumore non costituiscano più alcuna molestia. Non è necessario garantire una protezione assoluta contro ogni rumore.³⁸ Anche secondo la giurisprudenza del Tribunale federale non sussiste alcun diritto alla tranquillità assoluta. I disturbi secondari non sono presi in considerazione poiché le attività umane emettono di regola rumori che influiscono sulle altre persone e in tal senso deve rimanere un margine di tolleranza in cui il disturbo provocato dal rumore deve essere accettato.³⁹

La sensibilità al rumore della popolazione e il disturbo del benessere sono valutati «secondo la scienza o l'esperienza». Di conseguenza, l'entità del disturbo provocato dal rumore sulla popolazione interessata deve essere valutata, per quanto possibile, secondo metodi scientifici riconosciuti. Qualora tali metodi non siano disponibili o risultino lacune, incongruenze o ambiguità, in alternativa o in aggiunta ci si può basare sull'esperienza di esperti. È per lo più impossibile basarsi totalmente su studi scientifici

³⁴ Schrade & Loretan [18], art. 13 n. 17 segg.

³⁵ Cfr. art. 13 cpv. 2 LPAmb; Zäch & Wolf [1], art. 15 n. 25; Schrade & Loretan [14], art. 13, n. 4 e n. 19

³⁶ All'interno di queste categorie di persone particolarmente sensibili si deve a sua volta applicare un criterio oggettivo e basarsi perlomeno sul bisogno di protezione medio di tale categoria (cfr. Schrade & Loretan [18], art. 13 n. 19).

³⁷ Cfr. Schrade & Loretan [18], art. 13 n. 24 [18]

³⁸ Cfr. Messaggio LPA 1979, FF 1979 III pag. 759

³⁹ Cfr. Messaggio LPA 1979, FF 1979 III pag. 759; Zäch & Wolf [1], art. 15 n. 23

nella determinazione di valori limite d'esposizione differenziati, che tengano conto di tutti gli effetti rilevanti del rumore.⁴⁰

Nell'ambito della ricerca sugli effetti del rumore, la nozione giuridica di «considerevole molestia» è spesso descritta con «forte disturbo». Per concretizzare questa nozione giuridica indeterminata, la dottrina e la giurisprudenza rinviando ogni volta alle riflessioni svolte nel corso della prima determinazione dei VLI, a seguito delle quali i VLI sono stati fissati in modo tale che, in corrispondenza di un determinato carico fonico, non più del 15-25% delle persone interessate si definiva «fortemente molestata».⁴¹ Al di sotto di questa soglia di considerevole molestia, la legge ammette a priori un certo grado di molestia causato alla popolazione.⁴²

Secondo il principio di un approccio olistico sancito dal diritto ambientale, gli effetti devono essere valutati sia singolarmente sia globalmente e in base alla loro azione congiunta.⁴³ I VLI devono pertanto permettere di valutare il carico complessivo. Da questo punto di vista si deve tenere conto del carico fonico complessivo percepito nel luogo d'impatto, indipendentemente dal tipo di impianti che causano il rumore (tipi di rumore).⁴⁴ In tal modo si considerano gli effetti della combinazione. Tuttavia, spesso mancano basi affidabili in proposito per poter rilevare, nell'ambito della determinazione dei VLI, tali effetti in caso di impatti simili (più fonti/tipi di rumore) o addirittura di impatti di natura diversa (ad es. inquinamento acustico e atmosferico).⁴⁵ In ogni caso, l'art. 40 cpv. 2 OIF stabilisce, ai sensi di un approccio olistico, che i valori limite d'esposizione sono superati anche quando la somma delle immissioni foniche dello stesso genere provenienti da più impianti li supera.

2.7 Campo d'applicazione e luogo di determinazione del carico fonico

Secondo l'obiettivo di protezione della LPAmb, i VLI devono essere applicati ovunque gli oggetti protetti siano interessati da immissioni.⁴⁶ La legge non contiene tuttavia una regolamentazione esplicita del campo d'applicazione o del luogo di determinazione determinanti; si devono però osservare le prescrizioni che si riferiscono ai valori limite (soprattutto gli articoli 20-22, 24 e 25 LPAmb).

⁴⁰ Cfr. Zäch & Wolf [1], art. 15 n. 27

⁴¹ Cfr. ad es. DTF 126 II 522 consid. 42 pag. 575; Schrade & Loretan [18], art. 13 n. 24; Zäch & Wolf [1], art. 15 n. 26, stabiliscono tuttavia che la quota delle persone fortemente disturbate dal rumore è stata mantenuta al 20-30%.

⁴² Cfr. Schrade & Loretan [18], art. 13 n. 14

⁴³ art. 8 LPAmb; Griffel [16], pag. 44

⁴⁴ Cfr. Zäch & Wolf [1], art. 15 n. 29

⁴⁵ Zäch & Wolf [1], art. 15 n. 29; Griffel [16], pag. 44; Schrade & Loretan [18], art. 13 n. 14a; cfr. anche DTF 121 I 334 consid. 11/b/aa

⁴⁶ Schrade & Loretan [18], art. 13 n. 14b

Il campo d'applicazione è definito concretamente soltanto a livello di ordinanza. Giusta l'art. 41 OIF, nelle zone edificate, i valori limite d'esposizione al rumore (ossia sia i VLI che i VP e i VA) sono applicabili agli edifici con locali sensibili al rumore.⁴⁷ Essi sono applicabili, nelle zone edificabili non ancora edificate, dove secondo il diritto di costruzione e di pianificazione possono sorgere edifici con locali sensibili al rumore e, in generale, nelle aree non edificate delle zone che richiedono una protezione fonica più elevata (s'intendono zone alle quali è attribuito il grado di sensibilità I ai sensi dell'art. 43 cpv. 1 lett. a OIF). I valori limite d'esposizione devono essere rispettati solo laddove si applicano secondo l'art. 41 OIF.⁴⁸

Nelle zone già edificate, le immissioni foniche devono essere determinate al centro delle finestre aperte dei locali sensibili al rumore; le immissioni foniche degli aeroplani possono essere determinate anche in prossimità dell'edificio. Nelle zone edificabili non ancora edificate, le immissioni foniche devono essere determinate nel luogo dove, in base al diritto di costruzione e alla pianificazione, potranno sorgere edifici con locali sensibili al rumore.⁴⁹

Il carico fonico ammesso è quindi esattamente quello che influisce sull'edificio. Stabilendo come luogo di determinazione il centro della finestra aperta non s'intendono proteggere da un carico fonico superiore ai VLI solo gli edifici o gli spazi interni in caso di finestre aperte, ma indirettamente anche gli immediati dintorni (balconi, terrazze, giardini antistanti ecc.) in quanto luoghi in cui le persone soggiornano per un periodo prolungato e sono esposte al rumore.⁵⁰

Dal punto di vista temporale, gli allegati dell'OIF distinguono (dapprima) tra valori limite diurni e notturni; inoltre per ogni tipo di rumore, è definita in modo specifico anche la durata del giorno e della notte. Per motivi di praticabilità, la (allora) Commissione si è discostata dalla tripartizione inizialmente proposta in ore diurne, serali e notturne.⁵¹ In tale contesto, il Tribunale federale ha stabilito che, nell'ambito di una valutazione caso per caso del rumore, si deve assolutamente tener conto dell'accresciuto bisogno di riposo serale della popolazione.⁵²

⁴⁷ I locali sensibili al rumore sono definiti all'art. 2 cpv. 6 OIF: i locali delle abitazioni, tranne le cucine senza tinello, i servizi e i ripostigli e i locali delle aziende nei quali persone soggiornano regolarmente per un periodo prolungato. Sono eccettuati i locali nei quali si tengono animali da reddito e i locali con notevole rumore aziendale.

⁴⁸ Gossweiler [19], n. marg. 139

⁴⁹ Art. 39 cpv. 1 e 3 OIF. Nelle zone non edificate di zone che richiedono una protezione fonica più elevata, le immissioni foniche devono essere determinate ad 1,5 m dal suolo (cfr. art. 39 cpv. 2 OIF).

⁵⁰ Cfr. DTF 142 II 100; Zäch & Wolf [1], USG-Kommentar, art. 15 n. 38; A. Schrade (su incarico della CFLR): Ratio legis del luogo della determinazione delle immissioni foniche negli edifici [Ratio legis des Orts zur Ermittlung von Lärmimmissionen bei Gebäuden] (<https://www.eklb.admin.ch/de/dokumentation/berichte/>).

⁵¹ Cfr. Griffel & Rausch [21], art. 15 n. 21

⁵² Sentenza TF 1A.139/2002 del 5.3.3003, consid. 4.1

2.8 Interpretazione di nozioni giuridiche indeterminate

Come è emerso chiaramente dai capitoli precedenti, le prescrizioni legali per la determinazione concreta dei VLI sono formulate in maniera relativamente aperta e necessitano quindi di interpretazione. Le regolamentazioni legali sono in parte caratterizzate da nozioni giuridiche indeterminate («benessere», «popolazione», «non molestato considerevolmente», per citarne solo alcune). Ne risulta un certo margine di interpretazione, che deve essere concretizzato nell'ottica dell'obiettivo di protezione o dello scopo della protezione contro il rumore, nonché in base allo stato attuale della scienza o dell'esperienza; questo è quanto ci si appresta a fare qui di seguito. In questo contesto occorre interpretare i termini «dannoso e molesto», «scienza ed esperienza», «benessere» e «popolazione» ecc., utilizzati nelle disposizioni legali, in modo tale da tenere conto del contenuto materiale dell'art. 15 LPamb e delle altre norme rilevanti della LPamb.

2.8.1 Dannosità e molestia (art. 74 Cost., artt. 1 e 13 LPamb)

Per quanto riguarda i termini «dannoso» e «molesto», il presente rapporto si basa sulla seguente interpretazione:

- Gli *effetti dannosi* colpiscono la salute umana (di seguito «salute medico somatica e psichica») o provocano danni all'ambiente naturale, indipendentemente dal fatto che siano percepiti come molesti o fastidiosi.
- Gli *effetti molesti* pregiudicano l'esistenza e la qualità di vita dell'essere umano, anche se tali effetti non provocano necessariamente conseguenze patologiche manifeste.

Gli effetti dannosi o molesti possono quindi essere non solo di natura fisica ma anche, ad esempio, di natura sociale. La definizione di salute dell'OMS [22], che viene qui ripresa, tiene conto di questa circostanza.⁵³ Dal punto di vista giuridico, sussistono immissioni foniche dannose o moleste quando gli effetti del rumore comportano svantaggi diretti per la salute medico somatica o psichica (ad es. danni all'udito, disturbi del sonno con le loro conseguenze, disturbi del sistema cardiovascolare, depressioni ecc.) o per il benessere mentale o sociale, come ad esempio disturbi della tranquillità e del riposo, pregiudizi alla comunicazione o disturbo della concentrazione in caso di lavori intellettuali.⁵⁴

⁵³ Secondo la Costituzione dell'OMS del 1946: «La sanità è uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, e non consiste solo in un'assenza di malattia o d'infermità.»

⁵⁴ Zäch & Wolf [1], art. 15 n. 16 segg.

2.8.2 Scienza ed esperienza (art. 15 LPAmb)

I valori limite, in particolare il VLI, al cui raggiungimento si deve supporre che «la popolazione sia considerevolmente molestata», devono basarsi su un nesso comprovato tra un determinato carico acustico e un disturbo o fastidio percepito soggettivamente o un effetto sulla salute oggettivamente dimostrabile. Il nesso può essere determinato con metodi scientifici. La Commissione ammette tuttavia quale supporto anche l'esperienza di esperti, soprattutto nei casi in cui mancano dati e analisi raccolti sistematicamente.

L'imperativo di un approccio scientifico per la giustificazione dei valori limite è incontestato. Gli effetti del rumore determinanti devono pertanto essere accertati mediante sondaggi rappresentativi condotti presso la popolazione e altre indagini (p. es. studi epidemiologici ambientali).

I VLI sono determinati *secondo la scienza o l'esperienza*. Ciò richiede in linea di principio anche una verifica periodica ed eventualmente un adeguamento dei valori limite se sussistono seri motivi per ritenere che gli stessi non corrispondano più allo stato attuale delle conoscenze scientifiche o dell'esperienza.

2.8.3 Benessere (art. 15 LPAmb)

Il *benessere* della popolazione comprende il benessere psichico, fisico e sociale dell'uomo quale base per il suo sviluppo indisturbato, le sue prestazioni e la sua gioia di vivere e non significa affatto solo l'assenza di malattia e infermità (cfr. nota a piè di pagina 53). Ritenuto che il disturbo del benessere comprende dunque sia il danno alla salute in stretto senso medico sia il (semplice) fastidio, i VLI devono essere definiti in modo da garantire la protezione da entrambi, ossia dai danni alla salute e dai fastidi.

Tuttavia, sono determinanti solo disturbi *considerevoli* del benessere della popolazione; esistono pertanto dei limiti entro i quali determinati disturbi o fastidi devono essere tollerati. I disturbi del benessere che la Commissione ritiene considerevoli sono illustrati nel capitolo 3.5 per le diverse ripercussioni sulla salute.

2.8.4 Popolazione (vs. individuo) (art. 15 LPAmb)

La Costituzione federale (Cost.) prescrive che la Confederazione emani prescrizioni sulla protezione dell'uomo da effetti nocivi o molesti (art. 74 Cost.). Anche all'art. 1 cpv. 1 LPAmb la protezione dagli effetti dannosi o molesti è riferita, tra l'altro, all'uomo.⁵⁵ Mentre nei criteri per la determinazione dei valori limite delle immissioni

⁵⁵ «Scopo della presente legge è di proteggere l'uomo, la fauna e la flora, le loro biocenosi e i loro biotopi dagli effetti dannosi e molesti, e di conservare in modo duraturo le basi naturali della vita, in particolare la diversità biologica e la fertilità del suolo.»

per inquinamenti atmosferici all'art. 14 LPAmb si utilizza anche il termine «uomo», nei criteri per la determinazione dei valori limite delle immissioni per il rumore all'art. 15 LPAmb si fa riferimento alla «popolazione».⁵⁶ Si pone dunque la domanda se la protezione contro l'inquinamento fonico debba o possa essere concepita in modo tale che la popolazione goda *in media* della protezione auspicata o se ogni singolo uomo in qualità di individuo debba in linea di massima beneficiare di un livello minimo di protezione. Nel primo caso sarebbe possibile che una determinata quota di persone sia protetta meglio di un'altra, tuttavia l'obiettivo di protezione della popolazione sarebbe - in media - raggiunto.⁵⁷ L'interpretazione delle basi legali (ad es. «protezione dell'uomo» [art. 74 cpv. 1 Cost.] anziché «della popolazione», «scopo della presente legge è di proteggere l'uomo [...]» [art. 1 cpv. 1 LPAmb] e non «la popolazione», protezione di singoli categorie di persone [art. 13 cpv. 2 LPAmb]) permette tuttavia di concludere che la protezione da effetti dannosi o molesti deve essere intesa individualmente e che tutti gli esseri umani hanno diritto alla stesso grado minimo di protezione. Il livello a cui si deve fissare tale protezione o un relativo valore limite, dovrà tuttavia essere stabilito sulla base dell'uomo medio o appunto di una popolazione media.

⁵⁶ «I valori limite delle immissioni per il rumore e le vibrazioni sono stabiliti in modo che, secondo la scienza o l'esperienza, le immissioni inferiori a tali valori non molestino considerevolmente la popolazione.»

⁵⁷ Ciò avviene ad esempio nel caso dell'indice di rumore dell'aeroporto di Zurigo (ZFI), in cui il numero di «persone considerevolmente molestate e affette da disturbi del sonno» è addizionato a un indice, che viene confrontato con un valore indicativo. Anche se questo indice è inferiore al valore indicativo stabilito, si può presumere che una parte della popolazione subisca un carico considerevolmente maggiore (ad es. mediante la canalizzazione del traffico aereo).

3 Determinazione di valori limite generici per i descrittori acustici L_{den} e L_{night}

Uno strumento centrale per la determinazione di valori limite sono le cosiddette *relazioni dose-effetto* determinate in studi empirici, che creano una relazione quantitativa tra il carico fonico causato dal rumore (qui espresso nei descrittori acustici L_{den} e L_{night}) e l'effetto indesiderato che ne deriva. Le relazioni dose-effetto sono individuate in studi originali o anche in meta-analisi con metodi statistici e possono di norma essere formalizzate matematicamente come funzioni dose-effetto. Mediante criteri precedentemente stabiliti (ad es. «grado del fastidio acustico massimo accettabile» o «rischio massimo ammissibile per l'infarto cardiaco») dalle stesse è possibile determinare valori limiti. Nella definizione di questi criteri si è posto l'accento sui VLI.

Per determinare i valori limite generici, la Commissione ha optato per un approccio sistematico, possibilmente non basato su valutazioni. Il metodo di determinazione dei valori limite applicato in questa prima parte si basa principalmente sulla metodologia dell'OMS per lo sviluppo delle Environmental Noise Guidelines [10] ma con degli adattamenti in alcuni punti.

Le singole fasi per la definizione di valori limite generici riferiti agli descrittori acustici L_{den} e L_{night} sono state le seguenti:

- Fase 1:** determinazione degli effetti del carico fonico rilevanti per la salute (in seguito denominati «punti finali»), che devono essere limitati (ad es. fastidio, disturbi del sonno, rischio di infarto cardiaco, rischio di malattie cardiovascolari ecc.).
- Fase 2:** determinazione dei fattori di ponderazione (Disability Weight, DW) per gli effetti definiti nella fase 1. I DW servono a caratterizzare il grado di gravità di malattie e infermità, consentendo di ponderare i punti finali.
- Fase 3:** definizione di requisiti minimi per la qualità degli studi scientifici determinanti per la definizione di valori limite generici.
- Fase 4:** scelta, per ciascun tipo di rumore, degli studi originali o delle meta-analisi relative ai descrittori acustici L_{den} e L_{night} che soddisfano i criteri della fase 3.
- Fase 5:** definizione di rischi accettabili per ogni punto finale, tenendo conto del rispettivo DW.
- Fase 6:** determinazione delle relazioni dose-effetto per ogni punto finale e derivazione di valori soglia del carico fonico specifici per punto finale, tenendo conto del rischio di volta in volta accettabile.
- Fase 7:** definizione di valori limite generici riferiti ad ogni tipo di rumore (stradale, ferroviario, aereo) per L_{den} e L_{night} sulla base dei valori soglia specifici per punto finale e individuati nella fase 6.

L'attuazione concreta delle singole fasi allo scopo di definire i rispettivi valori limite generici per il rumore del traffico stradale, ferroviario e aereo è descritta nei seguenti capitoli da 3.1 a 3.7.

3.1 Fase 1: determinazione degli effetti rilevanti per la salute

In questa fase sono illustrate le conseguenze sulla salute dell'esposizione al rumore considerate rilevanti, al fine di raccomandare valori limite sulla base di corrispondenti relazioni dose-effetto. Con «conseguenze sulla salute» non s'intendono solo malattie fisiche o psichiche diagnosticate da un medico (ad es. pressione alta, infarto cardiaco, diabete, depressione) e i decessi ma, conformemente alla definizione dell'OMS di salute, anche pregiudizi al benessere mentale e sociale, tra cui si annovera in particolare anche il mero fastidio provocato dal rumore.

L'approccio applicato finora in Svizzera per stabilire i valori limite partiva dal presupposto che i fastidi durante il giorno e i disturbi del sonno di notte fossero rappresentativi di tutti gli altri eventuali effetti dannosi per la salute e che la protezione da questi effetti principali proteggesse anche da altri impatti del rumore sulla salute. Ad esempio, finora si presumeva che, di regola, durante il giorno, il rumore potesse causare effetti medico somatici o psichici sulla salute solo se si fosse osservato anche un disturbo dovuto a tale rumore. Di conseguenza, si considerava il disturbo come l'effetto determinante del rumore [1]. La questione rilevante ai fini della determinazione dei valori limite è tuttavia se tale presupposto sia ad oggi ancora giustificato o se gli effetti medico somatici possano manifestarsi già a livelli inferiori rispetto a quelli dei disturbi. Diversi studi confermano nel frattempo che gli effetti del rumore si manifestano anche in persone che non si sentono disturbate.

Esistono indicazioni empiriche sugli effetti sulla salute dovuti all'esposizione al rumore per i seguenti punti finali [con alcuni riferimenti bibliografici]:

- molestia dovuta al rumore [13, 23];
- disturbi del sonno (ad es. difficoltà ad addormentarsi e a rimanere addormentati, risvegli, disturbi del sonno indotti dal rumore riferiti dalle persone interpellate) [14, 24];
- malattie cardiovascolari (ad es. pressione alta, cardiopatia ischemica [IHD, dall'inglese Ischaemic Heart Disease], infarti cardiaci, ictus [25-28]);
- mortalità cardiovascolare [29-31];
- malattie metaboliche e loro precursori, ad es. diabete, sovrappeso, obesità [27, 32-34];
- malattie psichiche, ad es. depressione [35-37];

- ripercussioni cognitive (soprattutto ripercussioni sul comportamento di apprendimento nei bambini) [38-40];
- sintomi subclinici, come un'accresciuta rigidità vascolare arteriosa [41], elevati livelli di zuccheri nel sangue [42], un'accresciuta pressione sanguigna [43], nonché una disfunzione endoteliale [44].

Nei prossimi anni ci si deve attendere l'esame di ulteriori punti finali. Sussistono infatti già alcune indicazioni, seppur non certe, di malattie delle vie respiratorie e tumorali legate al rumore.

Per le categorie di effetti elencate di seguito è stato possibile identificare basi empiriche sufficienti:

- a) disturbo;
- b) disturbi del sonno indotti dal rumore riferiti dalle persone interpellate;
- c) malattie del sistema cardiovascolare (compresi i decessi che ne derivano) e diabete.

Queste categorie di effetti sono ritenute rilevanti ai fini della determinazione dei valori limite per la protezione della salute e del benessere e sono trattate più in dettaglio nei capitoli seguenti.

3.1.1 Molestia

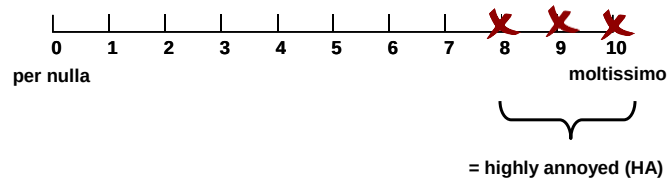
Con il termine «molestia» s'intendono reazioni agli effetti del rumore che possono compromettere il benessere mentale, il riposo e il rilassamento, la capacità di lavoro e concentrazione, nonché la comunicazione e l'interazione sociale. La molestia da rumore può essere definita come «una miscela di lieve rabbia dovuta al fatto che si deve sentire qualcosa che non si vuole sentire, che si è disturbati durante un'attività e che si è relativamente impotenti nei confronti della sorgente» [45]. Essa può quindi essere inteso come un effetto del rumore che, pur non avendo una natura patogena dimostrabile (che causa malattie), pregiudica tuttavia comunque il benessere di una persona.

La molestia da rumore è un indicatore relativamente ampio dell'effetto sonoro percepito in maniera negativa ed è correlato relativamente bene con il livello sonoro equivalente (L_{eq}) [46].

Nella ricerca sugli effetti del rumore si è sviluppato uno standard per rilevare la molestia causata dal rumore in sondaggi con una scala a più livelli e per designare come «persone fortemente infastidite» (HA, per «highly annoyed») la quota di persone che indicano i livelli superiori in una scala della molestia presentata in forma verbale o scritta, ad es. mediante le cosiddette scale ICBEN [47] (si veda la figura 1). Secondo l'opinione corrente, una persona è dunque fortemente molestata o infastidita (ossia «HA») se, in un sondaggio, su una scala numerica della molestia di 11 punti (con i

valori 0-10) indica i valori 8, 9 o 10 o i due valori massimi della scala («fortemente» ed «estremamente» [... disturbata o infastidita]) sulla scala ICBEN di 5 punti [47], fermo restando che negli studi svizzeri sugli effetti del rumore relativi ai valori limite svolti sinora [48-54] è stata quasi sempre applicata la scala di 11 punti.

Ripensando agli ultimi dodici mesi, quale valore da 0 a 10 rappresenta meglio la molestia o il fastidio da lei percepiti in relazione al rumore del <fonte di rumore>? (cerchiare il numero che meglio corrisponde alla sua situazione)



Ripensando agli ultimi dodici mesi, in che misura si è sentito infastidito o molestato dal rumore del <fonte di rumore>?



Figura 1: scala numerica di 11 punti e scala verbale ICBEN di 5 punti con relativa domanda concernente la molestia secondo [47]. Le persone che appongono una crocetta su una delle tre categorie numeriche superiori della scala di 11 punti o su una delle due indicazioni verbali superiori della scala di 5 punti sono considerate «fortemente infastidite» secondo le convenzioni correnti («highly annoyed» risp. «HA»).

In linea con l'ampia definizione di salute dell'OMS, si è deciso di tenere in considerazione il punto finale "molestia" e di considerare la **percentuale delle persone fortemente molestate (%HA)** come indicatore degli effetti del rumore.

3.1.2 Disturbi del sonno

Il sonno svolge un ruolo fondamentale nel riposo ed è un presupposto necessario per il mantenimento a lungo termine della salute. Il sonno promuove la plasticità neuronale e salvaguarda la capacità cognitiva, partecipa in maniera determinante al consolidamento della memoria e alla regolazione dell'umore, e svolge un ruolo importante nei processi fisiologici, come il metabolismo, la regolazione dell'appetito o la funzione immunologica e ormonale [55].

Mentre durante il sonno gli stimoli ottici possono essere praticamente esclusi chiudendo le palpebre, l'udito è limitato solo in misura esigua. Il rumore pregiudica quindi il sonno sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. I disturbi del sonno indotti

dal rumore possono essere descritti con una serie di indicatori. Nella valutazione sanitaria dei disturbi del sonno causati dal rumore, finora un ruolo importante è stato attribuito all'arousal (aumento dell'attivazione a breve termine dell'EEG), ai risvegli (evidenziati dall'EEG), alla durata di permanenza nelle singole fasi del sonno, nonché alla valutazione della qualità del sonno riferita dalle persone interpellate (ad es. tramite questionario⁵⁸). Oltre a rilevazioni tramite questionario per determinare la percentuale delle persone con un sonno fortemente disturbato (in inglese «highly sleep disturbed» o «HSD»), si applicano anche descrittori acustici di disturbi notturni individuati in maniera oggettiva (ad es. derivati da analisi polisonnografiche) o cosiddetti risvegli segnalati.

L'individuazione di relazioni dose-effetto rappresentative e largamente applicabili è più difficile applicando i cosiddetti metodi di rilevamento *obiettivi* (ad es. risvegli EEG misurati con polisonnografia) rispetto al rilevamento del sonno disturbato riferito dalle persone interpellate. Gli studi sugli effetti fisiologici del rumore sul sonno, e in particolare gli esami polisonnografici, sono complessi e richiedono risorse elevate, motivo per cui comprendono sempre solo un numero limitato di soggetti testati, che sono inoltre spesso giovani volontari sani, quindi non rappresentativi dell'intera popolazione (cfr. ad es. [56]). Questi effetti non sono pertanto neppure idonei per la determinazione di un valore limite generico notturno. Quindi per il presente rapporto sono stati presi in considerazione solo studi su disturbi del sonno riferiti dalle persone interpellate e si è fatto ricorso alla **percentuale di persone che hanno riferito di avere un sonno fortemente disturbato (%HSD)** quale indicatore degli effetti del rumore sul sonno.

3.1.3 Malattie del sistema cardiovascolare, mortalità cardiometabolica, diabete

Una molteplicità di studi epidemiologici indica che un persistente ed elevato carico fonico può provocare chiari effetti medico somatici o psichici sotto forma di malattie croniche che possono portare fino al decesso. Di questi effetti sono state finora esaminate nell'epidemiologia del rumore soprattutto le malattie cardiovascolari e quelle relative al metabolismo [27]. In generale, tra le cause principali degli effetti a lungo termine del rumore si annovera la stimolazione cronica e ripetuta del sistema nervoso simpatico, che comporta ad esempio aumenti della pressione arteriosa causata dalla vasocostrizione o aumenti del battito cardiaco, nonché una sovrattivazione dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrene (asse HPA) con conseguenti potenziali disturbi ormonali e relative ripercussioni sul metabolismo ed il sistema cardiovascolare. Generalmente, queste ripercussioni possono essere ritenute una conseguenza dello stress. In linea di principio, le suddette reazioni si manifestano anche nel sonno e si presume che il

⁵⁸ Nella maggior parte dei casi, a tal fine si utilizza anche una scala ICBEN leggermente adattata dal punto di vista linguistico, come ad es. in [14].

periodo notturno possa addirittura essere, rispetto al giorno, il periodo più importante per l'insorgere di effetti a lungo termine causati dal rumore [57]. Sebbene i meccanismi delle ripercussioni croniche del rumore sul sistema cardiovascolare e sul sistema metabolico non siano ancora stati pienamente compresi, la letteratura scientifica [58-60] descrive diverse catene causa-effetto plausibili.

Per i tre punti finali **mortalità cardiovascolare, cardiopatia ischemica (IHD) e diabete** ad oggi sussistono solide evidenze empiriche di un nesso con il carico fonico. La Commissione ha pertanto deciso di tener conto di questi tre punti finali nella determinazione dei valori limite.

3.1.4 Riassunto

Gli effetti e i punti finali concreti presi in considerazione per la determinazione dei valori limite sono riassunti nella tabella 1.

Tabella 1: effetti e punti finali presi in considerazione per determinare i valori limite generici

Periodo/i di tempo determinante/i	Effetto rilevante per la salute / punto finale	Metodo di rilevamento	Osservazioni
Giorno di 24 o 16 ore	Molestia da rumore (%HA)	Riferito dalle persone interpellate e determinato sulla base delle scale di valori ICBEN	Ampie fasce della popolazione interessate dall'effetto, buone basi empiriche, disponibili dati svizzeri
Notte di 8 ore	Disturbi del sonno indotti dal rumore (%HSD)	Riferito dalle persone interpellate e determinato sulla base delle scale di valori	Ampie fasce della popolazione interessate dall'effetto, buone basi empiriche, disponibili dati svizzeri
Giorno di 24 ore	Decesso cardiovascolare, decesso causato da infarto cardiaco	Statistica delle cause di morte o studio di coorte	Elevata obiettività, effetto grave, disponibili dati provenienti da tutta la Svizzera
	Cardiopatia ischemica (IHD)	Diagnosticata clinicamente, studio di coorte o trasversale	Elevata obiettività, effetto grave, effetto con il punto finale più accertato rispetto a tutti quelli cardiovascolari, molti studi internazionali disponibili al riguardo
	Diabete di tipo 2	Diagnosticato clinicamente, studio di coorte o trasversale	Elevata obiettività, elevata prevalenza in Svizzera, disponibili dati svizzeri

I valori limite basati su questi effetti consentono, in linea di principio, di raggiungere l'obiettivo della protezione della salute e della protezione contro i fastidi e i disturbi del sonno indotti dal rumore. Gli effetti citati dovrebbero essere sufficientemente sensibili da includere anche altri effetti del rumore non direttamente considerati, ma rilevanti per la salute. Tra questi si annoverano, ad esempio, ripercussioni sulla pressione sanguigna e su diversi altri parametri fisiologici, ma anche sulla capacità cognitiva, la salute psichica, la qualità generale della vita ecc. Queste categorie di effetti non sono direttamente prese in considerazione per la determinazione dei valori limite, per vari motivi, ad esempio in quanto la qualità delle basi scientifiche è insoddisfacente, poiché non esistono studi svizzeri affidabili o perché, dovendo tracciare una linea tra cosa appare o non appare ancora accettabile, è quasi impossibile interpretare l'effetto del rumore in questione (ad es. un ritardo nell'apprendimento della lettura a causa del rumore ambientale nelle scuole).

3.2 Fase 2: determinazione dei Disability Weight (DW)

La ricerca sugli effetti del rumore analizza e quantifica l'impatto del rumore su una molteplicità di ripercussioni sulla salute, indipendentemente dalla loro gravità. Per determinare valori limite basati su diversi punti finali, gli effetti dovrebbero essere ponderati in funzione della loro gravità relativa. Tali ponderazioni possono quindi essere prese in considerazione quando si valuta quanto dovrebbe essere «stretto» un valore limite per proteggere da effetti indesiderati sulla salute (più stretto, ossia inferiore, in caso di ripercussioni gravi, meno stretto in caso di ripercussioni insignificanti) risp. quale rischio di ripercussioni sulla salute può ancora essere considerato accettabile e quale non può più esserlo. Un tale strumento sono i cosiddetti Disability Weight (DW). Essi rispecchiano la gravità di malattie e disabilità su una scala variante da 0 a 1, dove il valore 0 corrisponde alla piena salute e il valore 1 al decesso. Quindi, ad esempio, nella letteratura attuale il DW è stato fissato a 0.05 [61] per il diabete semplice, a 0.4 [62] per la sindrome depressiva unipolare e a 0.18 [63] per la cecità. Finora i DW sono stati utilizzati soprattutto per il calcolo dei Disability Adjusted Life-Years (DALY) del Global Burden of Disease (GBD) dell'OMS⁵⁹ e per i calcoli basati su di essi, ad esempio per la Svizzera [64].

In relazione agli effetti del rumore rilevanti per la salute come base per la determinazione dei valori limite, l'applicazione dei DW non è semplice. Nella relativa letteratura scientifica, ad esempio, per alcuni degli effetti del rumore solitamente esaminati, come la pressione alta, non esistono del tutto DW pubblicati. In merito alla gravità dei fastidi e dei disturbi del sonno indotti dal rumore vige grande incertezza. Finora, in nessuno studio empirico sistematico sono mai stati individuati DW per la molestia e i disturbi

⁵⁹ Si veda https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/en

del sonno causati dal rumore. Nelle due ad oggi più importanti pubblicazioni dell'OMS nell'ambito del rumore ambientale degli ultimi dieci anni è stato fissato un DW di 0.02 per elevata molestia (HA) e un DW di 0.07 per gravi disturbi del sonno (HSD) [10, 65]. Per alcuni degli effetti esaminati in studi epidemiologici di coorte o trasversali, come l'ictus o l'infarto cardiaco, i DW assegnati presentano un intervallo molto ampio poiché, ad esempio, la gravità può cambiare rapidamente nel corso dei giorni (esempio: infarto cardiaco acuto: DW = 0.432; infarto cardiaco dopo il terzo giorno e circolazione stabile: DW = 0.074). A questo punto occorre segnalare che i DW, a seconda del punto finale, presentano un grado d'incertezza più o meno elevato e si può pertanto ricorrere agli stessi solo come indicazione approssimativa per il confronto della gravità dei diverse effetti del rumore.

La tabella A.T.1 (nell'Allegato A.1) indica i DW riportati nella relativa letteratura per i punti finali, che sono rilevanti per quanto attiene agli effetti del rumore. La tabella 2 elenca i valori di DW utilizzati nel presente rapporto.

Tabella 2: Disability weight (DW) per ciascun punto finale esaminato

Punto finale	Disability weight (DW)	Provenienza / riferimento nella bibliografia
HA (forte molestia)	0.020	Questo valore è utilizzato dall'OMS nelle nuove Environmental Noise Guidelines [10].
HSD (forti disturbi del sonno, indotti dal rumore)	0.070	Questo valore è utilizzato dall'OMS nelle nuove Environmental Noise Guidelines [10].
IHD (cardiopatía ischemica)	0.405	Il DW per l'IHD è stato ripreso dall'OMS (2018) [10].
Mortalità cardiovascolare	1.000	Ai decessi è assegnato per definizione un DW di 1.
Diabete (incidenza)	0.049	Il DW è stato ripreso dal Global Burden of Disease Study (2016) [61].

3.3 Fase 3: definizione di requisiti minimi per la qualità degli studi scientifici presi in considerazione

Per tenere in considerazione gli studi sull'effetto del rumore documentati nella letteratura scientifica sono stati definiti i seguenti requisiti:

- I punti finali esaminati in uno studio sono presi in considerazione solo se sussiste un'evidenza scientifica certa di un nesso con il rumore e se l'ipotesi di un nesso causale è plausibile.

- Per uno specifico punto finale, la letteratura scientifica documenta in modo sufficientemente dettagliato, in studi originali o in meta-analisi, delle relazioni attendibili dose-effetto.
- Oltre agli studi internazionali, esiste almeno uno studio svizzero di buona qualità che descrive una relazione dose-effetto del punto finale in questione.
- I risultati degli studi svizzeri non sono in contraddizione con i risultati di meta-analisi internazionali (e viceversa).

3.4 Fase 4: determinazione dello stato della scienza

Come fonti principali per accertare lo stato della scienza per i punti finali elencati al capitolo 3.1, la Commissione ha identificato i risultati dello studio SiRENE [in particolare 13, 14, 30, 33] e i suoi relativi aggiornamenti [31], nonché le meta-analisi elaborate per le Environmental Noise Guidelines dell'OMS («Evidence Reviews»)⁶⁰, e tra queste in particolare quelle relative al fastidio [23], ai disturbi del sonno [24], alle cardiopatie ischemiche e al diabete[27].

Sebbene le citate «Evidence Review» dell'OMS rappresentino una fonte importante, gli studi originali più recenti, ossia quelli pubblicati dopo il 2015, non sono ancora stati presi in considerazione nelle stesse. Ciò vale in particolare per lo studio NORAH⁶¹ e lo studio SiRENE, di cui tutti i risultati sono stati pubblicati solo dopo il 2015. Per questo motivo, la Commissione ha fatto aggiornare i meta-stimatori per le cardiopatie ischemiche e per il diabete elencati nelle Evidence Review (in particolare [27]) e nelle Environmental Noise Guidelines, in modo da tener conto anche di studi recenti (fino a circa febbraio 2019). Come punto di partenza per i calcoli dei meta-valutatori sono stati utilizzati i valori rilevati nelle Evidence Review dell'OMS, raggruppati con i risultati degli studi pubblicati dopo il 2014. I calcoli sono stati effettuati per ogni specifico tipo di rumore, ossia separatamente per il rumore stradale, ferroviario e aereo. I risultati di tali aggiornamenti sono consolidati in [66] (e qui denominati «WHO Review+»).

La tabella A.T.2 (nell'Allegato A.1) elenca, per punto finale e tipo di rumore, le fonti bibliografiche che sono state utilizzate in ultima analisi per determinare i valori limite generici. Gli studi originali o le meta-analisi riportati comprendono le principali relazioni dose-effetto, sulle base delle quali è possibile proporre valori limite generici per i rischi accettabili, tenendo conto dei criteri stabiliti al prossimo capitolo.

⁶⁰ Si veda https://www.mdpi.com/journal/ijerph/special_issues/WHO_reviews

⁶¹ Noise Related Annoyance, Cognition, and Health (NORAH), importante studio tedesco sull'effetto del rumore (si veda <http://www.laermstudie.de>)

3.5 Fase 5: determinazione dei rischi accettabili, che definiscono il passaggio tra disturbi trascurabili e considerevoli dovuti al rumore

A causa della loro indeterminatezza, le disposizioni legali per la protezione dagli effetti dannosi o molesti del rumore non possono essere utilizzate direttamente per fissare dei valori limite, ma devono essere concretizzate. Nell'ambito di questa procedura, al fine di rendere operativo l'aspetto «considerevole» dei disturbi causati dal rumore (cfr. art. 15 LPamb), si deve introdurre il concetto di «rischio accettabile». Un disturbo del benessere deve essere ritenuto considerevole se viene superato il rischio socialmente accettato di subire danni o fastidi. Per la determinazione del rischio accettabile non esistono tuttavia indicazioni generalmente valide e il ventaglio dei rischi accettabili causati da influssi fisici o chimici provenienti dall'ambiente è molto ampio [67]. Oltre a ciò, in linea di principio la ricerca sul rumore non fornisce alcuna risposta in merito al livello a partire dal quale un determinato carico fonico o il relativo rischio per la salute non sono più accettabili. Inoltre, neppure dagli andamenti delle relazioni dose-effetto, tipici della ricerca epidemiologica e sui disturbi, è possibile dedurre indicazioni in merito a soglie degli effetti. In altre parole: non esistono valori dei livelli al di sotto dei quali gli effetti del rumore possono essere esclusi al 100%.

I criteri infine decisi dalla Commissione per i rischi accettabili assoluti (%HA, %HSD) e relativi⁶² (IHD, mortalità cardiovascolare, diabete) richiedono pertanto una ponderazione ben motivata. Indicazioni in merito alla gravità dei punti finali (cfr. tabella 2) sono state fornite dai DW, che sono stati utilizzati come guida per la determinazione del rischio di volta in volta accettabile. Di conseguenza, in presenza di DW inferiori erano ammessi rischi accettabili più elevati e viceversa.

I rischi ritenuti accettabili nell'ambito della definizione dei valori limite sono stati fissati per ciascuna categoria di impatto nonché per ciascun punto finale e sono descritti qui di seguito.

3.5.1 Rischio accettabile di disturbo (o %HA)

L'art. 15 LPamb esige che i VLI per il rumore siano stabiliti in modo che, secondo la scienza o l'esperienza, le immissioni inferiori ai VLI non molestino considerevolmente la popolazione.⁶³

⁶² Per le spiegazioni si veda il glossario.

⁶³ Invece dell'esame del «disturbo», negli ultimi decenni, nella ricerca sugli effetti del rumore si è affermato l'esame della «molestia», un concetto che va al di là del mero «essere disturbati» da un'attività e che comprende una componente affettiva (ad es. rabbia nei confronti di colui che causa il rumore). Tuttavia, i termini «forte molestia» (come concetto affettivo-cognitivo) e «sensibile disturbo» (ai sensi della legge) possono essere intesi come espressione di un equivalente effetto del rumore nocivo per la salute. Entrambi sono stati oggetto anche *congiuntamente* e *contemporaneamente* delle domande ICBEN, ampiamente diffuse nella ricerca («disturbato oppure molestato», si veda [47] o figura 1).

Ritenuto che, di fatto, non esiste alcun carico fonico (per quanto minimo) da cui assolutamente nessuno si senta infastidito o molestato, si deve accettare che una determinata percentuale di persone risulti fortemente molestata (%HA).

Nelle già citate Environmental Noise Guidelines [10], l'OMS parte dal presupposto che la soglia critica per la %HA si situi in corrispondenza del livello di rumore al di sopra del quale il Guideline Development Group dell'OMS (GDG)⁶⁴ suppone con sicurezza che sussista un rischio accresciuto di ripercussioni sulla salute («[...] noise exposure level above which the GDG is confident that there is an increased risk of adverse health effects»). Il GDG ha definito questa soglia in corrispondenza del descrittore acustico L_{den} in cui il 10% degli intervistati si sentono fortemente infastiditi o molestati. Finora, in Svizzera, ma anche in altri Paesi, in particolare in Germania, la percentuale accettabile di persone fortemente molestate era stata individuata in una fascia compresa tra il 15 e il 30% [1, 68, 69].

La maggior parte dei valori limite di immissione finora definiti nell'OIF (VLI grado di sensibilità II) si basava, per quanto ricostruibile, sul criterio «25%HA». La provenienza esatta del criterio del 25% non è chiara. Nel 1976 i gruppi di lavoro 1 e 2 dell'allora Commissione avevano deciso di fissare i «valori limite del 2° tipo» (in seguito denominati VLI) in corrispondenza del carico fonico, che non infastidisce fortemente più di una «minoranza qualificata (circa il 25%)».⁶⁵ È possibile che questo criterio derivi da un disegno dell'avamprogetto (AP) relativo alla LPamb del 1977, in cui sono stati sviluppati criteri concreti per la determinazione dei VLI. L'AP 1977 si basava in linea di principio sulla *ragionevolezza* delle immissioni. Su questa base, le immissioni foniche sono di conseguenza state considerate ragionevoli se non più di un quarto di una categoria rappresentativa di popolazione, in condizioni analoghe (nota: s'intende di carico fonico), si sente considerevolmente molestato. Nessuna delle fonti svizzere finora rintracciabili contiene tuttavia una derivazione o un'indicazione dei motivi per cui la soglia critica è stata fissata al 25% HA (e non ad esempio al 10 o al 50%). L'unica indagine empirica, che ha trattato la questione della percentuale, che possa essere assunta quale soglia critica per distinguere tra carico fonico «non rilevante» e «rilevante» sulla popolazione, è stata svolta da Rohrmann [70]. Quest'ultimo giunge alla conclusione che sembrerebbero esistere idee «ingenue» in merito alla dimensione di una minoranza qualificata, che possa ancora tollerare un fastidioso fattore di stress ambientale. In media, nella sua analisi piuttosto limitata, si trattava del 26%.

Sulla base di quanto precede, la Commissione ha deciso di fissare al **25% il criterio della %HA** per la molestia massima ammessa, mantenendo quindi invariato il criterio finora presumibilmente determinante nella maggior parte dei casi. Questo criterio fissa un valore all'interno dell'intervallo, che era perlomeno condiviso nella letteratura meno

⁶⁴ Questo gruppo di esperti istituito dall'OMS (GDG) ha definito le principali questioni e priorità nell'elaborazione delle Guidelines, ha valutato le evidenze scientifiche disponibili e formulato le raccomandazioni.

⁶⁵ Originale del documento di lavoro della riunione dell'11.5.1976 dei gruppi di lavoro 1 e 2 non rintracciabile, citato secondo [8].

recente (15-30%), e tiene dunque conto di una certa continuità. Il valore è tuttavia nettamente superiore al corrispondente criterio contenuto nelle nuove Environmental Noise Guidelines dell'OMS [10] (che prevedono un 10%HA).

3.5.2 Rischio accettabile per i disturbi del sonno (o %HSD)

Ritenuto che finora i valori limite svizzeri per il periodo notturno non sono stati fissati sulla base di un criterio di %HSD chiaramente definito, non esistono valori empirici storici su cui ci si potrebbe basare. Per i disturbi del sonno indotti dal rumore riferiti dalle persone interpellate, è stato definito come rischio accettabile il **15% HSD**. Il criterio del 15% è più severo del criterio della forte molestia (25% HA). Ciò è tuttavia giustificato dal DW più elevato per i disturbi del sonno indotti dal rumore (0.07 per HSD rispetto allo 0.02 per HA, cfr. in proposito la tabella 2). Tuttavia, il limite massimo consentito del 15% HSD significa una minore protezione rispetto al criterio molto basso del 3% HSD utilizzato dall'OMS. Ulteriori motivazioni per la scelta di questo criterio di protezione più debole sono illustrate nel capitolo 5.5.2.

3.5.3 Rischio accettabile per le cardiopatie ischemiche (IHD), la mortalità e il diabete

Nell'ambito dell'esame e della valutazione degli studi epidemiologici sugli effetti cardiovascolari e metabolici sono stati presi in considerazione, da un lato, dati sulla mortalità cardiovascolare in Svizzera [30, 31] e, dall'altro, una meta-analisi elaborata appositamente per il presente rapporto sulle cardiopatie ischemiche (IHD) e il diabete (già menzionata, «WHO Review+») [66]. Come già indicato al capitolo 1.4, la Commissione ha convenuto di definire i rischi accettabili sulla base di un'esposizione che comporta «un rischio accresciuto di ripercussioni dannose per la salute o moleste».⁶⁶ Si parla di «rischio accresciuto» in quanto anche senza inquinamento fonico sussiste il rischio di mortalità cardiovascolare, IHD e diabete. L'esposizione al rumore aumenta tuttavia tale rischio. La percentuale del rischio accresciuto dal carico fonico (in seguito «rischio supplementare»), che viene indicata, descrive dunque la quota di casi di malattia o di decesso statisticamente riconducibile al rumore.

Quale valore di riferimento per i rischi supplementari accettabili è stato ripreso il rischio di cardiopatia ischemica (IHD) del 5%, definito critico nelle Environmental Noise Guidelines [10]. Su tale base sono stati stabiliti i criteri per gli altri due punti finali (mortalità cardiovascolare e diabete), tenendo conto della gravità del rispettivo punto finale (quantificata in base all'ordine di priorità del rispettivo DW secondo la tabella 2). A causa dell'incertezza relativa dei DW (cfr. capitolo 3.2), questi criteri non sono stati

⁶⁶ Per questo motivo le raccomandazioni relative ai valori limite formulate nel presente rapporto non devono essere intese come *soglie* degli effetti (ossia i cosiddetti «lowest observed adverse effect levels» [LOAEL]).

subito determinati numericamente in modo direttamente proporzionale ai corrispondenti DW ma sono serviti da guida approssimativa per la definizione dei rischi accettabili.

La Commissione ha fissato il rischio accettabile (precisamente: rischio supplementare causato dal rumore) per l'IHD al **5%** e quello per la **mortalità cardiovascolare** al **2,5%**.⁶⁷

Finora non si era mai fatto ricorso agli effetti metabolici del rumore per una raccomandazione relativa ai valori limite. È molto probabile che ciò sia dovuto alla mancanza riscontrata finora di basi empiriche per tali effetti. I risultati dello studio SiRENE/SAPALDIA sull'incidenza del diabete in Svizzera [33] e la succitata meta-analisi aggiornata dell'OMS [66] («WHO Review+») consentono ora di esprimersi sul diabete. In considerazione dell'elevata prevalenza di questo punto finale nella popolazione, la Commissione ha definito come rischio supplementare accettabile per il **diabete** un valore del **20%**. Ciò significa che, in presenza di un carico fonico uguale al VLI, al massimo un caso su cinque di diabete può essere ricondotto all'effetto del rumore (e non ad altre cause). Questo rischio accettabile più elevato rispetto a quelli fissati per gli effetti cardiovascolari è giustificabile sulla base del DW più basso.

3.6 Fase 6: determinazione di relazioni dose-effetto e di valori soglia riferiti al punto finale

Per il calcolo del valore limite generico di ogni specifico tipo di rumore mediante il descrittore acustico L_{den} sono stati utilizzati, da un lato, studi o relazioni dose-effetto relativi al disturbo (%HA) [13, 23], dall'altro, studi sugli effetti cardiometabolici [27, 30, 31, 66]. Per la determinazione del valore limite L_{night} sono stati presi in considerazione studi concernenti disturbi del sonno riferiti dalle persone interpellate [14, 24]. Inoltre, è stato ritenuto opportuno applicare le relazioni dose-effetto, basate su studi con il descrittore acustico L_{den} [27, 30, 31, 66], anche alla ricerca del valore limite per il periodo notturno nonché al L_{night} , affinché il valore limite generico notturno proposto non si basi esclusivamente su dati relativi a disturbi del sonno riferiti dalle persone interpellate. Ciò può essere giustificato dal fatto che gli effetti cardiometabolici dovuti al rumore possono indubbiamente essere causati anche dal carico fonico notturno.

Le funzioni dose-effetto riprese dagli studi ritenuti pertinenti (cfr. capitolo 3.4) sono elencate nella tabella A.T.3 (Allegato A.1). Le informazioni contenute in questa tabella consentono di determinare, per ogni punto finale e per ogni tipo di rumore, il livello in

⁶⁷ Ciò significa che, nel caso di una persona con un'esposizione al rumore al livello del VLI, il rischio di subire un infarto cardiaco mortale causato proprio da tale rumore (al livello del VLI) non può superare il 2,5%. In altre parole, solo 1 su 40 infarti cardiaci mortali può essere causato dal rumore al livello del VLI. Al di sotto del VLI, il rischio deve essere ancora minore, ossia inferiore a 1 infarto cardiaco causato dal rumore su 40.

corrispondenza del quale viene raggiunto ma non superato il rischio (supplementare) accettabile definito sopra. Questo livello è inoltre denominato «valore soglia relativo al punto finale» (VRP).

Per i **rischi assoluti** (%HA, %HSD) sono indicati nella tabella A.T.3 polinomi o funzioni logistiche (a seconda del modo in cui la funzione dose-effetto era formalizzata nella letteratura originale). Per tali rischi, il VRP è fissato al livello in cui il rischio accettabile (ossia il 25%HA e il 15%HSD) è raggiunto ma non è ancora superato. La figura 2 illustra mediante un esempio come è possibile dedurre un VRP sulla base della definizione di «forte molestia» (highly annoyed) su una scala della molestia di 5 o 11 livelli (in basso a sinistra nel grafico) e del criterio «25% HA» su una curva dose-effetto (in alto a destra nel grafico). La determinazione del VRP in corrispondenza del punto finale %HSD è effettuata in modo analogo.

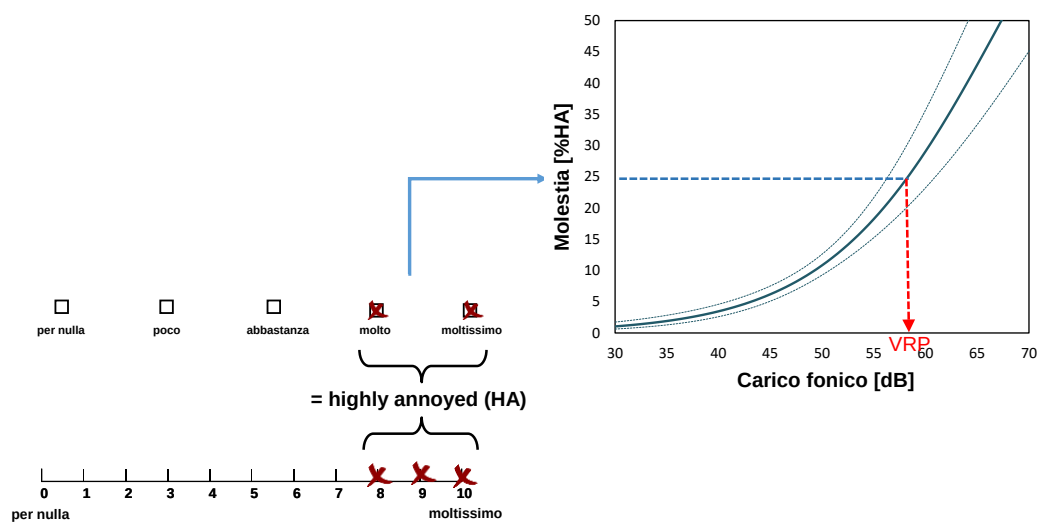


Figura 2: rappresentazione schematica per la determinazione del valore soglia relativo al punto finale («VRP», rosso) per il punto finale «forte molestia» (%HA) utilizzando l'esempio del rumore aereo nello studio SiRENE. A tale proposito si procede nel seguente modo: nel sondaggio SiRENE relativo alla molestia causata dal rumore (in questo caso aereo) si attribuisce il risultato «forte molestia» (HA) alle persone la cui risposta sulla scala della molestia supera un determinato valore della scala (marcato con una crocetta rossa). Successivamente, per ogni livello si può determinare, oppure stimare mediante la creazione di un modello statistico, il numero di persone fortemente molestate e quindi il coefficiente %HA (percentuale di persone fortemente molestate). Da queste informazioni si ricava la relazione dose-effetto (ev. con limiti degli intervalli di confidenza del 95%, come illustrato nella figura precedente). Su questa curva si può quindi leggere il livello in corrispondenza del quale viene raggiunto un criterio predefinito dell'effetto (rischio accettabile, in questo caso 25%HA). In questo esempio il VRP è di 57,21 dB (cfr. tabella 3, prima riga).

In caso di **rischi relativi** (per la mortalità cardiovascolare, la cardiopatia ischemica e il diabete), la tabella A.T.3 indica per ogni punto finale il rischio relativo (RR) per ogni

incremento del livello di 10 dB.⁶⁸ Per tali rischi, il valore soglia relativo al punto finale corrisponde al valore di esposizione al quale viene raggiunto il rischio supplementare accettabile⁶⁹ (ossia 0.05 per IHD, 0.025 per mortalità cardiovascolare, 0.2 per diabete) rispetto a un livello di riferimento (con un rischio supplementare di 0 per definizione). In un modello statistico epidemiologico del rumore, quale livello di riferimento viene indicata la categoria del carico fonico analizzata più bassa (per lo più compresa tra 30 e 50 dB (A)). In termini statistici, l'effetto (causale) dell'esposizione sul rispettivo punto finale esaminato in questa categoria inferiore è considerato pari a zero; ciò corrisponde a un rischio relativo di 1 o a un rischio supplementare di 0. Ne consegue che, supponendo una relazione lineare tra esposizione e rischio relativo, il valore soglia relativo al punto finale (VRP) può essere determinato con la seguente equazione⁷⁰:

$$\text{VRP} = \text{livello di riferimento} + \frac{\text{rischio supplementare}}{(\text{RR} - 1)} \times 10 \quad (1)$$

dove:

VRP Valore soglia relativo al punto finale [dB]

RR Rischio relativo per ogni incremento del livello di 10 dB

Nell'applicazione di funzioni dose-effetto che descrivono un rischio relativo per un incremento del livello pari a 10 dB (mortalità cardiovascolare, cardiopatia ischemica, diabete), è stato adottato un livello di riferimento di **45 dB** per L_{den} o un livello di riferimento di **35 dB** per L_{night} ,⁷¹ anche se i livelli di riferimento nei relativi studi originali possono divergere. La scelta di questi livelli di riferimento (45 dB L_{den} , 35 dB L_{night}) può essere motivata, da un lato, dal fatto che negli studi originali la definizione di livelli di riferimento (più elevati) è spesso anche solo la conseguenza, ad esempio, di una limitata disponibilità di dati relativi a bassi livelli di esposizione e, dall'altro, dal fatto che per tutti gli effetti del rumore, in mancanza di indicazioni su «soglie naturali», è lecito supporre un nesso lineare su un ampio intervallo di esposizione al rumore nonché dal fatto che molto probabilmente non sussiste alcuna esposizione «sufficientemente piccola», al di sotto della quale il rischio supplementare raggiunga il valore 0.

⁶⁸ Nel caso del rumore ferroviario, gli stimatori empirici per il rischio relativo erano molto bassi o suggerivano addirittura un effetto protettivo (IHD: 1.01, diabete: 0.99, cfr. [66]) in corrispondenza dei punti finali IHD e diabete, ciò che avrebbe portato a VRP irrealisticamente elevati. Questi stimatori di rischio non plausibili per il rumore ferroviario sono stati pertanto sostituiti da uno stimatore generale (sulla base dei dati tratti da [66]), che è stato ricavato da una meta-analisi di tutti i tipi di traffico, in concreto da 1.016 per il punto finale IHD e 1.076 per il punto finale dell'incidenza del diabete.

⁶⁹ Il «rischio supplementare» è definito come $\text{RR}-1$

⁷⁰ Per quanto attiene ad esempio al rumore stradale/diabete/ L_{den} , l'equazione (1) deve essere interpretata come segue: il rischio supplementare accettabile del punto finale diabete è pari a 0.2. Il rischio relativo per ogni aumento di 10 dB è di 1.11 e il livello di riferimento è di 45 dB (A). Il calcolo del valore soglia relativo al punto finale è quindi $45 + (0.2 / 1.11 - 1) \times 10$, pari a (arrotondati) 63 dB (A).

⁷¹ Nel caso del rumore ferroviario, tuttavia, i livelli di riferimento per la mortalità cardiovascolare e l'IHD sono stati fissati a 40 dB (A) L_{den} (o 30 dB L_{night}) poiché a questo livello sono dimostrati empiricamente degli effetti [30].

La seguente tabella 3 elenca i valori soglia relativi al punto finale (VRP) per L_{den} e L_{night} determinati in base ai criteri definiti e alle funzioni dose-effetto della tabella A.T.3 (colonna «FEE») nell'Allegato.

Tabella 3: valori soglia relativi al punto finale (VRP) per i descrittori acustici L_{den} (metà superiore) e L_{night} (metà inferiore) in dB, conformemente ai criteri precedentemente definiti per i rischi accettabili. In verde chiaro: effetti riferiti dalle persone interpellate; in celeste: effetti medico somatici.

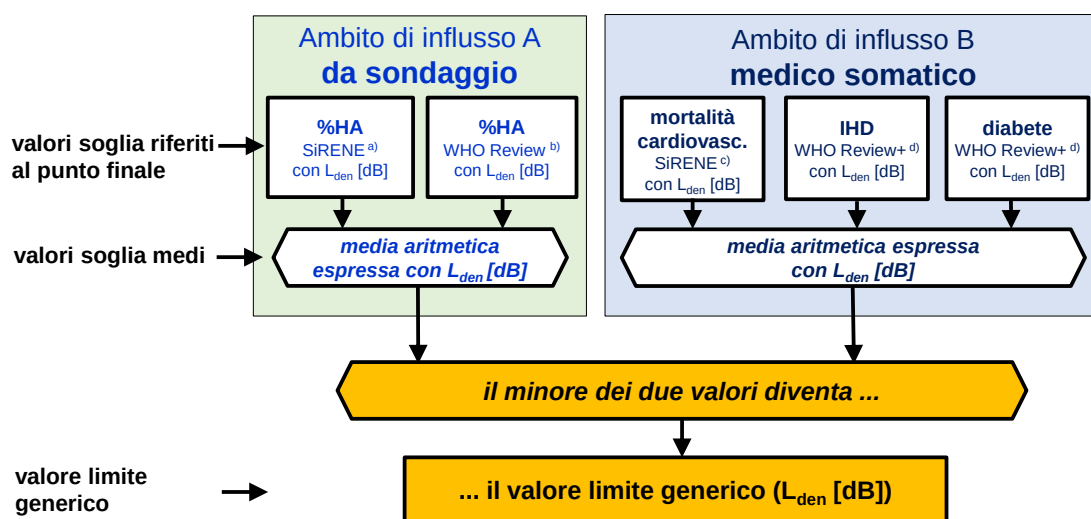
Punto finale	Rif.	Descrittore acustico	VRP		
			Strada	Ferrovia	Aereo
%HA (SiRENE)	[13]	L_{den}	67.58	65.12	57.21
%HA (meta-analisi)	[23]	L_{den}	67.89	65.01	54.03
Mortalità cardiovasc.	[30, 31]	L_{den}	54.26	53.63	54.26
Cardiopatía ischemica	[66]	L_{den}	70.00	71.25	61.67
Diabete	[66]	L_{den}	63.18	71.32	55.00
%HSD (SiRENE)	[14]	L_{night}	56.88	53.74	42.07
%HSD (meta-analisi)	[24]	L_{night}	68.99	58.48	44.92
Mortalità cardiovasc.	[30, 31]	L_{night}	41.26	45.63	44.26
Cardiopatía ischemica	[66]	L_{night}	60.00	61.25	51.67
Diabete	[66]	L_{night}	53.18	61.32	45.00

3.7 Fase 7: determinazione di valori limite generici espressi mediante i descrittori acustici L_{den} e L_{night} per i tipi di rumore esaminati

Nella fase precedente sono stati fissati, per i tipi di rumore indagati, valori soglia relativi al punto finale (VRP) in dB, in corrispondenza dei quali il rischio supplementare accettabile definito in precedenza è raggiunto o non lo è di poco. Ne sono scaturiti cinque VRP per tipo di rumore e per descrittore acustico (cfr. tabella 3). In questa settima fase, tali valori devono essere riuniti in un valore limite generico per ogni tipo di rumore. La relativa procedura è illustrata schematicamente nelle figure 3.1 e 3.2. In primo luogo, sono stati distinti i due ambiti degli effetti A) effetti soggettivi (fastidi e disturbi del sonno; nella tabella 3 in verde chiaro) e B) effetti medico somatici (mortalità cardiovascolare, IHD e diabete; nella tabella 3 in celeste). Successivamente è stata calcolata la media aritmetica dei valori soglia relativi ai punti finali disponibili per ogni

ambito (A o B), per descrittore acustico (L_{den} o L_{night}) e per tipo di rumore (rumore stradale, ferroviario o aereo) e il risultato è stato arrotondato alla successiva cifra intera in dB⁷². In questo modo, per ogni ambito, per ogni descrittore acustico e per ogni tipo di rumore, viene determinato un unico valore soglia medio approssimato al dB. Il calcolo del valore medio è un metodo semplice per stabilizzare in un certo senso il valore soglia che ne risulta. Tutti i punti finali, che entrano nel calcolo della media all'interno di un dato ambito, ricevono lo stesso peso dal punto di vista matematico poiché la ponderazione del grado di gravità di ciascun punto finale è già stata effettuata in una fase precedente, al momento dell'attribuzione del rischio accettabile.

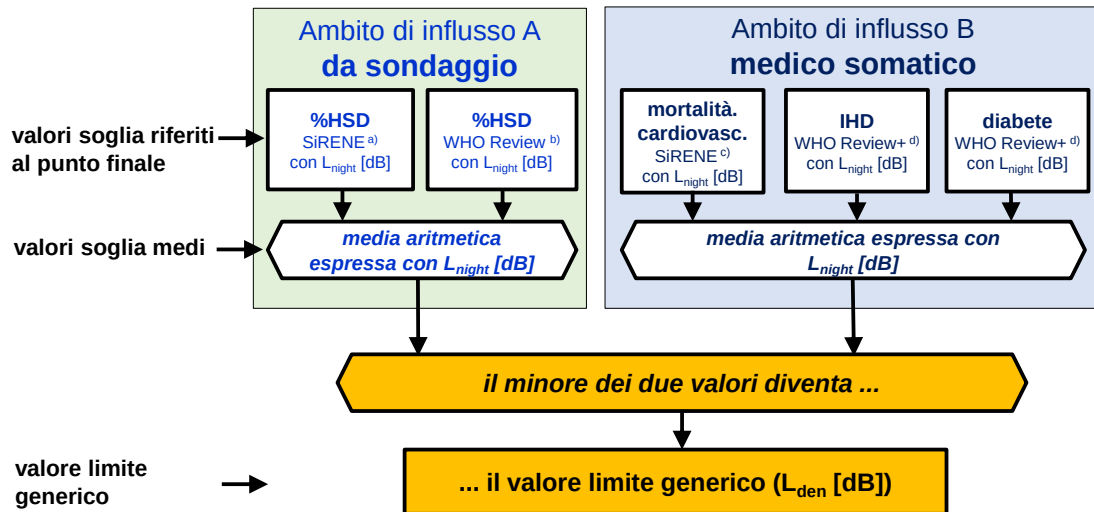
Infine, per ogni descrittore acustico (L_{den} e L_{night}) e tipo di rumore, quale valore limite generico per il rispettivo tipo di rumore è stato fissato definitivamente il **più basso** dei due valori degli ambiti A e B. La Commissione ritiene che in tal modo sia stata esplicitamente soddisfatta la richiesta dell'art. 74 Cost. e del principio di previdenza, secondo cui non solo effetti «dannosi» (in questo caso appartenenti all'ambito degli effetti B), ma anche «molesti» (in questo caso appartenenti all'ambito degli effetti A) devono essere limitati: se un danno sopravviene prima del disturbo, un valore limite deve basarsi su tale soglia e viceversa.



Fonti: ^{a)} [13]; ^{b)} [23]; ^{c)} [30, 31]; ^{d)} [66]

Figura 3.1: rappresentazione schematica della modalità di determinazione del valore limite generico L_{den} sulla base dei valori soglia relativi al punto finale per gli ambiti A (effetti comunicati dalle persone interpellate) e B (effetti medico somatici).

⁷² Con gli arrotondamenti non si viola il criterio di salute precedentemente definito. Inoltre, l'arrotondamento contrasta la sottovalutazione del reale effetto di un impatto ambientale, che tende a essere intrinseca a tutti gli studi epidemiologici sull'ambiente.



Fonti: a) [14]; b) [24]; c) [30, 31]; d) [66]

Figura 3.2: rappresentazione schematica della modalità di determinazione del valore limite generico L_{night} sulla base dei valori soglia relativi al punto finale per gli ambiti A (effetti comunicati dalle persone interpellate) e B (effetti medico somatici).

Dai calcoli con i corrispondenti valori numerici per ciascun tipo di rumore e descrittore acustico riportati nella tabella 3 risultano i valori limite generici (VLG) riportati nell'equazione 2.

$$\begin{aligned}
 VLG_{stradale, L_{den}} &= \min \left(\left\lfloor \frac{67.58 + 67.89}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{54.26 + 70.00 + 63.18}{3} \right\rfloor \right) = \min(67, 62) = 62 \text{ dB} \\
 VLG_{ferroviario, L_{den}} &= \min \left(\left\lfloor \frac{65.12 + 65.01}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{55.63 + 71.25 + 71.32}{3} \right\rfloor \right) = \min(65, 66) = 65 \text{ dB} \\
 VLG_{aereo, L_{den}} &= \min \left(\left\lfloor \frac{57.21 + 54.03}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{54.26 + 61.67 + 55.00}{3} \right\rfloor \right) = \min(55, 56) = 55 \text{ dB} \\
 VLG_{stradale, L_{night}} &= \min \left(\left\lfloor \frac{56.88 + 68.99}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{44.26 + 60.00 + 53.18}{3} \right\rfloor \right) = \min(62, 52) = 52 \text{ dB} \\
 VLG_{ferroviario, L_{night}} &= \min \left(\left\lfloor \frac{53.74 + 58.48}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{45.63 + 61.25 + 61.32}{3} \right\rfloor \right) = \min(56, 56) = 56 \text{ dB} \\
 VLG_{aereo, L_{night}} &= \min \left(\left\lfloor \frac{42.07 + 44.92}{2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{44.26 + 51.67 + 45.00}{3} \right\rfloor \right) = \min(43, 46) = 43 \text{ dB}
 \end{aligned} \tag{2}$$

I valori limite generici espressi tramite i descrittori acustici L_{den} e L_{night} sono infine riportati nella tabella 4. I valori numerici determinanti (DW, rischi supplementari accettabili, VRP e RR per ogni 10 dB di incremento del livello) per il calcolo di tali valori limite sono documentati nelle tabelle A.T.4.1 e A.T.4.2 dell'Allegato.

Tabella 4: valori limite generici espressi tramite L_{den} e L_{night} in dB (A)

Tipo di rumore:	L_{den}	L_{night}
Rumore stradale	62 ^B	52 ^B
Rumore ferroviario	65 ^A	56 ^{A=B}
Rumore aereo	55 ^A	43 ^A

A Valore limite determinato sulla base degli effetti riferiti dalle persone interpellate (ambito A).

B Valore limite determinato sulla base di effetti medico somatici (ambito B).

Si raccomanda di basarsi sui valori limite generici di cui sopra al momento di stabilire valori limite d'esposizione concreti, indipendentemente dal descrittore acustico e dalle grandezze di valutazione in cui sono indicati. I valori limite generici possono essere interpretati come valori limite di immissione per zone residenziali (grado di sensibilità II, cfr. capitolo 3.5) e si applicano, in linea di principio, nel punto più rumoroso sull'involucro dell'edificio della rispettiva unità abitativa o d'uso.

4 Analisi di ulteriori elementi del metodo di valutazione del rumore e della loro necessità di adeguamento

I valori limite generici ricavati nel capitolo precedente ed espressi mediante L_{den} e L_{night} corrispondono, dal punto di vista del livello di protezione, in linea di massima, al valore limite di immissione (VLI). Il VLI è tuttavia solo uno dei vari elementi (aspetti normativi) del metodo di valutazione del rumore. Oltre a questo, esistono ulteriori elementi:

- il campo d'applicazione dei valori limite;
- il luogo di determinazione rilevante (denominato anche «luogo d'immissione»);
- il descrittore acustico e la grandezza di valutazione;
- i periodi di valutazione (ripartizione delle 24 ore giornaliere in periodi di valutazione diversi);
- la differenziazione dei valori limite d'esposizione in gradi di sensibilità a livello di pianificazione del territorio;
- la differenziazione in valori di pianificazione, valori limite d'immissione e valori d'allarme (VP, VLI, VA), nonché
- le correzioni del livello.

I capitoli che seguono sono dedicati alla verifica dei suddetti elementi. Questi elementi sono stati esaminati in modo tale da stabilire se in questi ambiti, alla luce dello stato attuale delle conoscenze o dell'esperienza, appaiono necessari e/o opportuni degli adeguamenti. A questo scopo sono state incluse le esperienze pluriennali nell'esecuzione, la letteratura scientifica e le valutazioni dello studio SiRENE allestite ai fini del presente rapporto, e in particolare il sondaggio SiRENE [13, 14] (cfr. Allegato A.3). Nei capitoli seguenti viene dapprima illustrata, in generale per ogni elemento, la regolamentazione in vigore finora, successivamente si esprimono considerazioni sulla necessità di adeguare la regolamentazione in questione e infine vengono tratte le conclusioni se siano consigliabili aggiustamenti alla rispettiva regolamentazione e in quale misura.

4.1 Campo d'applicazione

4.1.1 Regolamentazione attuale

I valori limite d'esposizione si applicano ai locali sensibili al rumore. Tali valori sono definiti nell'OIF, all'art. 2 cpv. 6. Sono considerati locali sensibili al rumore non solo i locali delle abitazioni, ad eccezione delle cucine senza tinello, dei servizi e dei ripostigli, ma anche, ad esempio, i locali delle aziende, ossia i locali che servono al soggiorno prolungato di persone, ma che non sono abitazioni in senso stretto.

4.1.2 Considerazioni

La LPAmb e l'OIF disciplinano la protezione fonica soprattutto, ma non esclusivamente, nell'ambito della sfera abitativa poiché la propria abitazione o la propria casa è il luogo in cui le persone trascorrono la maggior parte del tempo nella loro vita. Le abitazioni, comprese le loro aree esterne adiacenti, servono tra l'altro al riposo mentale e fisico e devono pertanto essere particolarmente protette dal rumore. Tuttavia, anche la maggior parte dei locali adibiti alle attività aziendali e che non servono in primo luogo a scopi abitativi devono essere considerati in linea di massima locali sensibili al rumore e sono inclusi nelle regolamentazioni dell'OIF. Tali locali non servono però in primo luogo al suddetto riposo psichico e fisico o non sono utilizzati a tal fine per periodi prolungati. Anche la protezione dell'area esterna adiacente riveste un ruolo secondario in questo tipo di locali. Inoltre, molti di questi locali dispongono anche di ventilazioni dei locali controllate, che rendono ad esempio inutile l'apertura delle finestre per ventilare.

4.1.3 Conclusioni

L'OIF è in primo luogo uno strumento volto a disciplinare la protezione dell'*attività abitativa* dal rumore. Sono considerate attività abitative tutte le attività (compreso il dormire) svolte all'interno e nelle immediate vicinanze della propria abitazione. I locali che servono al soggiorno prolungato di persone, ma che non sono abitazioni in senso stretto, possono essere trattati in modo più flessibile rispetto alle abitazioni per quanto concerne l'applicazione dei valori limite e le misure di protezione contro il rumore, ciò tuttavia solo a condizione che sia garantita la necessaria protezione contro il rumore all'interno dell'edificio o che sia raggiunta con misure costruttive adottate sull'edificio.

4.2 Luogo di determinazione

4.2.1 Regolamentazione attuale

Con il termine luogo di determinazione viene indicato il punto di ricezione acustica, in cui il carico fonico è determinato e confrontato con i valori limite d'esposizione. Giusta l'art. 39 OIF, per gli edifici con locali sensibili al rumore questo luogo di determinazione è il centro delle finestre aperte.⁷³ I valori limite d'esposizione devono essere rispettati su tutte le finestre di locali sensibili al rumore.⁷⁴ Nelle zone edificabili non ancora edi-

⁷³ Nell'OIF non è indicato cosa s'intende esattamente con «finestra».

⁷⁴ cfr. DTF 142 II 100.

ificate, il rumore è determinato nel luogo in cui possono sorgere edifici con locali sensibili al rumore. Nelle zone non edificate di zone che richiedono una protezione fonica più elevata, il luogo di determinazione è a 1.5 m dal suolo (cfr. capitolo 2.7).

4.2.2 Considerazioni

La Commissione ritiene che il luogo di determinazione debba soddisfare i seguenti requisiti:

- L'esposizione al rumore nel luogo di determinazione deve essere idonea a rispecchiare nel miglior modo possibile gli effetti indesiderati del rumore sugli interessati, sia nelle aree interne sia in quelle esterne adiacenti della rispettiva unità abitativa o d'uso.
- Il luogo di determinazione dovrebbe coincidere con il punto di ricezione acustica determinante negli studi di base che sono stati utilizzati per stabilire i valori limite d'esposizione (cfr. cap. 3.1 e 3.4). In tal modo si garantisce che il carico acustico misurato o calcolato corrisponda all'effetto del rumore da limitare.⁷⁵
- Il luogo di determinazione deve essere stabilito in modo tale da favorire in generale misure di protezione contro il rumore corrispondenti alla strategia di lotta contro il rumore perseguita dalla LPAmb. Questa strategia priorizza le misure alla fonte rispetto a tutte le altre misure.
- Il luogo di determinazione dovrebbe essere chiaramente definito e in tale luogo il carico acustico dovrebbe poter essere sia misurato sia calcolato. A tal fine, all'atto pratico, il luogo di determinazione deve essere facilmente accessibile.

Il luogo di determinazione finora determinante «nel centro delle finestre aperte di locali sensibili al rumore» può soddisfare solo in parte i requisiti formulati sopra, e ciò per i seguenti motivi:

- Significato pratico: sondaggi socio-acustici relativi al disturbo svolti in Svizzera e risalenti ormai a tempo addietro hanno evidenziato che il disturbo causato dal rumore nel luogo di residenza non è determinato in primo luogo dalla situazione all'interno dell'edificio, ma che anche il carico fonico sull'area esterna adiacente confluisce nel giudizio sul disturbo [71]. Un'importante conoscenza tratta dallo studio SiRENE è stata inoltre che sussiste una maggiore correlazione tra l'esposizione al rumore sul lato rumoroso dell'edificio e la quota di persone fortemente molestate (%HA) e fortemente disturbate nel sonno (%HSD) rispetto a quella esistente sul lato silenzioso schermato dal rumore

⁷⁵ La maggior parte degli studi sugli effetti del rumore usano come descrittori acustici determinati livelli matematici sulla facciata (senza considerare ad es. costruzioni annesse, schermature, parapetti, balconi ecc.), ossia il punto della facciata con l'esposizione massima per edificio o, come nel caso dello studio SiRENE, per piano.

(cfr. tabella A.T.5 nell'Allegato). Esiti analoghi risultano anche da studi epidemiologici, in cui il livello sulla facciata più rumorosa si è rivelato essere un descrittore acustico più appropriato rispetto al livello sul lato dell'edificio con l'esposizione inferiore [72].

- Congruenza con gli studi di base: il centro delle finestre aperte dei locali sensibili al rumore non corrisponde sempre al luogo di determinazione utilizzato di norma negli studi epidemiologici ambientali e relativi al disturbo per calcolare le funzioni dose-effetto, e in ultima analisi per determinare i valori limite che ne derivano. I locali sensibili al rumore sono solitamente orientati verso il lato schermato dal rumore, mentre quasi tutti gli studi sull'impatto del rumore basano le loro analisi sull'esposizione nel punto più rumoroso della facciata di un edificio o di un'unità abitativa.
- Creazione di incentivi per misure «pro forma» di protezione contro l'inquinamento fonico nell'edificio, anziché alla fonte: nella prassi accade spesso che il rumore venga ridotto esclusivamente nel luogo di determinazione «finestra/e aperta/e» mediante elementi costruttivi posati immediatamente prima di questo punto (schermature anteposte, balconi a vetri ecc.), senza che ciò modifichi il carico fonico dello spazio esterno adiacente. Quale conseguenza di tale evoluzione, viene meno la pressione di continuare a ridurre le emissioni foniche alla fonte [73]. Le misure sull'edificio o su un'unità d'uso mirano unicamente a proteggere l'interno dell'edificio. Tali misure possono rivelarsi utili se in tal modo si ottiene una migliore protezione dello spazio interno. Analogamente all'installazione di finestre insonorizzate, esse devono tuttavia essere considerate soltanto una misura sostitutiva e non soddisfano il requisito supplementare della protezione dal rumore dello spazio esterno adiacente.

4.2.3 Conclusioni

Il luogo di determinazione attualmente definito nell'OIF «al centro delle finestre aperte di locali sensibili al rumore» non soddisfa pienamente l'obiettivo di protezione contro il rumore. In alternativa, la Commissione raccomanda di effettuare la valutazione del rumore nel punto più rumoroso sull'involucro dell'edificio dell'unità d'uso con locali sensibili al rumore, trattando eventuali costruzioni annesse sporgenti poste immediatamente davanti a questo punto, ad es. balconi, parapetti, schermature ecc., come se non fossero presenti. Inoltre, si deve ritenere irrilevante se i locali situati immediatamente dietro al punto più rumoroso sono o meno considerati sensibili al rumore. Questo luogo di determinazione garantisce che continui a sussistere la necessità di lottare contro il rumore alla fonte per coloro che lo causano. Inoltre, lo stesso è compatibile con le prescrizioni di calcolo determinanti in materia di rumore dell'UE [11].

4.3 Descrittori acustici

4.3.1 Regolamentazione attuale

Il piano di protezione contro il rumore degli impianti infrastrutturali dei trasporti (strade, linee ferroviarie, aeroporti) dell'OIF si basa sul cosiddetto principio della dose, in base al quale si effettua la media energetica del carico acustico (dose) su un periodo di tempo definito (cfr. capitolo 4.4).⁷⁶ Ciò significa che l'intensità, la durata e la frequenza degli eventi rumorosi confluiscono in un livello medio (L_{Aeq}) di regola valutato con il filtro A. Finora la legislazione svizzera in materia di protezione contro l'inquinamento fonico utilizza, salvo poche eccezioni, descrittori acustici basati sul L_{Aeq} . Caratteristiche particolarmente moleste del rumore, che non possono essere ben considerate nel L_{Aeq} , come la componente tonale, la componente impulsiva, il numero di eventi, l'insorgenza nel tempo ecc., sono considerate mediante correzioni del livello K, che vengono sommate al L_{Aeq} (cfr. in proposito il capitolo 4.9). La grandezza di valutazione del rumore ottenuta in tal modo è definita «livello di valutazione» e abbreviata con L_r . L_r è un indicatore degli effetti indesiderati che ci si deve attendere dal rumore. Per stabilire nella pratica se un valore limite d'esposizione è rispettato o superato, si deve determinare il livello di valutazione L_r e successivamente confrontarlo con il relativo valore limite d'esposizione.

4.3.2 Considerazioni

In linea di massima, per limitare un determinato effetto del rumore mediante un valore limite, il descrittore acustico più adatto è quello che può spiegare meglio la correlazione tra esposizione ed effetto.

Gli effetti presi in considerazione nel presente rapporto per la definizione dei valori limite sono espressi in modo soddisfacente mediante un descrittore acustico basato sul livello energetico medio, in quanto il rumore causato dalle infrastrutture di trasporto, soprattutto durante il giorno, è di tipo continuo o si ripete periodicamente.

I descrittori acustici basati sul L_{eq} , attualmente utilizzati, si sono affermati dalla fine degli anni Settanta come principali grandezze di valutazione del rumore sia in Svizzera sia a livello internazionale, non da ultimo a seguito dell'introduzione dei cosiddetti sonometri integratori, che hanno reso possibile la misurazione del L_{eq} senza grande difficoltà [8]. Gli usuali descrittori acustici basati sul L_{eq} , come L_{den} , L_{dn} , L_{day} o L_{night} , sono per lo più altamente correlati tra loro e possono essere convertiti gli uni negli altri con sufficiente precisione mediante regole di conversione individuate empiricamente [12].

⁷⁶ Per il rumore stradale, ferroviario e aereo, la media del carico fonico giornaliero (06-22) è calcolata su 16 ore. Durante la notte (22-06) la media del rumore stradale e ferroviario è calcolata su 8 ore e quella del rumore aereo su tre ore singole separate (22-23, 23-24 e 05-06) per il rumore aereo.

Un'analisi attuale della relativa letteratura scientifica indica che i descrittori acustici più frequentemente utilizzati negli studi sull'impatto del rumore sono L_{den} e L_{night} , basati entrambi sul L_{eq} come grandezza primaria.⁷⁷ Studi svolti negli ultimi anni sono giunti alla conclusione che nessuna grandezza è più idonea del L_{den} a prevedere il carico fonico generale [74, 75]. L_{den} und L_{night} sono raccomandati anche dall'OMS o utilizzati nei suoi rapporti e nelle sue direttive [10, 65, 76]. Mentre L_{night} è un livello energetico medio sulle ore notturne, L_{den} è basato su un valore medio esteso alle 24 ore giornaliere. In questo caso, le ore diurne, le ore serali e le ore notturne sono ponderate in modo diverso, sotto forma di tre livelli parziali diversi, attribuendo alle ore serali un supplemento di livello di +5 dB e alle ore notturne uno di +10 dB.

4.3.3 Conclusioni

È opportuno attenersi al principio della dose e utilizzare come descrittore acustico (misura di base acustica), sia per il periodo diurno sia per quello notturno, un livello medio energetico di pressione sonora e, come grandezza di valutazione, un livello di valutazione L_r (ossia un livello modificato con correzioni del livello). In alternativa al livello energetico medio non ponderato, come grandezza di base per il periodo diurno può essere raccomandato anche L_{den} che rappresenta una grandezza integrale sull'intera giornata di 24 ore e che comprende supplementi di livello per il periodo serale e notturno. Per il rumore del traffico aereo notturno si raccomanda di attenersi all'attuale L_{eq} relativo a 1 ora (cfr. capitolo 4.4).

4.4 Periodi di valutazione

4.4.1 Regolamentazione attuale

In linea di massima, la valutazione del rumore nell'OIF è effettuata separatamente per il periodo diurno e per quello notturno, applicando valori limite d'esposizione separati per questi periodi di tempo. Questa suddivisione si fonda sulla constatazione che l'uomo reagisce più sensibilmente ai disturbi provocati dal rumore notturno rispetto ai disturbi causati dal rumore diurno, per cui la protezione di notte deve essere più severa. La differenza di sensibilità tra il giorno e la notte è generalmente quantificata in circa 10 dB ed è assicurata in misura sufficiente dal punto di vista empirico almeno per quanto riguarda il rumore degli aerodromi [77, 78]. La ricerca sugli effetti del rumore ha inoltre mostrato che il sistema nervoso vegetativo nel sonno è di 10-12 dB

⁷⁷ Secondo le conoscenze attuali, sono praticamente inesistenti studi epidemiologici basati sulla popolazione che si fondano su valori di carico diversi da L_{eq} , ad eccezione degli studi parziali del progetto SiRENE, che hanno analizzato anche l'influsso dell'intermittenza («idoneità all'evento»).

più sensibile rispetto allo stato di veglia [79]. Nell'OIF i valori limite d'esposizione tra il periodo diurno e quello notturno differiscono di 10 dB per quasi tutti i tipi di rumore (cfr. in proposito anche la tabella 5). Nell'OIF i periodi di valutazione o la definizione di «giorno» e «notte» dipendono invece dalle fonti di rumore⁷⁸ e per le diverse tipologie di rumore da traffico vige una regolamentazione unitaria: per il rumore della strada, della ferrovia e dell'aviazione, il periodo 06-22 è considerato giorno, mentre quello 22-06 notte. L'art. 39 dell'ordinanza sull'infrastruttura aeronautica (OSIA) sancisce il divieto di volo notturno a livello nazionale⁷⁹ nella fascia 00-05; in considerazione di tale divieto, per il rumore dell'aviazione non si valuta la notte nel suo insieme, ma solo le ore contigue al periodo di divieto di volo notturno, concretamente le 22-23, 23-24 e 05-06 (di volta in volta singolarmente). Mediante la valutazione separata delle singole ore notturne nell'OIF si limita l'energia sonora oraria (come livello energetico medio di 1 ora, 1 h-L_{eq}) a un livello raggiungibile già da pochi voli rumorosi. Il livello energetico medio di un'ora funge quindi da criterio di punta per il rumore dell'aviazione nelle ore marginali, in modo da poter limitare efficacemente i risvegli senza dover ricorrere a un criterio di livello massimo per ogni sorvolo [80].

4.4.2 Considerazioni

Gli attuali diversi periodi di valutazione previsti nell'OIF per i differenti tipi di rumore non sono giustificati da differenze in termini di effetti sulla salute o sul disturbo, bensì dalle peculiarità dell'esercizio dei relativi impianti o anche dalle diverse aspettative della popolazione circa il momento in cui una determinata fonte può e non può emettere rumore.

Secondo la Commissione, determinanti per stabilire i periodi diurni e notturni devono essere le abitudini di sonno della popolazione. Ciò è stato richiesto anche nella decisione del Tribunale federale relativa agli avvicinamenti mattutini (da sud) all'aeroporto di Zurigo⁸⁰, in cui è stato indicato che l'attuale suddivisione giorno/notte (inizio della notte alle ore 22, fine alle ore 06) non protegge sufficientemente il sonno della popolazione nella fascia oraria 06-07 del mattino.

Da studi sul comportamento della popolazione svizzera durante le ore di sonno (cfr. Allegato A.3.1) emerge che, da un lato, non esiste alcun momento nel corso della giornata durante il quale tutte le persone dormono o sono sveglie e, dall'altro, che l'inizio della notte alle ore 22 e la fine alle ore 06 appaiono fissati troppo presto poiché alle 22 la maggior parte della popolazione adulta non è ancora a letto e alle 06 meno

⁷⁸ Per il rumore dell'industria e delle arti e dei mestieri, il periodo diurno è definito nella fascia 07-19 e il periodo notturno nella fascia 19-07. I periodi di valutazione per il rumore delle piazze di tiro e d'esercizio militari sono stabiliti in modo analogo, ossia il giorno corrisponde alla fascia oraria 07-19; anche la fascia oraria 19-07 è considerata come giorno, ma con un malus di 5 dB.

⁷⁹ Concerne effettivamente solo gli aeroporti nazionali di Ginevra e Zurigo (l'Euroaeroporto di Basilea si trova in territorio francese). Il divieto di volo notturno negli altri aerodromi è più severo.

⁸⁰ Cfr. sentenza TF 137 II 58 (aeroporto di Zurigo), 22.12.2010

della metà si è già alzata. Con lo spostamento in avanti di almeno un'ora del periodo notturno per il rumore del traffico (rumore stradale, ferroviario e aereo) attualmente definito nell'OIF, ossia dalla fascia 22-06 alla fascia 23-07, si rispecchierebbero meglio le abitudini di sonno della popolazione. Con un periodo notturno nella fascia 23-07 si attribuirebbe alla notte anche l'ora critica 06-07 per il rumore aereo. Non si terrebbe invece conto del fatto che i bambini vanno a letto prima e che anche la fase di addormentamento necessita di una maggiore protezione. Ritenuto che la sensibilità della popolazione al rumore propria delle ore diurne (cfr. Allegato A.3.2) è maggiore nelle ore serali, l'inizio del periodo notturno dovrebbe essere mantenuto alle ore 22:00. Questa era del resto stata anche l'argomentazione del gruppo di lavoro per i valori limite d'esposizione al rumore del traffico aereo e la flessibilizzazione della pianificazione del territorio, istituito dal DATEC circa dieci anni fa in seguito alla summenzionata decisione del Tribunale federale, il quale aveva il compito di elaborare un piano per la valutazione conforme al diritto del rumore del traffico aereo nelle prime ore del mattino [81, 82].

Con la proposta della Commissione, il periodo notturno per il rumore causato dal traffico (rumore stradale, ferroviario e aereo) sarebbe esteso dalle odierne 8 a 9 ore e durerebbe dalle ore 22 alle ore 07.

4.4.3 Conclusioni

Dal punto di vista della protezione della salute, il periodo di valutazione per la notte dovrebbe in linea di massima essere esteso alla fascia oraria 22-07 per tutti i tipi di rumore del traffico. In tal modo, il periodo di valutazione durante le ore diurne sarà ridotto dalle odierne 16 a 15 ore. Per quanto riguarda il rumore del traffico aereo, per il periodo notturno si deve mantenere l'approccio che prevede singole ore e completare le attuali tre ore singole con un'ulteriore ora singola al mattino dalle ore 06 alle ore 07. È inoltre indicato esaminare, analogamente a quanto avviene per il rumore del traffico aereo, l'opportunità di una valutazione supplementare dell'ora notturna più rumorosa per i restanti tipi di rumore del traffico, al fine di limitare i risvegli indotti dal rumore.

4.5 Differenziazione dei valori limite d'esposizione in funzione dei gradi di sensibilità (GS)

4.5.1 Regolamentazione attuale

I valori limite d'esposizione sono collegati alla pianificazione del territorio e a determinate zone d'utilizzazione mediante il sistema dei gradi di sensibilità (cfr. art. 43 OIF e

il capitolo 2.5). Con poche eccezioni, i valori limite d'esposizione sono suddivisi secondo gradi di sensibilità, nell'ambito dei quali le zone ricreative (grado di sensibilità I) e le zone puramente destinate all'abitazione (grado di sensibilità II) presentano valori limite d'esposizione più bassi rispetto alle zone miste e artigianali (grado di sensibilità III) e alle zone industriali (grado di sensibilità IV). Mentre oltre il 90% delle unità abitative in Svizzera sono assegnate a un grado di sensibilità II o III, le destinazioni abitative nel grado di sensibilità I o IV costituiscono l'eccezione (ad es. le abitazioni dei portinai nelle zone industriali del grado di sensibilità IV).

L'art. 43 OIF parte implicitamente dal presupposto che, durante lo svolgimento delle loro attività, le persone che si trovano in una zona di utilizzazione con un grado di sensibilità III si sentono fortemente molestate o disturbate solo a livelli superiori rispetto alle persone in una zona del grado di sensibilità II (zona puramente destinata all'abitazione). L'attuale regolamentazione dell'OIF con valori limite d'esposizione diversi per i gradi di sensibilità II e III attribuisce pertanto un carico fonico più elevato alla popolazione delle zone del grado di sensibilità III rispetto a quella delle zone del grado di sensibilità II.

4.5.2 Considerazioni

La differenziazione dei valori limite d'esposizione in quattro diversi gradi di sensibilità implica che anche la sensibilità dell'essere umano al rumore nelle varie zone d'utilizzazione (ad es. zone industriali rispetto a pure zone destinate all'abitazione) sia diversa. Dall'analisi dei dati del sondaggio SiRENE per le zone del grado di sensibilità II e III emerge tuttavia che la sensibilità al rumore, riferita dalle persone interpellate, per il rumore stradale e ferroviario, non dipende dal grado di sensibilità attribuito al luogo di residenza, mentre per il rumore del traffico aereo dipende solo in maniera esigua dallo stesso (cfr. Allegato A.3.4). In base alle prescrizioni della LPAmb, l'obiettivo della protezione contro il rumore consiste tuttavia nel proteggere in modo uguale tutte le persone ovunque esse risiedano. In tal senso, alla luce delle conoscenze illustrate, il mantenimento di un sistema che fissa valori limite d'esposizione differenti per le abitazioni in funzione del grado di sensibilità appare superato, rispettivamente non soddisfa l'obiettivo di protezione previsto dalla legge.

Per questo motivo, in relazione al rumore del traffico (rumore stradale, ferroviario e aereo) è opportuno equiparare i valori limite d'esposizione, perlomeno per quanto attiene ai gradi di sensibilità II e III. Ritenuto che i gradi di sensibilità per la zona di utilizzazione interessata si applicano integralmente a tutti i tipi di rumore e sono rilevanti anche per la valutazione caso per caso nell'ambito di tipi di rumore senza valori limite, l'equiparazione dei valori limite per i gradi di sensibilità II e III per i vari tipi di rumore del traffico non equivale a un'abolizione del grado di sensibilità in sé. Una simile equiparazione è stata d'altronde già effettuata in passato, ad esempio per

quanto riguarda il rumore del traffico aereo militare (cfr. in proposito l'Allegato 8 n. 21 OIF).

A prescindere da ciò, anche per i vari tipi di rumore del traffico resta opportuno fissare valori limite d'esposizione più bassi per il grado di sensibilità I (zone ricreative) e più alti per il IV (zone industriali) poiché per queste zone gli obiettivi di protezione differiscono da quelli del grado di sensibilità II e III. Mentre nelle zone del grado di sensibilità I con l'applicazione di valori limite d'esposizione più bassi si tiene conto di una maggiore esigenza di protezione contro il rumore, nelle zone del grado di sensibilità IV i valori limite d'esposizione più elevati possono essere giustificati dal fatto che tali zone non sono adatte all'utilizzo abitativo (ad eccezione delle abitazioni che devono trovarsi nell'area in questione per motivi aziendali).

I summenzionati risultati delle ricerche, nonché il presente rapporto, si riferiscono esclusivamente all'impatto del rumore del traffico (rumore stradale, ferroviario e aereo) e alla verifica dei relativi valori limite d'esposizione. Non si deve pertanto escludere che il sistema dei diversi gradi di sensibilità, con valori limite d'immissione diversi, continui a essere sensato e opportuno in relazione ad altri tipi di rumore, come i rumori quotidiani. Le presenti affermazioni non possono pertanto essere riferite a tutti i tipi di rumore in maniera generalizzata.

4.5.3 Conclusioni

Al fine di garantire una protezione unitaria della popolazione nella sfera abitativa, si devono equiparare i valori limite per il rumore del traffico (rumore stradale, ferroviario e aereo) previsti per i gradi di sensibilità II e III. Una assegnazione differenziata dei valori limite per i gradi di sensibilità I e IV è tuttavia giustificata alla luce dei diversi obiettivi di protezione. Indipendentemente dall'equivalenza menzionata, la suddivisione in quattro gradi di sensibilità deve essere mantenuta⁸¹.

4.6 Differenziazione in valori di pianificazione, valori limite d'immissione e valori d'allarme

4.6.1 Regolamentazione attuale

Oltre ai VLI, che separano i disturbi al benessere della popolazione ritenuti elevati da quelli non elevati, l'OIF contiene anche valori di pianificazione (VP) e valori d'allarme

⁸¹ Ciò anche in vista di normative (future) e della valutazione caso per caso nell'ambito di altri tipi di rumore, ad es. per i rumori quotidiani, e in particolare per il rumore prodotto dal vicinato proveniente da aziende del settore della ristorazione, dove valori limite differenziati per i gradi di sensibilità II e III risultano sensati.

(VA). I tre tipi di valori limite sono trattati brevemente qui di seguito (cfr. in proposito anche il capitolo 2.5).

Valori limite di immissione (VLI)

I VLI distinguono tra gli effetti nocivi o molesti ai sensi della legge e quelli che non lo sono. I VLI sono definiti anche «valori guida del diritto in materia di protezione contro il rumore» [1]. Il superamento dei VLI comporta numerose conseguenze giuridiche, come ad esempio l'obbligo di risanamento secondo l'art. 16 LPamb. Inoltre il VLI quale valore limite iniziale funge da riferimento per l'assegnazione del valore di pianificazione (VP) e del valore di allarme (VA).

Valori di pianificazione (VP)

Per la pianificazione di nuove zone edificabili e la protezione contro il rumore prodotto da nuovi impianti fissi, il Consiglio federale stabilisce VP per il rumore (art. 23 LPamb). Si tratta di una prescrizione imperativa. Fatte salve alcune eccezioni, i VP si situano sempre 5 dB al di sotto dei VLI. Secondo la giurisprudenza del Tribunale federale in materia di impianti, per i quali non si applicano valori limite, i VP mirano a descrivere un carico fonico in corrispondenza del quale la popolazione è al massimo leggermente molestata dal rumore⁸². A differenza dei VLI, i VP scaturiscono da riflessioni concettuali sulla protezione contro il rumore e non derivano (direttamente) da una relazione dose-effetto.

In concreto, i VP servono a proteggere dal rumore prodotto da nuovi impianti fissi, in quanto in linea di principio tali impianti possono essere costruiti solo se vengono rispettati almeno i VP. Inoltre, possono essere delimitate o urbanizzate nuove zone edificabili, su cui vengono realizzati edifici con locali sensibili al rumore, solo se i VP sono rispettati o possono esserlo mediante misure di pianificazione, sistemazione o costruzione (cfr. art. 24 cpv. 1 LPamb). In considerazione della loro funzione, i VP sono spesso ritenuti «valori di prevenzione». Essi non concretizzano tuttavia in modo esaustivo il principio di prevenzione poiché secondo l'art. 11 cpv. 2 LPamb la prevenzione si applica indipendentemente dall'impatto ambientale esistente. Ciò significa che devono essere adottate misure cautelari anche nel caso in cui i VP siano rispettati.

Valori d'allarme (VA)

I VA servono in primo luogo a valutare l'urgenza del risanamento fonico degli impianti (art. 19 LPamb). Il legislatore ha volutamente formulato l'art. 19 come disposizione potestativa durante il processo di genesi della LPamb. In tal modo, la decisione sulla necessità di VA per un determinato tipo di rumore è stata lasciata alla discrezione del Consiglio federale. I VA non sono tuttavia considerati soltanto un criterio per valutare l'urgenza di risanamenti, ma anche un limite massimo per determinate facilitazioni (art. 14 OIF). Inoltre, ai sensi dell'art. 20 LPamb, essi fungono da soglia per i provvedimenti

⁸² Cfr. sentenze del TF 1C_601/2018, DTF 130 II 32.

d'isolamento acustico, come ad esempio l'installazione di finestre insonorizzate negli edifici che si trovano nella zona d'influenza di impianti fissi. Con riferimento al messaggio concernente la LPAmb⁸³, si può quindi partire dal presupposto che i VA siano indispensabili per le strade, gli aeroporti e le ferrovie.

Tabella 5: sopra: livello di valutazione L_r per i VP, i VLI e i VA in caso di rumore stradale (RS), di rumore ferroviario (RF) e di rumore aereo (RA); sotto: differenze tra VLI e VP, nonché VA e VLI, e differenze tra giorno e notte. Tutte i dati sono indicati in dB. In giallo sono indicati i dati che divergono dal principio dei 5dB tra VP, VLI e VA e dal principio dei 10dB tra giorno e notte.

ES	Giorno ^a								
	VP			VLI			VA		
	RS	RF	RA	RS	RF	RA	RS	RF	RA
I	50	50	53	55	55	55	65	65	60
II	55	55	57	60	60	60	70	70	65
III	60	60	60	65	65	65	70	70	70
IV	65	65	65	70	70	70	75	75	75

ES	Notte ^b														
	VP					VLI					VA				
	RS	RF	RA1	RA2	RA3	RS	RF	RA1	RA2	RA3	RS	RF	RA1	RA2	RA3
I	40	40	43	43	43	45	45	45	45	45	60	60	55	55	55
II	45	45	50	47	47	50	50	55	50	50	65	65	65	60	60
III	50	50	50	50	50	55	55	55	55	55	65	65	65	65	65
IV	55	55	55	55	55	60	60	60	60	60	70	70	70	70	70

ES	VLI - VP									VA - VLI								
	Giorno ^a					Notte ^b				Giorno ^a					Notte ^b			
	RS	RF	RA	RS	RF	RA1	RA2	RA3		RS	RF	RA	RS	RF	RA1	RA2	RA3	
I	5	5	2	5	5	2	2	2	10	10	5	15	15	15	10	10	10	10
II	5	5	3	5	5	5	3	3	10	10	5	15	15	15	10	10	10	10
III	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10
IV	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10

ES	Giorno - Notte														
	VP					VLI					VA				
	RS	RF	RA1	RA2	RA3	RS	RF	RA1	RA2	RA3	RS	RF	RA1	RA2	RA3
I	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5
II	10	10	7	10	10	10	10	5	10	10	5	5	0	5	5
III	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5
IV	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5

Legenda:

^a Ore 06–22

^b RS e RF: ore 22–06; RA1 : 22–23 h, RA2 : 23–00 h, RA3 : 05–06 h

4.6.2 Considerazioni

VLI e VP

I VLI e i VP devono essere stabiliti per legge e pertanto mantenuti. Ad eccezione del rumore del traffico aereo, i VP sono inferiori di 5 dB rispetto ai VLI. Ciò si basa sull'idea che anche in caso di un eventuale successivo aumento del rumore o della successiva realizzazione di ulteriori impianti (paragonabili) non possano verificarsi immissioni eccessive. Con una differenza di 5 dB s'intende garantire che le immissioni pari ai VP, prodotte da ulteriori impianti analoghi (massimo 2) non provochino ancora un superamento dei VLI. Per il rumore del traffico aereo, per motivi legati alla pianificazione del territorio, i VP sono stati fissati solo 2 dB (grado di sensibilità I) e 3 dB (grado di sensibilità II) al di sotto dei VLI (cfr. tabella 5). Questa differenza inferiore a 5 dB tra VLI e

⁸³ Messaggio concernente una legge sulla protezione dell'ambiente, FF 1979 III 713

VP rappresenta un compromesso tra gli interessi di protezione della popolazione e le esigenze di sviluppo degli insediamenti.⁸⁴

VA

Lo scopo primario dei VA è ormai obsoleto poiché per le strade, le ferrovie e gli aeroporti i termini di risanamento sono scaduti e i lavori di risanamento ancora in sospeso sono pianificati e prioritizzati con altri strumenti. Rimangono, tuttavia, ancora le altre due funzioni (limite massimo per facilitazioni in materia di risanamento e limite per i provvedimenti d'isolamento acustico), che adempiono anche oggi il loro scopo. Per questo motivo occorre mantenere i VA.

La differenza tra il VLI e il VA si situa attualmente tra i 5 e i 15 dB per i tre tipi di rumore del traffico nell'OIF e dipende dal tipo di rumore del traffico, dal grado di sensibilità e dai valori limite d'esposizione per il giorno e la notte (cfr. in proposito la tabella 5). Non è possibile trovare una giustificazione fondata su criteri di protezione della salute per queste diverse definizioni dei VA.

4.6.3 Conclusioni

I VLI sono indispensabili e devono essere mantenuti. Ai fini di una protezione lungimirante e duratura contro il rumore, anche i VP devono essere mantenuti. Sebbene l'art. 19 LPAmb relativo alla determinazione dei VA sia una disposizione potestativa il cui scopo principale è stato nel frattempo raggiunto, anche i VA devono essere mantenuti in considerazione delle loro funzioni supplementari.

4.7 Schema dei valori limite

4.7.1 Regolamentazione attuale

Con *schema dei valori limite* si definisce la griglia per i valori limite che deriva, per ogni tipo di rumore, dalle differenziazioni in base ai periodi di tempo, ai gradi di sensibilità e ai tipi di valori limite (VLI, VP, VA) (cfr. art. 2 cpv. 5 OIF). Nello schema dei valori limite attualmente definito nell'OIF, i principi di valutazione del rumore finora discussi nei capitoli da 4.4 a 4.6 si intersecano. I valori limite d'esposizione ivi riportati sono indicati come livello di valutazione L_r e sono:

- (a) separati per periodo diurno e notturno, con il giorno nella fascia oraria 06-22 e la notte in quella 22-06 (con eccezioni nel caso del rumore del traffico aereo);

⁸⁴ Rapporto esplicativo dell'11 aprile 2001 concernente la modifica dell'OIF

- (b) scaglionati in quattro diversi gradi di sensibilità (GS I, GS II, GS III, GS IV) e
- (c) suddivisi in VA, VLI e VP.

La valutazione del carico fonico avviene sulla base del livello di valutazione L_r , che successivamente è confrontato con il relativo valore limite di esposizione. Il livello di valutazione L_r viene determinato mediante misurazione o calcolo e comprende l'applicazione di correzioni del livello K (cfr. capitolo 4.9). Tutti e tre i tipi di rumore del traffico condividono un VLI di 60 dB come valore di riferimento per il periodo diurno nel grado di sensibilità II, dal quale sono poi determinati gli altri valori limite d'esposizione (cfr. tabella 5). Le motivazioni per i valori limite inferiori di 10 dB nel periodo notturno sono state discusse nel capitolo 4.4.1. La struttura di principio dello schema dei valori limite nell'OIF è illustrata nella tabella 6, usando come esempio il rumore stradale (per gli altri tipi di rumore lo schema dei valori limite diverge solo leggermente da tale struttura).

Tabella 6: struttura di principio dello schema dei valori limite nell'OIF, con valori limite d'esposizione per il livello di valutazione (L_r) sull'esempio del rumore stradale

Grado di sensibilità	Giorno, ore 06-22			Notte, ore 22-06		
	VP	VLI	VA	VP	VLI	VA
I	50	55	65	40	45	60
II	55	60	70	45	50	65
III	60	65	70	50	55	65
IV	65	70	75	55	60	70

4.7.2 Considerazioni

I valori limite d'esposizione utilizzati nell'OIF, che nella maggior parte dei casi sono uguali per tutti e tre i tipi di rumore del traffico, danno l'impressione di una valutazione identica (o di un carico sonoro identico) anche se, a causa delle loro diverse caratteristiche, a parità di L_{Aeq} i diversi tipi di rumore disturbano o molestano con intensità diversa. Come illustrato nel capitolo 4.9.1, i diversi effetti sono presi in considerazione mediante correzioni del livello (K). Con questo modo di procedere, la valutazione dell'effetto da limitare provocato da un determinato tipo di rumore si esprime non solo direttamente nei valori limite d'esposizione, ma anche nelle relative correzioni del livello. Considerate le espressioni matematiche utilizzate per molti valori K negli allegati 3, 4 e 5 dell'OIF, la valutazione del rumore non è facilmente comprensibile ai non specialisti. Sarebbe pertanto opportuno verificare se un sistema che prevede, per ogni tipo di rumore, valori limite individuali, ossia diversi, sia preferibile all'attuale schema dei valori limite. Un tale sistema avrebbe il vantaggio di permettere di leggere direttamente, sulla base del livello dei valori limite d'esposizione, in quale misura i tre tipi di

rumori del traffico si differenziano nel loro effetto. Lo svantaggio consisterebbe nel fatto che, nell'esecuzione quotidiana, per la valutazione del rumore si dovrebbe tener conto di valori limite di esposizione ogni volta diversi in quanto dipendenti dal tipo di rumore.

4.7.3 Conclusioni

La Commissione propone di attenersi in larga misura al concetto attuale, fissando per tutti i tipi di rumore un valore unitario prestabilito dei VLI e determinando il relativo livello di valutazione mediante correzioni del livello. Nello schema dei valori limite che ne deriva (cfr. la seguente tabella 7), i valori limite d'esposizione si differenziano in base ai gradi di sensibilità e al periodo diurno e notturno. Il VLI del grado di sensibilità II pari a 60 dB per il periodo diurno e 50 dB per il periodo notturno funge da valore centrale. Tra il giorno e la notte sussiste quindi una differenza (costante) di 10 dB. Conformemente alla raccomandazione della Commissione, i VLI per i gradi di sensibilità II e III sono tuttavia equiparati (cfr. capitolo 4.5.3). Di norma, le differenze dovrebbero essere pari a 5 dB tra il grado di sensibilità I e i gradi di sensibilità II/III e pari a 10 dB tra i gradi di sensibilità II/III e il grado di sensibilità IV. I VLI devono essere intesi come livello di valutazione L_r . Per creare i livelli di valutazione sono necessarie delle correzioni del livello K, che sono discusse nel capitolo 4.9.

Tabella 7 Schema dei valori limite raccomandato per il valore limite di immissione VLI come livello di valutazione $L_{r,giorno}$ e $L_{r,notte}$.

GS	$L_{r,giorno}$ (su 15 o 24 ore)	$L_{r,notte}$ (su 9 ore)
I	55	45
II	60	50
III		
IV	70	60

4.8 Determinazione dei valori limite per tipo di rumore

4.8.1 Descrittori acustici per il periodo diurno e notturno

Periodo diurno

Per valutare il periodo diurno, è possibile utilizzare L_{den} , con la suddivisione in ore diurne 07-19, ore serali 19-22 e ore notturne 22-07 e le relative maggiorazioni (+0 dB, +5 dB, +10 dB) (questa versione di L_{den} è indicata di seguito con $L_{den,07-19-22-07h}$) oppure L_{Aeq} calcolato in media sulle 15 ore diurne (di seguito denominato $L_{day,07-22}$).

In linea di massima, entrambe le varianti di valutazione illustrate sopra per il periodo diurno ottempererebbero ugualmente bene allo scopo di protezione. Ciascuna delle due varianti presenta vantaggi e svantaggi. La variante con $L_{den,07-19-22-07h}$ quale descrittore acustico (variante 1) non è nota in ambito esecutivo e genererebbe presso gli organi d'esecuzione un onere iniziale rilevante per la determinazione del carico fonico, mentre la variante con $L_{day,07-22h}$ (variante 2) è oggi consolidata nella prassi (ad eccezione del riferimento temporale differente). D'altro canto, la variante 2 è realizzabile, per quanto riguarda l'assegnazione dei valori limite da effettuare nel presente rapporto, solo con una conversione tra L_{den} e $L_{day,07-22h}$ che comporta alcune incertezze (cfr. Allegato A.3.8). Questa conversione decadrebbe in larga misura nella variante 1 con L_{den} (ma in linea di principio non completamente, cfr. sotto) poiché i valori limite generici per il periodo diurno (cfr. tabella 4) si riferiscono già al descrittore acustico L_{den} . Dal punto di vista scientifico, la variante 1 con $L_{den,07-19-22-07h}$ presenta lievi vantaggi. A tale proposito si deve tuttavia considerare che la maggior parte dei descrittori acustici sono altamente correlati tra loro [12] e che quindi l'eventuale modesto guadagno di un passaggio al descrittore acustico $L_{den,07-19-22-07h}$ nella variante 1 deve essere confrontato con il dispendio che ci si deve attendere (modifica di pratiche ormai abituali, adeguamento di regolamenti, nuovo calcolo del carico fonico, ecc.).

Periodo notturno

Per la valutazione del periodo notturno è idoneo L_{Aeq} calcolato sul periodo di valutazione raccomandato nella fascia oraria 22-07 (cfr. capitolo 4.4.3). Per quanto riguarda il rumore stradale e ferroviario, si tratta delle 9 ore della fascia oraria 22-07 ($L_{night,22-07h}$), mentre per il rumore del traffico aereo si raccomanda di mantenere l'attuale approccio delle singole ore notturne e di prevedere una valutazione supplementare sotto forma di un'ulteriore ora singola nella fascia oraria 06-07 (cfr. capitolo 4.8.3).

4.8.2 Valori limite espressi tramite i descrittori acustici $L_{den,07-19-22-07h}$, $L_{day,07-22h}$ e $L_{night,22-07h}$

Nel capitolo precedente sono stati proposti diversi descrittori acustici per la loro implementazione nello schema dei valori limite ($L_{den,07-19-22-07h}$, $L_{day,07-22h}$ e $L_{night,22-07h}$). Questi descrittori acustici divergono in misura maggiore o minore dai descrittori acustici dei valori limite generici di cui alla tabella 4: mentre i valori limite generici sono indicati mediante il descrittore acustico L_{den} (con le fasce orarie 07-19, 19-23, e 23-07 utilizzate per lo più negli studi fondamentali impiegati per la determinazione del valore generico L_{den}), la Commissione raccomanda l'utilizzo di una versione leggermente modificata del L_{den} , in cui il periodo serale dura solo 3 ore, mentre il periodo notturno 9 oppure un L_{day} determinato nella fascia oraria 07-22, quindi su 15 ore. Per il periodo notturno viene proposto un L_{night} su 9 ore nella fascia oraria 22-07, anziché su fascia oraria 23-07, su cui si basano la maggior parte degli studi sugli effetti del rumore notturno. Per poter dunque dedurre approssimativamente dal valore limite generico sotto forma di L_{den} un valore limite espresso con $L_{den,07-19-22-07h}$ o con $L_{day,07-22h}$, e dal valore limite generico sotto forma di L_{night} il relativo valore limite espresso con il descrittore acustico $L_{night,22-07h}$, occorre determinare di quanto queste diverse grandezze si discostano le une dalle altre in media (e in modo rappresentativo per la Svizzera). I relativi parametri di conversione sono stati calcolati ed elencati nella tabella A.T.6 dell'Allegato; essi si basano sui carichi fonici rilevati nell'ambito dei campionamenti effettuati nel sondaggio SiRENE. Questi parametri di conversione sono stati utilizzati per calcolare i valori limite determinanti per ogni tipo di rumore nelle sottostanti tabelle 8 e 9. I risultati della conversione sono stati arrotondati ogni volta matematicamente a 1 dB.

Tabella 8 Valori limite del periodo diurno suddivisi per tipo di rumore (VLI grado di sensibilità II/III) ed espressi mediante i descrittori acustici L_{den} , $L_{den,07-19-22-07h}$ e $L_{day,07-22h}$ in dB(A)

Tipo di rumore:	L_{den}^*	$L_{den,07-19-22-07h}$	$L_{day,07-22h}$
Rumore stradale	62	62	60
Rumore ferroviario	65	65	59
Rumore aereo	55	55	54

* valore limite generico secondo la tabella 4

Tabella 9 Valori limite del periodo notturno suddivisi per tipo di rumore (VLI grado di sensibilità II/III), espressi mediante gli descrittori acustici L_{night} e $L_{night,22-07h}$ in dB(A)

Tipo di rumore:	L_{night}^*	$L_{night,22-07h}$
Rumore stradale	52	52
Rumore ferroviario	56	56
Rumore aereo	43	45

* valore limite generico secondo la tabella 4

4.8.3 Valori limite per singole ore per il rumore del traffico aereo notturno

La valutazione del rumore aereo durante il periodo notturno, proposta qui di seguito, si discosta dalle modalità di valutazione del rumore stradale e ferroviario. Ciò è dovuto, oltre all'obiettivo di limitare i risvegli (cfr. capitolo 4.4.1), al divieto nazionale di volo notturno (art. 39 OSIA). Ritenuto che in Svizzera sono vietati decolli e atterraggi nelle ore notturne centrali (00-05), non ha senso fissare un valore limite per il rumore aereo per questa fascia oraria. Per questo motivo si raccomanda una valutazione con singoli valori limite di 1 ora nelle ore notturne marginali. Tuttavia, poiché d'ora in poi il periodo notturno durerà nove ore, risulteranno *quattro* valori limite per singole ore al posto dei tre oggi in uso, ossia i valori limite per le ore 22-23, 23-00, 05-06 e 06-07.

Quale punto di partenza per il calcolo dell'ammontare di questi quattro valori limite per singole ore è stato considerato il valore limite notturno per questo tipo di rumore, mediato su 9 ore e pari a 45 dB secondo la tabella 9. Se si concentra l'energia sonora del $L_{night,22-07h}$ (ossia 45 dB su 9 ore) sulle quattro ore con possibile attività aerea (ore 22-23, 23-00, 05-06, 06-07), per queste 4 ore si ottiene un livello energetico medio di 48.5 dB. In queste quattro ore si dovrebbe rispettare questo livello al fine di non superare il valore limite per questo tipo di rumore. Tuttavia, poiché grazie al lungo lasso di tempo senza rumore di (almeno) 5 ore⁸⁵ nella ore centrali della notte sussiste una possibilità di compensazione dei disturbi provocati dal rumore⁸⁶, che non esiste o non in ugual misura per il rumore stradale o per quello ferroviario, è ragionevole che il valore di 48.5 dB (in media sulle quattro ore singole) possa anche essere superato. Tuttavia, tale compensazione non può essere troppo elevata, in quanto si può parimenti presumere che gli studi empirici e le meta-analisi [14, 24, 30, 66] utilizzati per determinare il valore limite per questo tipo di rumore di 45 dB si basino prevalentemente sul carico fonico del traffico aereo, che nelle ore centrali della notte dovrebbe

⁸⁵ Le fasce orarie al momento effettivamente esenti da rumore aereo secondo i regolamenti d'esercizio degli aeroporti di Zurigo e Ginevra sono più lunghe rispetto al minimo di 5 ore prescritto dall'OSIA (Ginevra: ore 00:00–06:00; Zurigo: ore 23:30–06:00).

⁸⁶ Argomentazione del gruppo di lavoro «Valori limite d'esposizione del rumore aereo e flessibilizzazione della pianificazione del territorio» istituito dal DATEC [81].

altresì essere stato notevolmente inferiore rispetto a quello nelle ore marginali notturne, e quindi l'effetto compensativo descritto è già considerato, perlomeno parzialmente, nel valore limite generico e in quello per tipo di rumore. L'effetto di compensazione dovrebbe pertanto esaurirsi al massimo in pochi decibel al di sopra del valore di 48.5 dB (valore medio sulle 4 ore). Ritenuto che non è possibile quantificare esattamente tale effetto di compensazione sulla base di dati empirici, la Commissione è stata costretta a determinare un valore: essa ha deciso di valutare l'effetto di compensazione con un massimo di 2.5 dB; ne risulta (in parole semplici) che il livello energetico medio sulle 4 ore dovuto al rumore del traffico aereo non dovrebbe superare i 51 dB.

Successivamente, è stato necessario chiarire il modo in cui i valori limite possono essere definiti singolarmente in ciascuna delle quattro ore da valutare (22-23, 23-24, 05-06, 06-07) affinché, da un lato, rispettino il citato criterio di 51 dB come valore medio energetico sulle 4 ore notturne in presenza di attività del traffico aereo e, dall'altro, riflettano adeguatamente le differenze di sensibilità a questo tipo di rumore in queste quattro ore singole. A tale proposito sono state fatte le seguenti riflessioni:

- Per la seconda (23-00) e la terza (05-06) ora notturna, è opportuno fissare un valore limite inferiore rispetto a quello per le ore contigue al periodo diurno (22-23 e 06-07), e questo in quanto durante la notte si deve in linea di massima proteggere il sonno e nella prima e nell'ultima ora della notte la profondità del sonno della popolazione è già ridotta (cfr. figura A.A.2 nell'Allegato A.3.1).
- Il fatto che, secondo la figura A.A.5 (cfr. Allegato A.3.2), la prima (22-23) e l'ultima (06-07) ora notturna presentino valori di sensibilità al rumore in funzione del periodo diurno praticamente identici, deve essere interpretato nel senso che è possibile applicare valori limite uguali per queste due ore.
- Tenuto conto del fatto che la quota dormiente della popolazione di tutte le quattro ore in discussione raggiunge il suo massimo nella fascia oraria 05-06 e che, dal punto di vista della salute, occorre evitare per quanto possibile risvegli indotti dal rumore nelle prime ore del mattino [82], l'ora tra le 05:00 e le 06:00 è soggetta a un valore limite inferiore rispetto alla prima e all'ultima ora della notte.
- Al fine di ridurre al minimo il carico fonico causato dal traffico aereo durante il periodo di addormentamento, è parimenti opportuno che la seconda ora della notte (23-24) sia soggetta allo stesso valore limite della terza ora notturna (05-06).

Alla luce delle suddette riflessioni, si raccomandano i valori limite di immissione per il rumore del traffico aereo riferiti alle singole ore (grado di sensibilità II e grado di sensibilità III) riportati nella tabella 10.

Tabella 10 VLI raccomandati (grado di sensibilità II/III) per il rumore del traffico aereo durante il periodo notturno, in dB (A)

$L_{Aeq,22-23h}$	$L_{Aeq,23-24h}$	$L_{Aeq,05-06h}$	$L_{Aeq,06-07h}$
52	49	49	52

Dai valori indicati nella tabella 10 risulta un valore energetico medio di 50.8 dB. Ritenuto che, su un periodo di tempo di 9 ore, di cui 5 ore nelle ore centrali della notte (00-05), sono vietati i voli commerciali, dai valori risulta un L_{Aeq} medio di 47.2 dB. Questo valore è superiore di 2.2 dB al valore limite $L_{night\ 22-07h}$ per questo tipo di rumore di 45 dB. I valori proposti rispettano quindi il criterio di un effetto compensativo massimo di 2.5 dB, introdotto al momento della determinazione.

4.9 Livelli di valutazione e correzioni di livello

4.9.1 Regolamentazione attuale

Nell'ambito della determinazione del carico fonico rilevante causato dal traffico secondo l'OIF, le correzioni variabili del livello servono a trasformare il livello energetico medio L_{eq} in un livello di valutazione L_r , in modo che possano essere prese in considerazione caratteristiche particolari del rumore o del tipo di rumore valutato in maniera più adatta o più efficace a descrivere il disturbo. Nell'OIF esistono attualmente tre tipi di correzioni di livello nell'ambito della valutazione del rumore del traffico stradale, ferroviario ed aereo:⁸⁷

Il primo tipo di correzione di livello riguarda il tipo di rumore stesso (rumore del traffico stradale, ferroviario o aereo). Essa tiene conto del fatto che diversi tipi di rumore con lo stesso livello energetico medio generano effetti di diversa intensità. Tali correzioni del livello, in questo caso specifiche denominate anche «correzioni di normalizzazione», hanno lo scopo di adeguare il livello di valutazione di un determinato tipo di rumore in modo da poter utilizzare gli stessi valori limite d'esposizione per tutti i tipi di rumore (cfr. in proposito anche il capitolo 4.7).

Il secondo tipo di correzione di livello considera l'effetto di diversi volumi di traffico (numero di veicoli, velivoli o treni all'ora). L'attuale regolamentazione dell'OIF prevede tali correzioni di livello dipendenti dal volume di traffico nel caso del rumore stradale, ferroviario nonché aereo dell'aviazione leggera.

⁸⁷ Per altri tipi di rumore, nell'OIF si applicano ulteriori correzioni del livello, che tuttavia non sono trattate nel presente rapporto. (Per evitare incomprensioni: le correzioni del livello K1, K2 e K3 nell'OIF *non* corrispondono al primo, al secondo e al terzo tipo di correzione di livello).

Il terzo tipo di correzione di livello tiene conto delle caratteristiche particolarmente moleste di un rumore, i cui effetti non possono essere considerati in modo adeguato mediante il livello energetico medio L_{Aeq} . Tali correzioni di livello si ritrovano ad esempio nell'ambito del rumore ferroviario e stradale, e tengono conto dello specifico effetto di disturbo causato dal rumore durante l'esercizio di manovra (nel caso della ferrovia) o dello stridio in curva causato dal rumore delle rotaie sulle strade.

Le summenzionate correzioni di livello sono attuate negli allegati dell'OIF 3 per il rumore del traffico stradale, 4 per il rumore ferroviario e 5 per il rumore degli aerodromi civili come segue:

Rumore del traffico stradale

La Commissione di allora ha stabilito che l'effetto da limitare durante il giorno e per il grado di sensibilità II mediante un VLI deve essere fissato per tutti i tipi di rumore in corrispondenza del livello energetico medio (L_{Aeq}), in cui il 25% della popolazione residente si è sentito fortemente molestato. Per il rumore stradale, ciò corrispondeva a un L_{Aeq} di 60 dB durante il periodo diurno. Questo valore è divenuto il valore limite unitario per il VLI nel grado di sensibilità II. Di conseguenza, nell'OIF non sussiste alcuna correzione di normalizzazione (correzione di livello del primo tipo) per il rumore stradale ed il livello di valutazione L_r per lo stesso equivale essenzialmente al L_{Aeq} per il corrispondente periodo di tempo (giorno o notte). In caso di meno di 100 veicoli in media all'ora o al di sotto di 1600 veicoli di giorno e di 800 veicoli di notte, si applica tuttavia una correzione di livello del secondo tipo in funzione del volume di traffico, che oscilla tra -5 e 0 dB (cfr. in proposito l'allegato 3, numero 35 OIF). La Commissione non è stata in grado di individuare l'origine o la motivazione empirica di tale correzione. Sussiste inoltre un'ulteriore correzione di livello (del terzo tipo), che tiene conto dello stridio in curva dei veicoli ferroviari sulle strade⁸⁸ (cfr. allegato 3, numero 35 cpv. 2 OIF).

Rumore del traffico ferroviario

I valori limite d'esposizione per il rumore ferroviario sono stati sviluppati praticamente contemporaneamente a quelli del rumore stradale negli anni Settanta e Ottanta. Tra questi due tipi di rumore si era riscontrata una differenza nella percentuale di persone fortemente molestate, corrispondente a una differenza di livello di circa 5 dB, con un minor numero di persone disturbate dal rumore ferroviario (ossia, a parità di livello, il rumore ferroviario provocava un disturbo minore rispetto al rumore stradale). I livelli energetici medi (L_{Aeq}) per il rumore ferroviario sono pertanto corretti nell'OIF, senza

⁸⁸ Il rumore dei veicoli ferroviari sulle strade (ad es. tram) è attribuito nell'OIF al rumore stradale.

eccezioni, con una correzione minima di livello di -5 dB⁸⁹ (correzione di livello del primo tipo).⁹⁰ Questa correzione si basa principalmente sul tipo di rumore ed è stata finora motivata dalla prevedibilità degli eventi (in considerazione dell'orario per lo più fisso dei treni), dalle pause in parte lunghe tra gli stessi e dalla loro durata limitata [83]. Inoltre, i livelli di valutazione per il periodo diurno e notturno sono ulteriormente ridotti in funzione del numero di passaggi dei treni nella rispettiva fascia oraria. Ritenuto che nell'OIF il periodo notturno comprende solo 8 ore, mentre il periodo diurno 16 ore, di notte, a parità di frequenza dei treni (numero medio di treni all'ora), la correzione di livello è ancora più marcata rispetto a quella del giorno (ossia risulta «negativa»; la valutazione è meno severa di notte). Non esiste alcuna motivazione per tutto ciò. Questa correzione di livello (del secondo tipo) viene infine combinata con la prima, dando origine ad una correzione complessiva, che inizia da -5 dB e può giungere fino a un massimo di -15 dB (cfr. allegato 4, numero 33 cpv. 1 OIF). Sussiste inoltre una correzione di livello del terzo tipo, ma questa volta di segno positivo (ossia la valutazione è più severa), che tiene conto dello speciale effetto di disturbo del rumore dell'esercizio di manovra dei treni (cfr. allegato 4, numero 33 cpv. 2 OIF).

Rumore del traffico aereo

L'OIF contiene valori limite d'esposizione sia per il rumore del traffico di velivoli piccoli, sia per il rumore del traffico complessivo di velivoli piccoli e grandi, nonché per il rumore del traffico di aerodromi civili su cui circolano esclusivamente elicotteri (eliporti). Ad eccezione degli eliporti, in cui come grandezze di valutazione si applica il livello massimo medio ponderato A, il descrittore acustico applicabile è L_{Aeq} . Non si applica una correzione di livello del primo tipo. Per contro, è prevista una correzione di livello del secondo tipo nell'ambito della determinazione del rumore dei velivoli piccoli, la quale si basa su uno studio relativo agli effetti di disturbo provocati dal rumore di tali velivoli [84]. La correzione dipende dal numero annuo di movimenti e viene sommata al L_{Aeq} ; ciò significa che più il numero di movimenti è elevato, maggiore è la correzione. In caso di meno di 15 000 movimenti all'anno, la correzione decade.

Per quanto riguarda il rumore dell'aviazione civile di aeroporti con velivoli di grandi dimensioni, il livello di valutazione corrisponde essenzialmente al livello energetico medio ponderato A (L_{Aeq}) dell'esercizio sia di velivoli grandi sia piccoli, con l'aggiunta della suddetta correzione di livello in funzione della quantità di traffico, che si applica però solo nel caso del livello di valutazione parziale dei velivoli piccoli e che per i tre aeroporti nazionali svizzeri risulta trascurabile in considerazione della predominanza di velivoli grandi.

⁸⁹ La correzione di livello di -5 dB significa che dal livello energetico medio effettivamente misurato o calcolato (L_{Aeq}) vengono *dedotti* 5 dB.

⁹⁰ Questa correzione di livello viene spesso definita anche «bonus ferroviario».

4.9.2 Considerazioni

Le correzioni di livello del secondo e terzo tipo servono a considerare nel livello di valutazione specifiche caratteristiche non energetiche di un determinato tipo di rumore. Si dovrebbe pertanto verificare sulla base di studi mirati sull'effetto del fastidio o del disturbo se e quali correzioni sono necessarie. Le relative conoscenze sono illustrate qui di seguito.

Rumore del traffico stradale

Essendo possibile che il L_{Aeq} non riproduca tutte le caratteristiche fastidiose o moleste del rumore stradale, la Commissione ha esaminato in quali ambiti sono indicate correzioni del L_{Aeq} e l'entità, che tali correzioni dovrebbero avere. Il sondaggio condotto presso la popolazione svizzera nel quadro dello studio SiRENE ha ad esempio mostrato che il rumore stradale continuo, a parità di livello, è più molesto del rumore stradale con eventi isolati marcati (ossia situazioni di carico fonico con un'elevata intermittenza) [85]. Ciò giustificerebbe tendenzialmente una correzione negativa del livello in caso di bassa densità di traffico. In corrispondenza del punto finale infarto cardiaco è tuttavia emerso un quadro un po' meno chiaro dell'influsso, indipendente dal L_{Aeq} , del numero di movimenti o dell'intermittenza [30], cosicché per la determinazione di una correzione di livello in funzione del numero di movimenti, che si riferisce a tutti gli effetti, sarebbero necessari ulteriori chiarimenti. Per quanto riguarda i punti finali molestia e disturbi del sonno, una tale correzione appare tuttavia opportuna. Secondo l'analisi di cui all'Allegato A.3.5, in caso di bassa densità di traffico (meno di 32 veicoli all'ora), al livello di valutazione potrebbe essere applicata una correzione di livello del secondo tipo pari a circa -5 dB.

Al momento non è ancora chiaro se per le tratte a bassa velocità (zone 30) sia ammissibile una correzione (negativa) del livello, ad esempio in quanto le pendenze dell'andamento del livello sono meno ripide a bassa velocità e pertanto ridurrebbero anche il potenziale di disturbo o la probabilità di risvegli. Tuttavia, al momento non sono ancora disponibili i relativi studi empirici.

Rumore del traffico ferroviario

Attuali studi svizzeri sui fastidi [13] e sui disturbi del sonno indotti dal rumore ferroviario riferiti dalle persone interpellate [14] mostrano che la correzione fortemente negativa del livello attuata nell'OIF per il rumore ferroviario non è giustificata, perlomeno per quanto riguarda gli effetti citati. Questo è quanto indicano le analisi di cui all'Allegato A.3.5 e la figura A.A.11. È ipotizzabile che ciò sia dovuto a cambiamenti acustici legati all'esercizio nel traffico ferroviario, in particolare all'aumento della densità del traffico e delle velocità di marcia. L'aumento delle velocità di marcia fa salire e poi calar più rapidamente i livelli al passaggio dei treni. In questo modo, le pendenze nella curva

dell'andamento del livello in funzione del tempo diventano più ripide. Studi sul campo e di laboratorio mostrano ora che, proprio nel caso del rumore ferroviario, le pendenze più ripide possono essere associate a disturbi del sonno, che si manifestano in una maggiore probabilità di svegliarsi o di reagire al rumore dei treni [86-89].

Per il rumore ferroviario, le analisi distinte di cui all'Allegato A.3.5 non evidenziano alcun influsso significativo da parte del numero di eventi ferroviari sulle relazioni dose-effetto per quanto attiene alla molestia o ai disturbi del sonno riferiti dalle persone interpellate. Con la dovuta cautela, si può dunque concludere che, perlomeno per quanto riguarda i punti finali «molestia» e «disturbi del sonno», non si giustifica la correzione di livello in funzione del numero di movimenti dell'attuale OIF.

Rumore del traffico aereo

Uno studio, avviato alcuni anni fa dalla Commissione per esaminare le cause della tendenza all'aumento del disturbo a parità di livello nel caso del rumore del traffico aereo relativo ai grandi velivoli («Progetto $L_{eq}+X$ », [90]), ha evidenziato un effetto del numero di movimenti degli aerei sul disturbo che va oltre all'effetto puramente spiegabile dal punto di vista energetico, fermo restando che la maggior parte della varianza del disturbo continua a essere spiegata mediante il L_{Aeq} . I risultati di questo studio sono tuttavia piuttosto difficili da interpretare o troppo disomogenei per poterne dedurre, in modo conclusivo, una correzione di livello in funzione del numero di movimenti per il rumore aereo provocato dai grandi velivoli.

4.9.3 Conclusioni

Nel capitolo 4.7.3 è stato raccomandato di fissare il VLI in modo uniforme a 60 dB durante il giorno e a 50 dB durante la notte nelle zone con grado di sensibilità II e III. Se per tutti i tipi di rumore del traffico viene stabilito un VLI uniforme, allora per tutti i tipi di rumore si devono introdurre correzioni di normalizzazione distinte per tipo di rumore (ossia correzioni di livello del primo tipo) che tengano conto della diversa intensità dell'effetto del rispettivo tipo di rumore sul livello del VLI unificato. Fissando il VLI a 60 dB di giorno e a 50 dB di notte, ai fini della normalizzazione dei valori limite per tipo di rumore indicati nelle tabelle 8 e 9 risultano le correzioni di normalizzazione K indicate nella tabella 11.

Tabella 11: correzioni di normalizzazione K [in dB] per i descrittori acustici raccomandati

Tipo di rumore	Correzioni di normalizzazione K [dB]		
	L _{den,07-19-22-07h}	L _{day,07-22h}	L _{night,22-07h}
Rumore stradale	-2	0	-2
Rumore ferroviario	-5	+1	-6
Rumore aereo	+5	+6	(+5)*

* Ritenuto che, secondo la raccomandazione della Commissione, per il rumore del traffico aereo vengono valutate quattro ore singole e non il periodo notturno nel suo insieme, la correzione di normalizzazione +5 costituisce un valore teorico che non viene applicato. Per questo motivo è stata posta tra parentesi.

Dopo aver ponderato i vantaggi e gli svantaggi, si raccomanda di rinunciare a correzioni di livello del secondo tipo (ossia a correzioni che dipendono dal volume di traffico) per tutti i tipi di rumore del traffico e questo per diversi motivi.

Sebbene per il rumore stradale, sulla base delle analisi del sondaggio SiRENE (cfr. Allegato A.3.5), la Commissione veda indizi di un effetto di riduzione della molestia grazie a un volume esiguo di traffico durante le ore diurne, fatto che giustificerebbe una correzione di livello del secondo tipo fino a circa -5 dB per le strade poco trafficate. Essa riconosce tuttavia al contempo che il valore limite generico per il periodo diurno nel caso del rumore stradale è determinato sulla base di effetti medico somatici (cfr. tabella A.T.4.1 nell'Allegato). Questi effetti suggeriscono un valore limite già inferiore di 5 dB rispetto a ciò che comporterebbero le relazioni dose-effetto per il punto finale %HA. Una correzione di livello relativo alla molestia in presenza di volumi esigui di traffico non è pertanto giustificata.

Secondo le presenti indagini, neppure per il rumore ferroviario è possibile mantenere le correzioni di livello del secondo tipo in funzione del numero di movimenti, che variano tra 0 e -10 dB (o tra -5 e -15 dB se si tiene conto della correzione di livello del primo tipo).

Per quanto riguarda il rumore del traffico aereo provocato dai grandi velivoli, specifiche indagini effettuate [90] mostrano indizi di una correzione di livello in funzione del numero di movimenti, fermo restando che anche la stessa sarebbe riferita solo al punto finale %HA. Una tale correzione di livello non può essere quantificata in maniera esatta a causa dell'attuale stato lacunoso delle conoscenze.

Nel presente rapporto non sono state esaminate correzioni di livello del terzo tipo, che tengono conto di specifiche caratteristiche del rumore (ad es. la correzione di livello K2 nel caso del rumore ferroviario). Di conseguenza, a questo riguardo non possono essere raccomandati adeguamenti. Tuttavia, in assenza di indicazioni secondo cui le correzioni in questione non sarebbero giustificate, si raccomanda di mantenerle nella forma attuale.

La Commissione ritiene inoltre opportuno esaminare la possibilità di introdurre una correzione di livello per il rumore stradale in caso di bassa velocità di marcia se dovesse risultare - nella migliore delle ipotesi sotto forma di uno studio longitudinale - che velocità di marcia inferiori (ad es. nelle zone 30) possono ridurre gli effetti del rumore in aggiunta all'effetto della pura riduzione del livello.

4.10 Punti in sospeso e necessità di ricerca

4.10.1 Protezione di singole ore notturne con valori limite per le singole ore

Nel capitolo 4.4.3 si propone di esaminare i valori limite per le singole ore notturne anche per tipi di rumore diversi dal rumore aereo. In tal modo, la popolazione residente potrebbe essere meglio protetta da risvegli anche quando, a causa dell'esercizio del relativo impianto (strade o ferrovie), in singole ore si generassero immissioni particolarmente elevate (ad es. nel caso di treni merci o nelle prime ore del mattino con traffico intenso di autocarri a causa di un aumento del trasporto merci ecc.) in una notte altrimenti tranquilla. Una tale regolamentazione potrebbe ad esempio esigere che l'ora più rumorosa durante il periodo notturno (ossia tra le ore 22 e le ore 07) possa superare al massimo di un determinato importo in dB il livello medio dell'intero periodo notturno. Tuttavia, con le basi attualmente disponibili non è stato possibile formulare una raccomandazione concreta (basata sull'evidenza) in tal senso.

4.10.2 Considerazione di categorie di persone particolarmente sensibili

Il legislatore esige che nella determinazione dei VLI siano prese in considerazione (specialmente) categorie di persone particolarmente sensibili, come «i bambini, i malati, gli anziani e le donne incinte» (art. 13 LPamb). Egli parte dunque dal presupposto che i bambini, i malati, gli anziani e le donne incinte siano più sensibili rispetto alla media della popolazione e necessitino pertanto di una protezione particolare. La Commissione è del parere che tali categorie di persone si possano ritenere considerate se, negli studi fondamentali relativi ai valori limite, erano incluse nel campione o, eventualmente, nella popolazione (per gli studi basati sull'insieme degli abitanti, ad esempio, della SNC) che rientra nei modelli statistici. Al riguardo si deve evidenziare quanto segue:

- Per quanto riguarda i bambini, ad esempio, le statistiche sulle cause di morte associate ai dati relativi al carico fonico negli studi epidemiologici [per es. 30] tengono conto anche dei bambini, benché il loro rischio di mortalità a causa del carico fonico è sicuramente trascurabile in assenza di un'esposizione sufficien-

temente prolungata. Tuttavia, i bambini sono potenzialmente sottorappresentati negli studi di coorte epidemiologici (ad es. nello studio SAPALDIA) poiché tali studi sono di norma limitati a determinati segmenti di età, che includono solo in rari casi i bambini. Infine, i bambini sono quasi del tutto assenti nei sondaggi sul disturbo condotti presso la popolazione, in quanto gli stessi presuppongono nella maggior parte dei casi un'età minima di partecipazione (spesso ≥ 18 anni). Non è tuttavia scientificamente provato in modo chiaro se i bambini reagiscono o meno in maniera particolarmente sensibile al rumore.

- Per quanto riguarda i malati, eccettuati studi esplicitamente rivolti ad «adulti sani», nella maggior parte degli studi fondamentali rilevanti per i valori limite essi non sono perlomeno esclusi. Anche nell'ambito di sondaggi condotti presso la popolazione, l'assenza di malattie non è per lo più una condizione di partecipazione. Tuttavia, gli appelli a partecipare agli studi raggiungono probabilmente meno bene i malati gravi, per cui non si può escludere che questa categoria di popolazione sia sottorappresentata in alcuni sondaggi.
- Per quanto riguarda gli anziani, non esistono indicazioni del fatto che essi siano sottorappresentati negli studi epidemiologici, ad eccezione degli studi che prevedono un limite di età superiore. Nei sondaggi relativi al rumore essi sono persino tendenzialmente sovrarappresentati, in quanto gli anziani mostrano una maggiore disponibilità a partecipare ai sondaggi rispetto alla popolazione complessiva [13].
- Per quanto riguarda le donne incinte, non esistono indicazioni del fatto che esse siano sistematicamente sottorappresentate o sovrarappresentate negli studi fondamentali.

A ciò si aggiunge che, per la determinazione dei valori limite mediante relazioni dose-effetto per il punto finale %HA, si fa riferimento alla percentuale di persone particolarmente molestate e quindi implicitamente già a persone «particolarmente sensibili». In tal senso, anche nel caso di valori del livello inferiori, le persone particolarmente sensibili, che si sentono fortemente molestate, sono contemplate in una relazione dose-effetto e confluiscono quindi nella determinazione dei valori limite.

La Commissione giunge infine alla conclusione che l'imperativo di tenere conto in modo particolare di determinate categorie di persone nella determinazione dei valori limite non è stato violato in modo inammissibile. Si suggerisce tuttavia di effettuare ulteriori accertamenti nel settore della ricerca «persone vulnerabili», i cui risultati potranno eventualmente confluire in future verifiche o adeguamenti dei valori limite.

4.10.3 Valutazione degli effetti complessivi del rumore di diverse fonti («effetti combinati»)

Secondo la prassi attuale, i valori limite d'esposizione per diversi tipi di rumore sono fissati in allegati separati dell'OIF. Essi sono applicati individualmente, senza considerare gli altri tipi di rumore, sebbene il principio dell'approccio olistico (art. 8 LPAmb) esiga che gli effetti siano valutati «singolarmente e globalmente». La valutazione separata in funzione del tipo di rumore è spesso motivata sostenendo che, in questo modo, si punta a evitare conflitti con il principio di causalità o di risanamento, in quanto solo grazie a una chiara separazione delle fonti è possibile attribuire univocamente un superamento dei valori limite a colui che lo causa e obbligarlo di conseguenza a risanare. Decisivo per l'attuazione dell'articolo di legge è il fatto che, per quanto riguarda l'effetto del rumore, dagli studi scientifici si possano desumere affermazioni generalizzabili in merito all'esposizione contemporanea a più tipi di rumore. Invece al momento la relativa letteratura scientifica si contraddistingue soprattutto per i risultati poco chiari, in parte contraddittori, e la constatazione che l'azione congiunta di diverse fonti non sembra ancora essere stata capita correttamente [4].

Il livello di valutazione L_r quale grandezza di valutazione del rumore consente certamente di confrontare gli effetti di diversi tipi di rumore. Avrebbe quindi senso, ai fini della valutazione del carico fonico complessivo, aggiungere energeticamente i livelli di valutazione di tutti i tipi di rumore, che intervengono, e confrontarli con un valore limite di carico fonico complessivo. Con un simile modo di procedere sorgono tuttavia diverse domande e problemi. Da un lato, occorre chiarire il livello, a cui dovrebbe essere fissato un tale valore limite di carico fonico complessivo, affinché i criteri di protezione della LPAmb siano soddisfatti, e se il suo livello dipende dai tipi e dal numero di rumori, che agiscono su un luogo di immissione. Come è stato illustrato in precedenza e continuerà a esserlo in seguito, mancano studi con risultati chiari.

D'altro canto, sussistono dubbi sul fatto che la somma energetica dei livelli di tipi di rumore, che producono effetti molto diversi nel tempo (ad es. il rumore degli impianti di tiro e quello del traffico stradale), possa fornire una grandezza interpretabile in maniera sensata [91].

In linea di massima si pone tuttavia anche la questione della rilevanza e dell'urgenza di una valutazione integrale di carichi fonici multipli. Nel caso di due fonti di rumore di uguale intensità, il livello medio aumenta solo di 3 dB⁹¹. Inoltre, una somma del carico fonico non deve necessariamente comportare un maggiore fastidio o disturbo. Nell'ambito del sondaggio SiRENE è ad esempio emerso che il disturbo causato dal rumore del traffico aereo risultava tanto minore quanto maggiore era il rumore ferroviario e stradale, a cui era esposta a casa propria una persona intervistata [13].

⁹¹ In caso di segnali non correlati con cui si ha normalmente a che fare nell'acustica ambientale.

A causa dello stato delle conoscenze tuttora insufficienti o non generalizzabili, di una prevedibile difficile implementazione normativa e di una complicazione della sistematica dei valori limite, si raccomanda di rinunciare a una valutazione degli effetti di impatti multipli o combinati mediante la somma dei livelli di valutazione specifici per tipo di rumore. Ciò con la riserva e l'avvertenza che l'azione congiunta di più fonti di rumore in un unico luogo può essere talmente marcata che ne deriva un disturbo o un pregiudizio del benessere da ritenersi eccessivo, nonché considerevole ai sensi della LPAmb, anche se i VLI delle singole fonti considerati singolarmente non sono di volta in volta superati.

Fino a quando non sarà risolto il problema di valutazione sopra descritto, l'azione congiunta di diversi tipi di rumore nell'ambito dell'applicazione del diritto dovrebbe essere valutata senza ricorrere a un valore limite del carico fonico complessivo.

È ipotizzabile includere l'aspetto dell'esposizione a più fonti di rumore quale criterio supplementare in relazione alle facilitazioni e all'urgenza dei risanamenti, applicando prescrizioni più severe in caso di superamenti dei valori limite d'esposizione da parte di più fonti. Gli inasprimenti dovrebbero basarsi sul livello dei superamenti del VLI. In ogni caso si dovrebbero evitare superamenti dei VA da parte di più fonti.

5 Raccomandazioni

In questo capitolo sono riassunte le spiegazioni dei capitoli 3 e 4 sotto forma di raccomandazioni concrete sugli adeguamenti dell'OIF. Per le deduzioni e le motivazioni dettagliate si rimanda ai relativi sottocapitoli o alle valutazioni riportate nell'Allegato. Al capitolo 5.4 è abbozzato uno schema dei valori limite in cui confluiscono le riflessioni della Commissione. Al capitolo 5.5 le raccomandazioni sono inserite nel contesto internazionale e nazionale (in vigore sinora).

La seguente tabella 12 riporta le nuove raccomandazioni principali.

Tabella 12: panoramica delle principali raccomandazioni della Commissione

Aspetto normativo:	Raccomandazione:
Campo d'applicazione dei valori limite	I valori limite dovranno valere come sinora per tutti i locali sensibili al rumore, ma le norme per i locali che non servono a uno scopo residenziale a lungo termine dovranno essere interpretate in modo più flessibile.
Luogo di determinazione	Il luogo di determinazione del rumore dovrà d'ora in poi essere il punto più rumoroso sull'involucro dell'edificio dell'unità abitativa o d'uso da valutare (anziché il centro della finestra aperta di locali sensibili al rumore).
Descrittori acustici e livelli di valutazione	Come descrittore acustico dovrà essere impiegato L_{Aeq} per il periodo diurno e notturno o, in alternativa al L_{Aeq} , L_{den} per il periodo diurno. Le immissioni foniche dovranno essere valutate come sinora mediante un livello di valutazione L_r , composto da un descrittore acustico e da correzioni di livello.
Periodi di valutazione	Il periodo notturno dovrà ora essere esteso a 9 ore (dalle ore 22 alle ore 07); il periodo diurno si ridurrà a 15 ore (dalle ore 07 alle ore 22). Nel caso del rumore del traffico aereo, per l'ora tra le 06 e le 07 si raccomanda ora un valore limite orario supplementare.
Gradi di sensibilità	I gradi di sensibilità devono essere mantenuti. D'ora in poi i valori limite dei gradi di sensibilità II e III dovranno essere equiparati.
Schema dei valori limite	L'attuale schema dei valori limite con VLI uniformi per tutte le diverse tipologie di rumore del traffico dovrà essere sostanzialmente mantenuto. Per i gradi di sensibilità II e III, i VLI dovranno essere fissati a 60 dB per il periodo diurno e a 50 dB per il periodo notturno. Differenze relative allo specifico tipo di rumore dovranno essere considerate, come finora, mediante correzioni di livello comprese nel livello di valutazione L_r .
Valori limite	I valori limite dovranno essere adeguati in base allo stato attuale delle conoscenze. Ne conseguiranno, a seconda del tipo di rumore,

Aspetto normativo:	Raccomandazione:
	del periodo di valutazione e del grado di sensibilità, inasprimenti del VLI compresi in media tra 0 e 11 dB.

5.1 Campo d'applicazione e luogo di determinazione

L'OIF è in primo luogo uno strumento normativo volto a proteggere la funzione abitativa dal rumore. Si raccomanda pertanto di trattare in modo più flessibile, per quanto riguarda la validità dei valori limite e le misure di protezione contro il rumore, i locali che servono primariamente a scopi diversi dalla funzione abitativa (permanente) rispetto a quelli destinati ad abitazione o per lo meno di esaminare la possibilità di un tale trattamento flessibile.

Il carico fonico dovrà d'ora in avanti essere determinato in corrispondenza del punto più rumoroso sull'involucro dell'edificio dell'unità abitativa o dell'unità d'uso in fase di valutazione⁹². Costruzioni annesse e sporgenti, poste immediatamente davanti a questo punto, ad es. balconi, parapetti, schermature ed altri elementi costruttivi applicati all'edificio ecc., devono essere trattati, dal punto di vista della misurazione o del calcolo, come se non fossero presenti. Mediante la determinazione del carico fonico nel punto più rumoroso sull'involucro dell'edificio si mira ad evidenziare se in linea di massima sussista o meno un problema di rumore e se l'impianto, che provoca lo stesso, debba essere risanato o meno.

5.2 Grandezze e periodi di valutazione

Come grandezza di valutazione per il carico fonico deve continuare a essere utilizzato un livello di valutazione L_r , composto dal descrittore acustico di base sul periodo di valutazione determinante, più la/le correzione/i di normalizzazione K (si vedano i capitoli 5.4.2 e 5.4.3) che tengono conto delle caratteristiche di un determinato tipo di rumore e delle differenze tra gli stessi. Per la valutazione del periodo diurno sono possibili due varianti equivalenti, i cui vantaggi e svantaggi sono stati discussi nel capitolo 4.8.1.

- La variante 1 prevede un periodo di valutazione sulle 24 ore del giorno civile e $L_{den,07-19-22-07h}$ come descrittore acustico di base. In tal caso, il periodo di valutazione per il periodo diurno ha una durata di 12 ore, copre la fascia oraria 07-19

⁹² Se si tratta di case plurifamiliari, edifici a blocco, case a schiera o bifamiliari, il punto più rumoroso deve essere definito sulla parte dell'involucro dell'edificio le cui pareti esterne (incl. tetti e finestre) delimitano l'unità abitativa o d'uso che deve essere valutata.

ed è soggetto ad un aumento di 0 dB. Il periodo di valutazione della sera è pari a 3 ore, copre la fascia oraria 19-22 ed è soggetto a un aumento di +5 dB, mentre il periodo di valutazione delle ore notturne è pari a 9 ore, copre la fascia oraria 22-07 ed è soggetto a un aumento di +10 dB.

- La variante 2 prevede un periodo di valutazione per il periodo diurno di 15 ore per la fascia oraria 07-22 e $L_{\text{day},07-22h}$ come descrittore acustico di base.

Il periodo di valutazione per il periodo notturno è pari a 9 ore per il rumore stradale e ferroviario e copre la fascia oraria 22-07. Per quanto riguarda il rumore del traffico aereo, si deve mantenere l'attuale valutazione delle singole ore notturne 22-23, 23-24 e 05-06. Tuttavia, per tener conto del prolungamento del periodo notturno, occorre prevedere un'ulteriore valutazione separata dell'ora singola 06-07.

5.3 Gradi di sensibilità

Al fine di garantire una protezione uniforme della funzione abitativa contro il rumore, i valori limite d'esposizione dei gradi di sensibilità II e III devono essere equiparati. Una protezione dal rumore più elevata o più bassa è invece giustificata per i gradi di sensibilità I e IV.

La presente raccomandazione riguarda unicamente il rumore del traffico stradale, ferroviario e aereo.

5.4 Valori limite d'esposizione e schema dei valori limite

5.4.1 Tipi di valori limite

Si raccomanda di mantenere tutti e tre gli attuali tipi di valori limite (VLI, VP, VA). Ritenuto che le differenze di livello tra VLI, VP e VA non sono giustificabili sulla base di criteri sanitari, in questa sede non sono avanzate proposte per una loro ulteriore differenziazione relativa.

5.4.2 Schema dei valori limite e correzioni di normalizzazione

Per le zone del grado di sensibilità II (e III) si raccomanda un VLI uniforme per tutti i tipi di rumore del traffico (come L_r) a 60 dB per il periodo diurno (nella variante 1 su 24 ore [$L_{r,\text{giorno}24h}$], nella variante 2 su 15 ore [$L_{r,\text{giorno}15h}$]) e a 50 dB per il periodo notturno (su 9 ore [$L_{r,\text{notte}}$]). Per le zone del grado di sensibilità I è opportuno un VLI più severo

di 5 dB, in considerazione dell'accresciuto bisogno di protezione. Per le zone industriali (zone del grado di sensibilità IV), che in linea di massima non sono idonee per utilizzazioni a scopo abitativo, la Commissione ritiene che un VLI più elevato di 10 dB sia adeguato e ragionevole.

Sulla base delle spiegazioni fornite finora, risultano i valori limite di immissione VLI (espressi come L_r) riportati nelle tabelle 13.1 (variante 1) e 13.2 (variante 2), nonché nella tabella 13.3 per il rumore del traffico aereo nelle ore notturne, con le correzioni di normalizzazione K. In queste tabelle non sono considerate le correzioni del livello del secondo e terzo tipo; raccomandazioni in merito sono indicate nel capitolo 5.4.3.

Tabella 13.1 VLI raccomandati per $L_{r,giorno24h}$ e $L_{r,notte}$ nonché correzioni di normalizzazione K per gradi di sensibilità I-IV e per la variante 1 dello schema dei valori limite (ossia con i descrittori acustici $L_{den,07-19-22-07h}$ e $L_{night,22-07h}$)

GS	VLI [dB]		Correzioni di normalizzazione K [dB]				
	L _{r,giorno24h} *	L _{r,notte} **	K _{giorno24h}			K _{notte}	
			Strada	Ferrovia	Aereo	Strada	Ferrovia
I	55	45	-2	-5	+5	-2	-6
II	60	50					
III							
IV	70	60					

* $L_{r,giorno24h} = L_{den,07-19-22-07h} + K_{giorno24h}$

** $L_{r,notte} = L_{night,22-07h} + K_{notte}$

Tabella 13.2 VLI raccomandati per $L_{r,giorno15h}$ e $L_{r,notte}$ nonché correzioni di normalizzazione K per gradi di sensibilità I-IV e per la variante 2 dello schema dei valori limite (ossia con i descrittori acustici $L_{day,07-22h}$ e $L_{night,22-07h}$)

GS	VLI [dB]		Correzioni di normalizzazione K [dB]				
	L _{r,giorno15h*}	L _{r,notte**}	K _{giorno15h}			K _{notte}	
			Strada	Ferrovia	Aereo	Strada	Ferrovia
I	55	45	0	+1	+6	−2	-6
II	60	50					
III							
IV	70	60					

* $L_{r,giorno15h} = L_{day,07-22h} + K_{giorno15h}$

** $L_{r,notte} = L_{night,22-07h} + K_{notte}$

Tabella 13.3 VLI raccomandati per il rumore del traffico aereo in quattro singole ore notturne e relativi termini di correzione K (K_{N1} , K_{N2} , K_{N3} , K_{N4})

GS	VLI [dB]	Termine di correzione K [dB]			
	L _r [*]	K _{N1} ^{**}	K _{N2} ^{**}	K _{N3} ^{**}	K _{N4} ^{**}
I	45	-2	+1	+1	-2
II	50				
III					
IV	60				

* $L_r = L_{Aeq,1h} + K$

** N1=22-23 h; N2=23-00 h; N3=05-06 h; N4=06-07 h

5.4.3 Correzioni di livello di secondo e terzo tipo

Le correzioni di livello volte a tenere conto di volumi di traffico esigui (correzioni di livello del secondo tipo) devono essere stralciate dall'OIF. Per contro, le correzioni di livello che tengono conto di caratteristiche particolari dei rumori, come ad esempio il rumore dell'esercizio di manovra e lo stridio delle rotaie (correzioni di livello del terzo tipo), devono essere mantenute poiché non esistono indicazioni a sostegno del fatto che tali correzioni non siano giustificate per il disturbo o gli effetti.

Si raccomanda di esaminare la possibilità di introdurre una correzione di livello per le tratte a bassa velocità di percorrenza, qualora dovesse essere confermato empiricamente che velocità di percorrenza inferiori (ad es. nelle zone 30) possono ridurre gli effetti del rumore in aggiunta all'effetto della riduzione del livello sonoro.

5.5 Classificazione delle raccomandazioni nel contesto nazionale e internazionale

5.5.1 Confronto con l'attuale regolamentazione dell'OIF

In base alle nuove raccomandazioni, a seconda del tipo di rumore e della fascia oraria, in futuro si applicheranno valori limite che, per quanto riguarda il livello di protezione, presenteranno valori più severi rispetto a oggi in media tra 0 dB e circa 11 dB. I principali fattori responsabili di tali inasprimenti sono:

- **Relazioni dose-effetto aggiornate:** a causa della tendenza, osservabile da alcuni decenni, dell'aumento del disturbo causato dal rumore del traffico aereo [92-95], per questo tipo di rumore risultano valori limite inferiori rispetto a quelli

attuali. Anche il rumore ferroviario sarà d'ora in poi oggetto di una valutazione più severa, soprattutto in quanto le relazioni dose-effetto del disturbo provocato dal rumore ferroviario (durante il giorno) tendono a diventare sempre più simili a quelle del rumore stradale (o addirittura a superarle, cfr. figura A.A.11 nell'Allegato), cosicché per il punto finale HA non è più riscontrabile alcun «bonus ferroviario».

- **Allineamento dei valori limite del grado di sensibilità III a quelli del grado di sensibilità II:** la raccomandazione di equiparare i VLI del grado di sensibilità II e quelli del grado di sensibilità III comporta l'applicazione di valori limite di almeno 5 dB più severi rispetto a quelli attuali nel grado di sensibilità III per tutti i tipi di rumore (qui: rumore stradale, ferroviario e aereo).
- **Soppressione delle correzioni di livello in funzione del numero di movimenti (correzioni di livello del secondo tipo):** in seguito alla raccomandazione di rinunciare in futuro alle correzioni di livello in funzione del numero di movimenti, gli attuali «bonus» previsti in caso di frequenze esigue di traffico sono soppressi. Ciò incide soprattutto di notte e sul rumore ferroviario.
- **Nuovo luogo di determinazione:** in futuro dovrà essere soppressa la possibilità di ridurre di alcuni dB il livello di valutazione nell'attuale luogo ufficiale di determinazione (senza tuttavia ridurre in tal modo anche il carico fonico dello spazio esterno circostante) unicamente mediante provvedimenti edilizi davanti alla facciata, ad es. mediante un balcone. A seconda della situazione e soprattutto per le nuove costruzioni future, ciò può rappresentare un inasprimento, che non è tuttavia possibile quantificare con precisione senza un'ampia analisi degli effetti delle nuove raccomandazioni.

Le tabelle 14.1 (per il periodo diurno) e 14.2 (per il periodo notturno) mostrano le differenze medie tra i VLI secondo la nuova raccomandazione e quelli dell'OIF. Le differenze in dB tra lo status quo e le nuove raccomandazioni indicate nella tabella si riferiscono alla variante 2 dello schema dei valori limite (le differenze tra lo status quo e la variante 1 oscillano in un intervallo simile). Le differenze rilevate devono essere intese unicamente come approssimazione poiché un confronto 1:1 non è possibile a causa dei diversi riferimenti temporali dei descrittori acustici di base e della futura rinuncia a termini di correzione di livello in funzione del numero di movimenti (cfr. capitolo 5.4.3). Per poter comunque stimare di quanti dB i valori limite raccomandati sono più o meno severi rispetto a quelli attuali dell'OIF, i descrittori acustici $L_{\text{day},06-22\text{h}}$ pari a 60 dB (A) e $L_{\text{night},22-06\text{h}}$ pari a 50 dB (A) (fasce orarie secondo l'OIF) sono stati dapprima convertiti nei nuovi descrittori acustici raccomandati $L_{\text{day},07-22\text{h}}$ e $L_{\text{night},22-07\text{h}}$ mediante i termini di conversione della tabella A.T.6 (anche i valori limite per tipo di rumore sono espressi con questi descrittori acustici). Successivamente, per la correzione di livello K1 (colonna K1 nella tabella 14.1 o 14.2) per quanto attiene al rumore stradale e ferroviario è stato calcolato un valore medio K1 per tutte le persone negli edifici con $L_{\text{day},06-}$

$_{22h} \geq 60$ dB o con $L_{night,22-06h} \geq 50$ dB (si veda l'Allegato A.3.9). Infine, i descrittori acustici $L_{day,07-22h}$ e $L_{night,22-07h}$ precedentemente individuati sono stati corretti con il valore K1 corrispondente. In questo modo sono di volta in volta presenti due valori in dB (le due colonne con l'indicazione « $L_{day,07-22h}$ » nella tabella 14.1 o « $L_{night,22-07h}$ » nella tabella 14.2) direttamente comparabili tra loro.

Tabella 14.1: confronto dei VLI per il periodo diurno e i gradi di sensibilità II risp. III tra l'OIF (status quo) e la nuova raccomandazione (secondo la variante 2). Sono prese in considerazione le correzioni di normalizzazione (K1 nell'OIF o K_{giorno} secondo la raccomandazione), ma non ulteriori correzioni di livello.

Periodo diurno									
Tipo di rumore	GS	VLI secondo l'OIF			VLI secondo la raccomandazione			Δ	La raccomandazione è in media...
		$L_{r,giorno}$	K1	$L_{day,07-22h}^a$	$L_{r,giorno}$	K_{giorno}	$L_{day,07-22h}$		
Strada	II	60	-0.2 ^b	≈ 60	60	0	60	0	$\approx$ altrett. severa
	III	65	-0.2 ^b	≈ 65	60	0	60	-5	≈ 5 dB più severa
Ferrovia	II	60	-5.2 ^c	≈ 65	60	+1	59	-6	≈ 6 dB più severa
	III	65	-5.2 ^c	≈ 70	60	+1	59	-11	≈ 11 dB più severa
Aereo	II	60	0 ^d	≈ 60	60	+6	54	-6	≈ 6 dB più severa
	III	65	0 ^d	≈ 65	60	+6	54	-11	≈ 11 dB più severa

- K1 Correzione media del numero di movimenti K1 [in dB] secondo l'allegato 3, numero 35 OIF (strada), l'allegato 4, numero 33 OIF (ferrovia) o l'allegato 5, numero 34 OIF (aereo) nel caso di persone con $L_{day,06-22h} \geq 60$ dB, arrotondata matematicamente a 0.1 dB.
- Δ Differenza media tra raccomandazione e OIF; il segno negativo significa che la raccomandazione è più severa per l'ammontare del valore corrispondente.
- ^a Stimato sulla base dei termini di conversione di cui alla tabella A.T.6 e della correzione media K1 assunta per il numero dei movimenti, poi arrotondato matematicamente a 1 dB.
- ^b Le correzioni di livello K1 sono valori medi arrotondati su tutti gli occupanti di edifici con $L_{day,06-22h} \geq 60$ dB(A) nel relativo grado di sensibilità (cfr. Allegato A.3.9). Nota bene: l'intervallo di valore di K1 può essere compreso tra -5 e 0 dB conformemente all'allegato 3 numero 35 OIF.
- ^c Le correzioni del livello K1 sono valori medi su tutti gli occupanti di edifici con $L_{day,06-22h} \geq 60$ dB(A) nel relativo grado di sensibilità (cfr. Allegato A.3.9). Nota bene: l'intervallo di valore di K1 può essere compreso tra -15 e -5 dB conformemente all'allegato 4 numero 33 OIF.
- ^d Il traffico dei piccoli velivoli non è preso in considerazione in questa sede, pertanto la correzione di livello K1 non ha alcuna importanza.

Tabella 14.2: confronto dei VLI per il periodo notturno e i gradi di sensibilità II risp. III tra l'OIF (status quo) e la nuova raccomandazione (secondo la variante 2). Sono prese in considerazione le correzioni di normalizzazione (K1 nell'OIF o K_{notte} secondo la raccomandazione), ma non ulteriori correzioni di livello.

Periodo notturno									
Tipo di rumore	GS	VLI secondo l'OIF			VLI secondo la raccomandazione			Δ	La raccomandazione è in media...
		$L_{r,notte}$	K1	$L_{night,22-07h}^a$ o $L_{Aeq,1h}$	$L_{r,notte}$	K_{notte}	$L_{night,22-07h}^a$ o $L_{Aeq,1h}$		
Strada	II	50	-2.9 ^b	≈ 55	50	-2	52	-3	≈ 3 dB più severa
	III	55	-2.8 ^b	≈ 60	50	-2	52	-8	≈ 8 dB più severa
Ferrovia	II	50	-8.2 ^c	≈ 58	50	-6	56	-2	≈ 2 dB più severa
	III	55	-8.1 ^c	≈ 63	50	-6	56	-7	≈ 7 dB più severa
Aereo 22-23h	II	55	0 ^d	55	50	-2	52	-3	3 dB più severa
	III	55	0 ^d	55	50	-2	52	-3	3 dB più severa
Aereo 23-00h	II	50	0 ^d	50	50	+1	49	-1	1 dB più severa
	III	55	0 ^d	55	50	+1	49	-6	6 dB più severa
Aereo 05-06h	II	50	0 ^d	50	50	+1	49	-1	1 dB più severa
	III	55	0 ^d	55	50	+1	49	-6	6 dB più severa
Aereo 06-07h	II	-	-	-	50	-2	52	-	-
	III	-	-	-	50	-2	52	-	-

- K1 Correzione media del numero di movimenti K1 [in dB] secondo l'allegato 3, numero 35 OIF (strada), l'allegato 4, numero 33 OIF (ferrovia) o l'allegato 5, numero 34 OIF (aereo) nel caso di persone con $L_{night,22-06h} \geq 50$ dB, arrotondata matematicamente a 0.1 dB.
- Δ Differenza media tra raccomandazione e OIF; il segno negativo significa che la raccomandazione è più severa per l'ammontare del valore corrispondente.
- ^a Stimato sulla base dei termini di conversione di cui alla tabella A.T.6 e della correzione media assunta K1 per il numero dei movimenti, poi arrotondato matematicamente a 1 dB.
- ^c Le correzioni di livello K1 sono valori medi su tutti gli occupanti di edifici con $L_{night,22-06h} \geq 50$ dB(A) nel relativo grado di sensibilità (cfr. Allegato A.3.9). Nota bene: l'intervallo di valore di K1 può essere compreso tra -5 e 0 dB conformemente all'allegato 3 numero 35 OIF.
- ^c Le correzioni di livello K1 sono valori medi su tutti gli occupanti di edifici con $L_{night,22-06h} \geq 50$ dB(A) nel relativo grado di sensibilità (cfr. Allegato A.3.9). Nota bene: l'intervallo di valore di K1 può essere compreso tra -15 e -5 dB conformemente all'allegato 4 numero 33 OIF.
- ^d Il traffico dei piccoli velivoli non è preso in considerazione in questa sede, pertanto la correzione di livello K1 non ha alcuna importanza.

5.5.2 Confronto con le raccomandazioni dell'OMS

I valori limite raccomandati dall'OMS per la protezione della salute contenuti nelle Environmental Noise Guidelines [10] sono nettamente più severi di quanto previsto dalle raccomandazioni della CFLR. Questa circostanza può essere spiegata sulla base dei diversi obiettivi che le rispettive raccomandazioni perseguono. Obiettivo delle Environmental Noise Guidelines dell'OMS è proteggere *in modo globale* gli esseri umani dagli effetti negativi sulla salute provocati dal rumore ambientale e a tal fine fornire ai responsabili delle decisioni raccomandazioni sulla salute utili per la prassi politica. Le raccomandazioni dell'OMS stabiliscono la soglia a partire dalla quale si verificano con certezza effetti sulla salute, ma non indicano necessariamente la soglia in corrispondenza della quale tali effetti devono essere definiti «considerevoli» o «inaccettabili». I valori limite dell'OMS possono quindi essere considerati raccomandazioni generali («recommendations») per *obiettivi* politici piuttosto a lungo termine, analogamente alla «Vision Zero» nel settore della prevenzione dei decessi causati dalla circolazione, dove l'obiettivo dichiarato è di non mettere più in conto alcuna vittima della circolazione. Per contro, la LPAmb e l'OIF mirano a valori limite che proteggono da disturbi «considerevoli» del benessere. Essi possono pertanto essere meno severi rispetto ai valori limite proposti dall'OMS.

5.5.3 Confronto con le normative di altri paesi

È difficile confrontare lo schema dei valori limite proposto dalla CFLR o i valori limite raccomandati con le normative vigenti in altri paesi poiché le grandezze di valutazione, i riferimenti temporali e soprattutto le conseguenze giuridiche legate al superamento dei valori limite variano notevolmente da un paese all'altro. Attualmente, nella maggior parte dei paesi dell'UE, ma anche al di fuori della stessa, ad esempio in Gran Bretagna, le normative in materia di protezione contro l'inquinamento fonico sono oggetto di riesame sulla base delle Environmental Noise Guidelines pubblicate di recente dall'OMS [10]; ciò comporterà probabilmente adeguamenti a medio termine. Un confronto con le normative in materia di protezione contro l'inquinamento fonico dell'UE nel suo insieme è impossibile, poiché la determinazione dei valori limite nel settore del rumore è lasciata ai singoli Stati membri dell'UE. Per i motivi esposti, la Commissione rinuncia a un confronto con le normative estere, ma per coloro che sono particolarmente interessati rinvia alla panoramica dell'Interest Group on Noise Abatement (IGNA) dell'EPA Networks [96], in cui sono confrontate tra loro le prescrizioni in materia di protezione contro l'inquinamento fonico e i valori limite attualmente in vigore in Europa.

5.6 Attuazione delle raccomandazioni

Scopo delle raccomandazioni della Commissione è contribuire al raggiungimento dell'obiettivo costituzionale di protezione della popolazione dal rumore. Considerato il numero già ad oggi molto elevato di persone esposte a rumori dannosi o molesti, la Commissione attribuisce la massima importanza al proseguimento e, ove possibile, al potenziamento degli sforzi in corso per limitare il rumore. I lavori per l'attuazione delle raccomandazioni non devono ostacolare tali sforzi.

La Commissione è consapevole del fatto che l'attuazione delle proposte e delle raccomandazioni contenute nel presente rapporto può in parte avere ripercussioni significative, in particolare sulle infrastrutture di trasporto e sullo sviluppo degli insediamenti. Più avanti queste ripercussioni devono essere analizzate in modo dettagliato e tenute in considerazione nel corso dell'attuazione.

Allegato

Allegato

A.1 Tabelle

Tabella A.T.1: selezione della letteratura disponibile in materia di Disability Weights (DW) rilevanti nell'ambito dell'epidemiologia del rumore

Fonte	Forte molestia (HA)	Forti disturbi del sonno (HSD)	Punti finali cardiovascolari	Punti finali metabolici	Comunicazione / cognizione	Ipoacusia / tinnito	Altri
Mathers (1999) [97]	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Hypertensive episodes in pregnancy: 0.117	Uncomplicated diabetes case: 0.05	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Moderate depression: 0.3
Mathers (2003) [62]	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Acute MI: 0.437 Angina pectoris: 0.137 Congestive heart failure: 0.234 Hypertensive heart disease: 0.243	Diabetes (cases): 0.015	Cognitive impairment: 0.024	Hearing loss, adult onset: 0.159	Unipolar depressive disorders: 0.398
Müller-Wenk (2003) [98]	Nessuna indicazione	HSD: 0.055	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Communication disturbance: 0.033	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione
OMS (2004) [99]	Nessuna indicazione	Primary insomnia: 0.100	Acute MI: 0.439 Angina pectoris: 0.124 Hypertensive heart disease: 0.246	Diabetes (cases): 0.015	Nessuna indicazione	Hearing loss, mild: 0.00 moderate, treated: 0.04	Mild depressive episode: 0.140
OMS (2011) [65]	HA: 0.02	HSD: 0.07	Acute MI: 0.405 Angina pectoris: 0.108 Hypertensive heart disease: 0.201	Nessuna indicazione	Contemporaneous cognitive deficit: 0.006	Tinnitus: 0.120 Hearing loss: 0.003-0.334	Nessuna indicazione
Salomon (2015) [63]	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Acute MI: 0.074-0.432 Stroke (long term consequences): 0.019-0.316 Angina pectoris: 0.108 Heart failure: 0.041-0.179	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Hearing loss, mild: 0.010	Mild depressive episode: 0.145
Haagsma (2015) [100]	Nessuna indicazione	Sleep apnoea: 0.036	Acute MI day 3-8: 0.098 Stroke (long term consequences): 0.075-0.58 Angina pectoris moderate: 0.103 Heart failure: 0.052-0.173	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Hearing loss, mild: 0.011	Major depressive disorder, mild episode: 0.129
GBD Collaborative Network [61, 101]	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Acute MI day 0-2: 0.432 Stroke, moderate: 0.07 Angina pectoris, moderate: 0.08 Heart failure, moderate: 0.072	Uncomplicated diabetes mellitus: 0.049	Motor plus cognitive impairment, mild: 0.031	Hearing loss, mild: 0.01 Hearing loss, moderate: 0.027	Nessuna indicazione
Van Kamp (2018) [102]	HA: 0.01	HSD: 0.0175	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione	Nessuna indicazione
OMS (2018) [10]	HA: 0.02	HSD: 0.07	IHD as group: 0.405 Hypertension: 0.117	Nessuna indicazione	Impaired reading and oral comprehension: 0.006	Permanent hearing impairment (mild severity): 0.015	Nessuna indicazione

Tabella A.T.2: letteratura scientifica consultata, valutata e (in parte) utilizzata dalla Commissione per determinare i valori limite generici

Effetto/tipo di rumore	Descrittore acustico	Primo/a autore/autrice, anno e riferimento	Anno o periodo	Osservazioni
Molestia (%HA)				
Rumore stradale Rumore ferroviario Rumore aereo	L _{den} L _{day,06-22h} L _{day,07-23h} L _{dn} L _{Aeq24}	Brink, 2019 [13]	Rilevamenti: 2014, 2015	Attuali relazioni dose-effetto rappresentative per la Svizzera per la molestia (%HA) risultanti dallo studio SIRENE
Rumore stradale Rumore ferroviario Rumore aereo	L _{den}	Guski, 2017 [23]	Meta-analisi: 2000–2014	Meta-analisi più attuale relativa all'oggetto della ricerca
Mortalità cardiovascolare				
Rumore stradale Rumore ferroviario Rumore aereo	L _{den}	Héritier, 2017 [30] Vienneau, 2020 [31]	Coorte: 2000–2008 e 2015	Studi sulla mortalità cardiovascolare dovuta al rumore in Svizzera
Cardiopatía ischemica (incidenza)				
Rumore stradale Rumore ferroviario Rumore aereo	L _{den}	van Kempen, 2018 [27] Vienneau, 2019 [66]	Meta-analisi: letteratura 2000-2014 e 2019	Incidenza di IHD risultante dalla meta-analisi dell'OMS (+aggiornamenti)
Diabete (incidenza)				
Rumore stradale Rumore ferroviario Rumore aereo	L _{day} L _{night} L _{den}	Eze, 2017 [33]	Coorte: 2002–2011	Studio rappresentativo per la Svizzera sull'incidenza del diabete causato dal rumore (SAPALDIA/SIRENE)
Rumore stradale	L _{den}	van Kempen, 2018 [27] Vienneau, 2019 [66]	Meta-analisi: letteratura 2000-2014 e 2019	Incidenza del diabete risultante dalla meta-analisi dell'OMS (+aggiornamenti)
Disturbi del sonno indotti dal rumore (%HSD)				
Rumore stradale Rumore ferroviario Rumore aereo	L _{den} L _{night,22-06h} L _{night,23-07h} L _{night,22-07h}	Brink, 2019 [14]	Rilevamenti: 2014, 2015	Importante articolo sulle relazioni dose-effetto in caso di forti disturbi del sonno (%HSD) basato sullo studio SIRENE
Rumore stradale Rumore ferroviario Rumore aereo	L _{night}	Basner, 2018 [24]	Meta-analisi: letteratura 2000-2014	Meta-analisi più attuale relativa al tema dei disturbi del sonno indotti dal rumore, con relazioni dose-effetto

Tabella A.T.3: funzioni dose-effetto rilevanti (FEE) per tipo di rumore e per diversi punti finali

Punto finale	Tipo di studio	Tipo di rumore	Rif.	FEE
%HA	Indagine trasversale (SiRENE)	Rumore stradale	[13]	$\%HA=100 / (1+\exp(-(-8.5901+0.1108 \times L_{den})))$
%HA	Indagine trasversale (SiRENE)	Rumore ferroviario	[13]	$\%HA=100/(1+\exp(-(-9.6426+0.1312 \times L_{den})))$ *
%HA	Indagine trasversale (SiRENE)	Rumore aereo	[13]	$\%HA=100/(1+\exp(-(-9.6555+0.1496 \times L_{den})))$
%HA	Meta-analisi	Rumore stradale	[23]	$\%HA=78.9270-3.1162 \times L_{den}+0.0342 \times L_{den}^2$
%HA	Meta-analisi	Rumore ferroviario	[23]	$\%HA=38.1596-2.05538 \times L_{den}+0.0285 \times L_{den}^2$
%HA	Meta-analisi	Rumore aereo	[23]	$\%HA=-50.9693+1.0168 \times L_{den}+0.0072 \times L_{den}^2$
%HSD	Indagine trasversale (SiRENE)	Rumore stradale	[14]	$\%HSD=100/(1+\exp(-(-7.3122+0.0980 \times L_{night})))$
%HSD	Indagine trasversale (SiRENE)	Rumore ferroviario	[14]	$\%HSD=100/(1+\exp(-(-7.7996+0.1128 \times L_{night})))$
%HSD	Indagine trasversale (SiRENE)	Rumore aereo	[14]	$\%HSD=100/(1+\exp(-(-6.7649+0.1195 \times L_{night})))$
%HSD	Meta-analisi	Rumore stradale	[24]	$\%HSD=19.4312 - 0.9336 \times L_{night}+0.0126 \times L_{night}^2$
%HSD	Meta-analisi	Rumore ferroviario	[24]	$\%HSD=67.5406 - 3.2852 \times L_{night}+0.0391 \times L_{night}^2$
%HSD	Meta-analisi	Rumore aereo	[24]	$\%HSD=16.7885 -0.9293 \times L_{night}+0.0198 \times L_{night}^2$
Mortalità cardiovasc.	Studio di coorte (incidenza)	Rumore stradale	[31]	RR per 10 dB aumento del L_{den} : 1.027
Mortalità cardiovasc.	Studio di coorte (incidenza)	Rumore ferroviario	[31]	RR per 10 dB aumento del L_{den} : 1.016
Mortalità cardiovasc.	Studio di coorte (incidenza)	Rumore aereo	[30]	RR per 10 dB aumento del L_{den} : 1.027**
IHD	Meta-analisi (incidenza)	Rumore stradale	[66]	RR per 10 dB aumento del L_{den} : 1.02
IHD	Meta-analisi (incidenza)	Rumore ferroviario	[66]	RR per 10 dB aumento del L_{den} : 1.016 ***
IHD	Meta-analisi (incidenza)	Rumore aereo	[66]	RR per 10 dB aumento del L_{den} : 1.03
Diabete	Meta-analisi (incidenza)	Rumore stradale	[66]	RR per 10 dB aumento del L_{den} : 1.11
Diabete	Meta-analisi (incidenza)	Rumore ferroviario	[66]	RR per 10 dB aumento del L_{den} : 1.076 ****
Diabete	Meta-analisi (incidenza)	Rumore aereo	[66]	RR per 10 dB aumento del L_{den} : 1.20

* Funzione dose-effetto aggiornata.

** Mortalità per infarto cardiaco specifica; la corrispondenza tra questo RR e quello del rumore stradale è puramente casuale.

*** Stimatori generali per tutti i tipi di rumore (meta-analisi: [66]) poiché con lo stimatore empirico per il rumore ferroviario (1.01, n.s.) risulterebbe un valore soglia per punto finale irrealisticamente elevato. Inoltre, la qualità delle evidenze nel caso del rumore ferroviario è stata giudicata troppo bassa per basarsi unicamente sullo stimatore empirico per il rumore ferroviario.

**** Stimatori generali per tutti i tipi di rumore (meta-analisi: [66]) poiché lo stimatore empirico per il diabete nel caso del rumore ferroviario avrebbe significato un effetto protettivo (RR=0.99, n.s.), situazione esclusa in quanto non plausibile.

Tabella A.T.4.1: valori utilizzati per determinare i valori limite generici per il descrittore acustico L_{den} . Per ogni tipo di rumore è messo in evidenza in grassetto e sottolineato il relativo valore limite generico che ne risulta. Tutti i valori numerici direttamente impiegati nel calcolo del valore limite generico sono indicati in **cor-sivo e in rosso**. Valori del livello in dB (A).

Punto finale:	%HA (Si-RENE)	%HA (Evidence Review OMS)	Mortalità cardiovasc. (Si-RENE)	IHD (Evidence Review OMS + aggiornamenti)	Diabete (Evidence Review OMS + aggiornamenti)
DW:	0.020	0.020	1.000	0.405	0.049
Rischio supplementare accettabile:	0.250	0.250	0.025	0.050	0.200
Rumore stradale:					
RR per 10 dB:	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	1.027	1.02	1.11
Livello di riferimento:	Non applicabile	Non applicabile	45	45	45
Valore soglia relativo al punto finale:	67.58	67.89	54.26	70.00	63.18
Valore medio (VL gen. <u>in grassetto</u>):	67		62		
Rumore ferroviario:					
RR per 10 dB:	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	1.016	1.016 *	1.076 *
Livello di riferimento	Non applicabile	Non applicabile	40 **	40 **	45
Valore soglia relativo al punto finale:	65.12	65.01	56.63	71.25	71.32
Valore medio (VL gen. <u>in grassetto</u>):	65		66		
Rumore aereo:					
RR per 10 dB:	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	1.027	1.03	1.2
Livello di riferimento	Non applicabile	Non applicabile	45	45	45
Valore soglia relativo al punto finale:	57.21	54.03	54.26	61.67	55.00
Valore medio (VL gen. <u>in grassetto</u>):	55		56		

* Stimatori generali su tutti i tipi di rumore (meta-analisi: [66]).

** Livello di riferimento di 40 dB (A) dimostrato empiricamente [30].

Tabella A.T.4.2: valori utilizzati per determinare i valori limite generici per il descrittore acustico L_{night} . Per ogni tipo di rumore è messo in evidenza in grassetto e sottolineato il relativo valore limite generico che ne risulta. Tutti i valori numerici direttamente impiegati nel calcolo del valore limite generico sono indicati in **cor-sivo e in rosso**. Valori del livello in dB (A).

Punto finale:	%HSD (Si-RENE)	%HSD (Evidence Review OMS)	Mortalità cardiovasc. (Si-RENE)	IHD (Evidence Review OMS + aggiornamenti)	Diabete (Evidence Review OMS + aggiornamenti)
DW:	0.070	0.070	1.000	0.405	0.049
Rischio supplementare accettabile:	0.150	0.150	0.025	0.050	0.200
Rumore stradale:					
RR per 10 dB:	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	1.027	1.02	1.11
Livello di riferimento	Non applicabile	Non applicabile	35	35	35
Valore soglia relativo al punto finale:	56.88	68.99	44.26	60.00	53.18
Valore medio (VL gen. <u>in grassetto</u>):	62		52		
Rumore ferroviario:					
RR per 10 dB:	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	1.016	1.016 *	1.076 *
Livello di riferimento	Non applicabile	Non applicabile	30	30	35
Valore soglia relativo al punto finale:	53.74	58.48	45.63	61.25	61.32
Valore medio (VL gen. <u>in grassetto</u>):	56		56		
Rumore aereo:					
RR per 10 dB:	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	Nessun RR, ma FEE dalla tabella A.T.3	1.027	1.03	1.2
Livello di riferimento	Non applicabile	Non applicabile	35	35	35
Valore soglia relativo al punto finale:	42.07	44.92	44.26	51.67	45.00
Valore medio (VL gen. <u>in grassetto</u>):	43		46		

* Stimatori generali su tutti i tipi di rumore (meta-analisi: [66]).

A.2 Testo originale delle norme giuridiche rilevanti in relazione alla definizione dei valori limite (con evidenziazione dei termini importanti)

Art. 74 cpv. 1 e 2 Cost.

Art. 74 Protezione dell'ambiente

¹ La Confederazione emana prescrizioni sulla protezione dell'uomo e del suo ambiente naturale da effetti **nocivi o molesti**.

² Si adopera per impedire tali effetti. I costi delle misure di prevenzione e rimozione sono a carico di chi li ha causati.

Art. 1 cpv. 1 e 2 LPAmb

Art. 1 Scopo

¹ Scopo della presente legge è di proteggere l'uomo, la fauna e la flora, le loro bioce-nosi e i loro biotopi dagli effetti **dannosi e molesti**, e di conservare in modo duraturo le basi naturali della vita, in particolare la diversità biologica e la fertilità del suolo.

² A scopo di prevenzione, gli effetti che potrebbero divenire **dannosi o molesti** devono essere limitati tempestivamente.

Art. 8 LPAmb

Art. 8 Valutazione degli effetti

Gli effetti sono valutati singolarmente, globalmente e secondo la loro azione congiunta.

Art. 13 LPAmb

Art. 13 Valori limite delle immissioni

¹ Il Consiglio federale fissa, mediante ordinanza, i valori limite delle immissioni per la valutazione degli effetti **dannosi o molesti**.

² Al riguardo, tiene conto anche degli effetti delle immissioni su categorie di persone **particolarmente sensibili**, come i bambini, i malati, gli anziani e le donne incinte.

Art. 15 LPAmb

Art. 15 Valori limite delle immissioni per il rumore e le vibrazioni

I valori limite delle immissioni per il rumore e le vibrazioni sono stabiliti in modo che, secondo la **scienza o l'esperienza**, le immissioni inferiori a tali valori **non molestin**o **considerevolmente la popolazione**.

A.3 Analisi separate effettuate per domande specifiche

Questioni che non sono state trattate direttamente nella letteratura (peer-reviewed) pubblicata, ma che sono tuttavia rilevanti per la determinazione dei valori limite in Svizzera, ad esempio il tema dell'utilizzo del tempo da parte della popolazione svizzera, su incarico della CFLR, sono state esaminate appositamente per il presente rapporto, sulla base dei dati del sondaggio SiRENE completati da ulteriori dati svizzeri nell'ambito di analisi supplementari. Le relative analisi sono documentate qui di seguito.

A.3.1 Per stabilire il periodo diurno e notturno

Presenza in casa e periodo di tempo utilizzato per dormire

I valori limite del rumore dell'OIF si riferiscono nella maggior parte dei casi di applicazione all'*attività abitativa* (cfr. capitolo 4.1). Al fine di ripartire i valori limite in un periodo diurno e notturno nel modo più sensato possibile, è opportuno esaminare quando la popolazione soggiorna nella propria casa o abitazione. La figura A.A.1 riporta un'analisi in proposito con i dati dello studio SiRENE (o del campione del sondaggio SiRENE, cfr. [13]). La figura è completata da una distribuzione della densità, che rispecchia la quota stimata della popolazione all'interno del periodo di riposo (in proposito si veda anche il capitolo seguente).

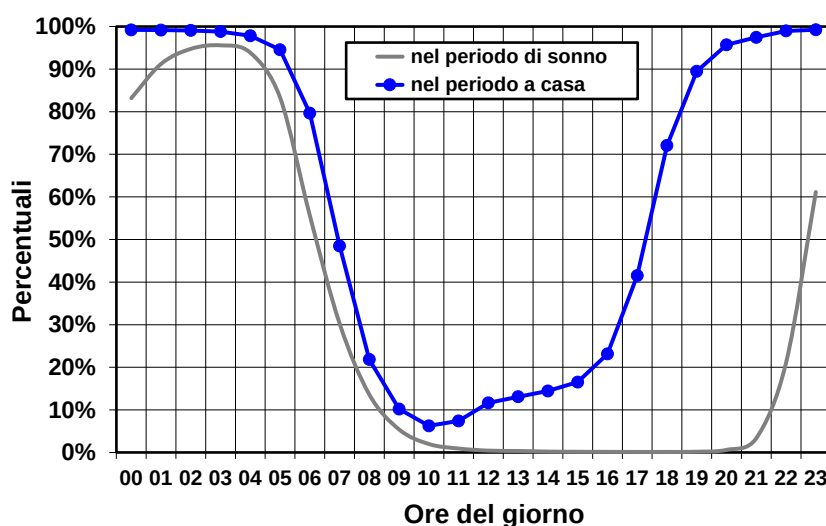


Figura A.A.1: distribuzioni della densità: presenza in casa (blu) e percentuale stimata della popolazione all'interno del periodo di riposo (grigio) in funzione dell'ora del giorno. Base dei dati: sondaggio SiRENE (N = 5161 intervistati in tutta la Svizzera).

Essa evidenzia che, nel corso della giornata, la presenza in casa si concentra nella fascia oraria tra le 18 circa e le 07 del mattino. La maggior parte del carico fonico

subito da svegli si verifica tra le 18 circa e le 22. In questa fascia oraria una percentuale relativamente elevata della popolazione adulta è in casa, ma non sta ancora dormendo.

Quando dorme la popolazione svizzera?

La fascia oraria all'interno delle 24 ore, in cui le persone dormono, varia da una persona all'altra, fermo restando che quasi tutte le persone vogliono dormire di notte e non di giorno (se possibile). Per valutare separatamente il periodo diurno e notturno (e quindi conseguentemente valori limite diurni e notturni diversi), in linea di massima dovrebbero pertanto essere determinanti le abitudini della popolazione che determinano essenzialmente quale lasso di tempo è utilizzato per il sonno.

Dal 2000 in avanti, nell'ambito di quattro studi complessivi basati su sondaggi [103-106], sono stati raccolti dati relativi all'orario in cui si va a dormire e ci si alza di oltre 10 000 persone scelte a caso tra la popolazione svizzera. Ai fini del presente rapporto, sulla base delle risposte individuali (momento in cui ci si addormenta e ci si sveglia o momento in cui si va a letto e ci si alza) di questo insieme di dati, sono stati creati dei cosiddetti profili di densità del sonno (figura A.A.2). Tali profili mostrano, per intervalli di tempo discreti (ad es. su minuti oppure ore), la percentuale delle persone che si trovano all'interno del periodo di sonno nel rispettivo campione (percentuale che è, nel migliore dei casi, rappresentativa per la Svizzera). Una simile rappresentazione ha il vantaggio di riportare l'effettiva distribuzione della fascia oraria trascorsa *complessivamente* nel periodo di sonno dall'intera (o qui solo dagli adulti poiché i bambini non sono stati intervistati) popolazione (o dal campione). In questo contesto, si prende esplicitamente in considerazione il fatto che le persone con lunghi periodi di sonno abbiano un peso maggiore (poiché dormono più a lungo) rispetto ad esempio a quelle con un bisogno di sonno inferiore. Ciò soddisfa in parte la richiesta della legge di considerare anche le categorie di persone particolarmente sensibili (art. 13 LPAmb) o, riportato in questo contesto, con un «maggiore bisogno di sonno» nell'ambito della definizione dei valori limite. Anche i periodi di sonno, ad es. dei lavoratori a turni o delle persone con un cronotipo molto mattiniero («allodole») o molto tardivo («gufo»), sono rappresentati 1:1 conformemente al loro comportamento naturale durante le ore di sonno. Ai fini del calcolo di cui alla figura A.A.2, si è supposto che l'addormentamento avvenga 15 minuti dopo essere andati a letto e che ci si svegli definitivamente 10 minuti prima di alzarsi. Per ottenere un valore medio settimanale, i dati sul comportamento naturale durante le ore di sonno relativi ai giorni infrasettimanali sono stati ponderati con 5/7, mentre quelli relativi al fine settimana con 2/7. Nella figura A.A.2, oltre ai profili degli studi originali [103-106], è rappresentato e indicato con «valore medio» il profilo medio ponderato con la rispettiva dimensione del campione. Questo valore medio dovrebbe rappresentare abbastanza bene le abitudini di sonno degli Svizzeri.

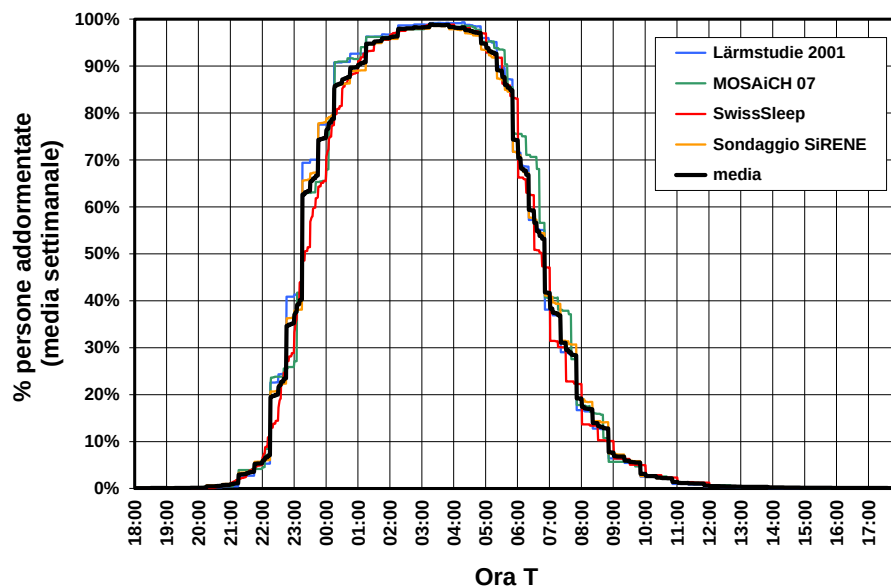


Figura A.A.2: quote stimate della popolazione svizzera all'interno del periodo di sonno in ogni ora giornaliera T tra le 18:00 della sera del giorno precedente e le 18:00 della sera del giorno successivo in un giorno medio, per ogni minuto. È illustrato il profilo dei quattro studi singoli (studio sul rumore 2000 (sondaggio 2001) [105]; MOSAiCH (sondaggio 2007) [104]; SwissSleep UFAM (sondaggio 2011) [103]; studio SiRENE (sondaggi 2014 e 2015) [13, 14]) e la media dei quattro studi, ponderata con la rispettiva dimensione del campione.

Dalla figura A.A.2 si evince chiaramente che all'inizio della notte secondo l'OIF (ore 22:00) solo il 5% circa della popolazione adulta si trova già all'interno del periodo di sonno, mentre alla fine della notte secondo l'OIF (ore 06:00) circa il 70% non si è ancora svegliato definitivamente. Circa l'85% di tutte le ore di sonno è situato nella fascia oraria 22-06. Di conseguenza, il 15% circa del sonno non è contemplato da un periodo notturno definito dalla fascia oraria 22-06.

Il comportamento naturale durante le ore di sonno della popolazione adulta si differenzia nei giorni lavorativi e nei fine settimana. Durante i fine settimana, la popolazione si addormenta in media più tardi, si alza più tardi e la durata complessiva del sonno è di circa un'ora in più. La figura A.A.3 mostra la densità del periodo di sonno risultante dal sondaggio SiRENE suddivisa per notti dall'inizio alla fine dei giorni lavorativi (dalla domenica sera al venerdì mattina) e notti durante il fine settimana (dal venerdì sera alla domenica mattina).

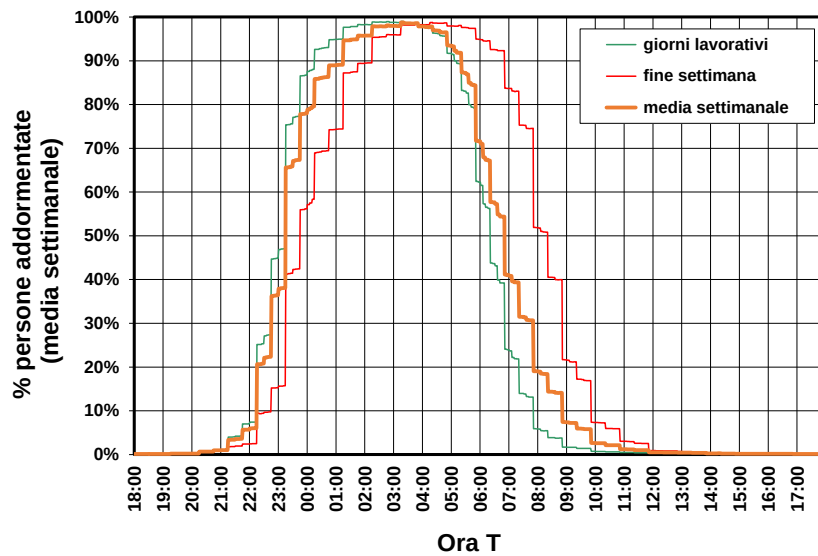


Figura A.A.3: quota del campione nel sondaggio SiRENE (2014 e 2015) [13, 14] all'interno del periodo di sonno in funzione dell'ora diurna T, tra le ore 18 della sera del giorno precedente e le ore 18 della sera del giorno successivo, per ogni minuto.

Le principali conoscenze in materia di comportamento naturale durante le ore di sonno in Svizzera possono essere riassunte come segue:

- Non c'è alcun momento sull'arco delle 24 ore della popolazione svizzera adulta, durante il quale tutte le persone dormono o sono tutte sveglie.
- Il comportamento naturale durante le ore di sonno della popolazione si differenzia nei giorni lavorativi e nei fine settimana. Secondo i dati riportati dalle persone interpellate, durante i fine settimana, la popolazione si addormenta in media più tardi, si alza più tardi e la durata complessiva del sonno è di circa un'ora in più.
- Con lo spostamento in avanti del periodo notturno attualmente definito nell'OIF (22-06) di almeno un'ora (ossia nella fascia oraria 23-07), si rispecchierebbero notevolmente meglio le effettive abitudini di sonno della popolazione.

Occorre considerare il carattere limitativo degli studi summenzionati che hanno riguardato soltanto le abitudini di sonno della popolazione adulta. Per esperienza, i bambini e i giovani dormono di più o vanno a letto prima rispetto agli adulti. Inoltre, tali studi non indicano se e quando il sonno di determinati gruppi vulnerabili (bambini, giovani, anziani, malati, ecc.) debba essere protetto in modo particolare. Si deve inoltre considerare che il comportamento naturale durante le ore di sonno osservato empiricamente è già stato eventualmente adeguato a causa di situazioni abitative esposte al rumore quale conseguenza di una strategia di intervento.

Per quanto tempo e da quando a quando dovrebbe durare la «notte normativa»?

Secondo una dichiarazione consensuale dell'American Academy of Sleep Medicine e della Sleep Research Society, per mantenersi in salute, per gli adulti la durata del sonno (ininterrotto) non dovrebbe essere inferiore a sette ore [55]. Inoltre, la durata del sonno necessaria per esplicare la funzione di riposo è individuale e non può essere ridotta con l'abitudine o l'allenamento. Ne consegue che il periodo notturno normativo dovrebbe essere di almeno sette ore e, nel migliore dei casi, dovrebbe essere fissato in modo tale da massimizzare la quota di popolazione che dorme in questa fascia oraria. In linea di massima, appare auspicabile proteggere dal rumore il sonno dell'intera popolazione nel modo più completo possibile. Considerata l'ampiezza della distribuzione della quota di popolazione all'interno del periodo di sonno (si veda la figura A.A.2), in pratica ciò non è tuttavia possibile. Da un punto di vista preventivo, sarebbe invece auspicabile che la fascia oraria che definisce la «notte» tuteli dal rumore la maggiore quota possibile della popolazione che dorme. A seconda della quota scelta della superficie presa in considerazione, con la distribuzione è possibile indicare un intervallo di tempo «ottimale», ossia un intervallo di tempo che massimizza la protezione. Un periodo di tempo definito in tal modo può essere indicato come «tempo di riposo di base». Per dedurre un simile periodo di riposo di base, nella figura A.A.4 sono stati analizzati i dati dell'indagine rappresentativa dell'UFAM sulle ore di sonno in Svizzera del 2011 [103]. In questo modo è possibile determinare la situazione dei periodi di riposo di base per diverse quote del sonno totale della popolazione svizzera, da un lato per i giorni lavorativi infrasettimanali e, dall'altro, per i giorni di riposo.⁹³ Il sonno totale è stato qui definito come la quantità di tutti i minuti che si trovano nel periodo di sonno di tutte le persone incluse nel campione (N = 2009), osservando che questi minuti si distribuiscono sull'asse temporale secondo una distribuzione quasi normale. Per una quota liberamente prestabilita del sonno totale si può dedurre un inizio e una fine del periodo di protezione, se alle due estremità della distribuzione restano lo stesso numero di «minuti di sonno». In tal modo si ottiene il periodo di tempo più breve possibile durante il quale ha luogo la quota massima (precedentemente fissata) del sonno totale. Se, ad esempio, almeno il 90% del sonno totale della popolazione deve essere protetto sia nei giorni lavorativi che nei giorni di riposo risp. nei fine settimana, tale periodo di riposo dovrebbe allora durare dalle 23:07 alle 08:29 (cfr. figura A.A.4).

⁹³ Per l'analisi si è fatto ricorso in modo mirato ai dati originali di [103] (e non, ad esempio, allo studio SIRENE) poiché solo in questo sondaggio sono stati chiesti momenti precisi di addormentamento e risveglio.

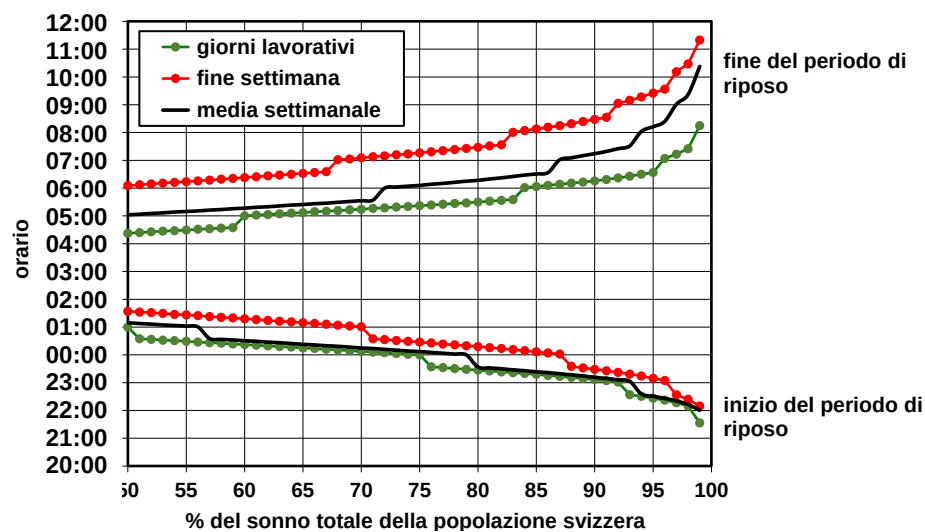


Figura A.A.4: inizio e fine del periodo di riposo di base in funzione della percentuale del sonno totale della popolazione svizzera, rispettivamente per i giorni lavorativi della settimana (verde) e i giorni di riposo risp. i fine settimana (rosso), nonché per la media della settimana (nero), laddove in quest'ultimo caso i fine settimana sono stati ponderati con 2/7 e i giorni infrasettimanali con 5/7. Determinato sulla base dei dati del sondaggio rappresentativo 2011 dell'UFAM [103].

La durata media del sonno da sola non costituisce tuttavia ancora una protezione completa poiché almeno anche il tempo necessario per addormentarsi e, in generale, per rilassarsi prima di andare a dormire dovrebbe essere coperto dalla fascia oraria protetta.

A.3.2 Sensibilità al rumore in funzione del momento della giornata (in relazione alla molestia)

Oltre alla distinzione di principio tra giorno e notte discussa sopra, sono possibili ulteriori differenziazioni temporali che rappresentano in maniera più particolareggiata (ad es. su base oraria) il diverso disturbo causato dal rumore in funzione del momento della giornata. Nell'ambito della valutazione di diversi periodi di tempo sarebbe auspicabile poter esprimere sulla scala decibel i differenti effetti tra periodi di tempo oppure singole ore con una sensibilità piuttosto bassa rispetto a quelli o a quelle con una sensibilità elevata nei confronti del carico fonico. A tal fine, dalle risposte del sondaggio SiRENE [13] in merito a «Orari di molestia / fastidio particolarmente forte», per ciascun tipo di rumore con dati disponibili e per ogni persona per ciascuna delle 24 ore giornaliere, è stato determinato se la persona (in tale ora del giorno) si sentiva fortemente infastidita o molestata dal relativo tipo di rumore (codice = 1) o meno (codice = 0). Ne è risultata una matrice di dati che è stata completata con il rispettivo valore 1-h- L_{eq} nel punto più rumoroso della facciata per ciascuna delle 24 ore (o 17

ore nel caso del rumore aereo, in quanto nelle ore centrali della notte in Svizzera vige il divieto di volo). Mediante regressione logistica gerarchica, in cui la probabilità di essere fortemente infastidito o molestato in una determinata ora del giorno è stata sottoposta a regressione rispetto all'ora del giorno (come fattore) e al corrispondente 1-h-Leq in tale ora (come covariata), è stato possibile calcolare i valori orari di sensibilità al rumore in dB. Quest'ultimi possono pertanto rappresentare la variabilità della molestia nel corso della giornata.

Valori negativi indicano che in questa ora le persone sono meno disturbate rispetto alla media giornaliera, mentre valori positivi indicano un disturbo maggiore rispetto alla media giornaliera. Il relativo metodo di calcolo è documentato dettagliatamente in [107]. Il modello statistico è stato allestito con il software statistico R (versione 3.5.1) secondo la procedura «lme4 glmer» ed è stato adattato per sesso, età, modalità del sondaggio e versione linguistica del questionario. Il profilo che ne risulta è illustrato nella figura A.A.5. I valori individuati, espressi in dB sull'asse y («sensibilità al rumore in funzione del momento del giorno»), indicano in dB in quale misura la molestia in una determinata ora del giorno differisce dalla molestia media giornaliera. Conformemente alla procedura, i 24 valori per il rumore stradale e ferroviario o i 17 valori per il rumore aereo ammontano in totale a 0 dB.

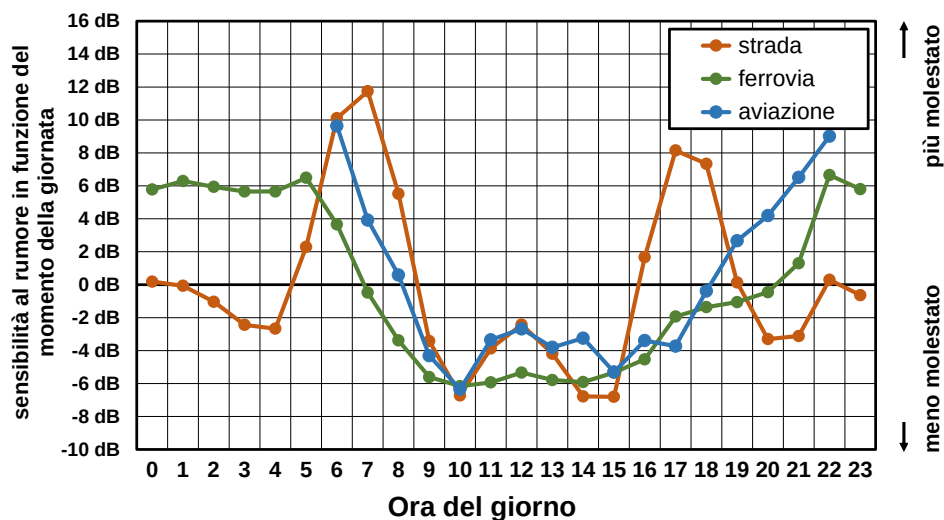


Figura A.A.5: sensibilità al rumore in funzione del momento della giornata, determinata sulla base dei dati del sondaggio SiRENE. Per una migliore leggibilità si è rinunciato a segnare gli intervalli di confidenza. Numero di giudizi espressi su 1 ora e considerati nell'analisi: rumore stradale N = 123'749; rumore ferroviario N = 87'019; rumore aereo N = 56'463.

I profili illustrati nella figura precedente indicano che, nel periodo notturno raccomandato dalla Commissione (tra le ore 22 e le ore 07), i valori di disturbo per ora sono superiori alla media giornaliera fino a +10 dB per il rumore aereo e stradale e fino a

+6 dB per il rumore ferroviario. Spiccano i forti picchi di disturbo durante gli orari di punta (06-08 e 17-19) nel caso del rumore stradale. N. B.: i valori in decibel riportati nella figura A.A.5 sono già corretti in funzione dell'influsso del rispettivo 1-h-L_{eq} (che negli orari di punta è più elevato rispetto alla media delle 24 ore), ciò significa che le deviazioni osservate dal valore medio (per 0 dB) devono essere attribuite solo all'ora del giorno in sé, ma non al carico fonico nella rispettiva ora del giorno.

A.3.3 Rapporto tra l'esposizione 1-h e la molestia/fastidio nelle singole ore notturne

La Commissione ha discusso la possibilità di raccomandare valori limite di 1 ora distinti per singole ore notturne (cfr. capitolo 4.4). È stato pertanto necessario stimare la relazione dose-effetto all'interno di ogni singola ora (notturna). Negli studi epidemiologici, ad esempio sugli effetti cardiometabolici, informazioni sugli effetti del rumore definite così dettagliatamente dal punto di vista temporale sono scarse, ma il sondaggio dello studio SiRENE [13, 14] ha offerto la possibilità di modellizzare funzioni dose-effetto per ciascuna ora per molestie/fastidi forti. Nel sondaggio SiRENE, le persone avevano la possibilità di indicare nella loro risposta, per ciascun tipo di rumore, le fasce orarie particolarmente fastidiose o moleste sull'arco della giornata. Per ogni ora del giorno è stato poi stabilito se durante tale ora del giorno la persona si è sentita fortemente infastidita o molestata (codice = 1) o meno (codice = 0) (da una determinata fonte di rumore). Ne è risultata una matrice di dati con 24 casi per persona e fonte di rumore, che è stata completata con il rispettivo valore 1h-L_{eq} della relativa fonte di rumore. Di conseguenza, per ogni persona erano presenti sino a $3 \times 24 = 72$ giudizi in merito al rumore in ore singole. In un modello multilivello gerarchico, l'influsso del tipo di rumore e dell'ora del giorno è stato individuato come «fixed effects», sulla probabilità di essere particolarmente disturbato o molestato in tale ora. Nel modello, la persona che ha risposto è stata definita come «random intercept effect» e il rispettivo valore 1-h-L_{eq} relativo al tipo di rumore è stato utilizzato come covariata per ottenere una stima dell'influsso dell'ora del giorno (o dell'ora della notte) indipendente dal livello. Il modello contemplava soltanto le ore nella fascia oraria 22-07. ed è stato adattato per sesso, età, versione linguistica del questionario e modalità del sondaggio. È stato calcolato sia un modello con un termine di interazione di $1\text{ h-L}_{\text{eq}} \times \text{ora del giorno}$ (per poter modellizzare curve dose-effetto non parallele), sia uno senza tale interazione. Il test di rapporto di verosimiglianza, condotto ai fini del confronto della qualità dei modelli, ha rivelato che si doveva preferire il modello con un termine di interazione. I risultati sono infine illustrati nella figura A.A.6: essa mostra le relazioni dose-effetto basate sul 1-h-L_{eq} per ogni singola ora notturna nella fascia oraria 22-07 (o per le ore 22-23, 23-24, 05-06, 06-07 nel caso del rumore aereo). L'analisi è stata effettuata con la versione R 3.5.1 mediante la procedura «lme4 glmer».

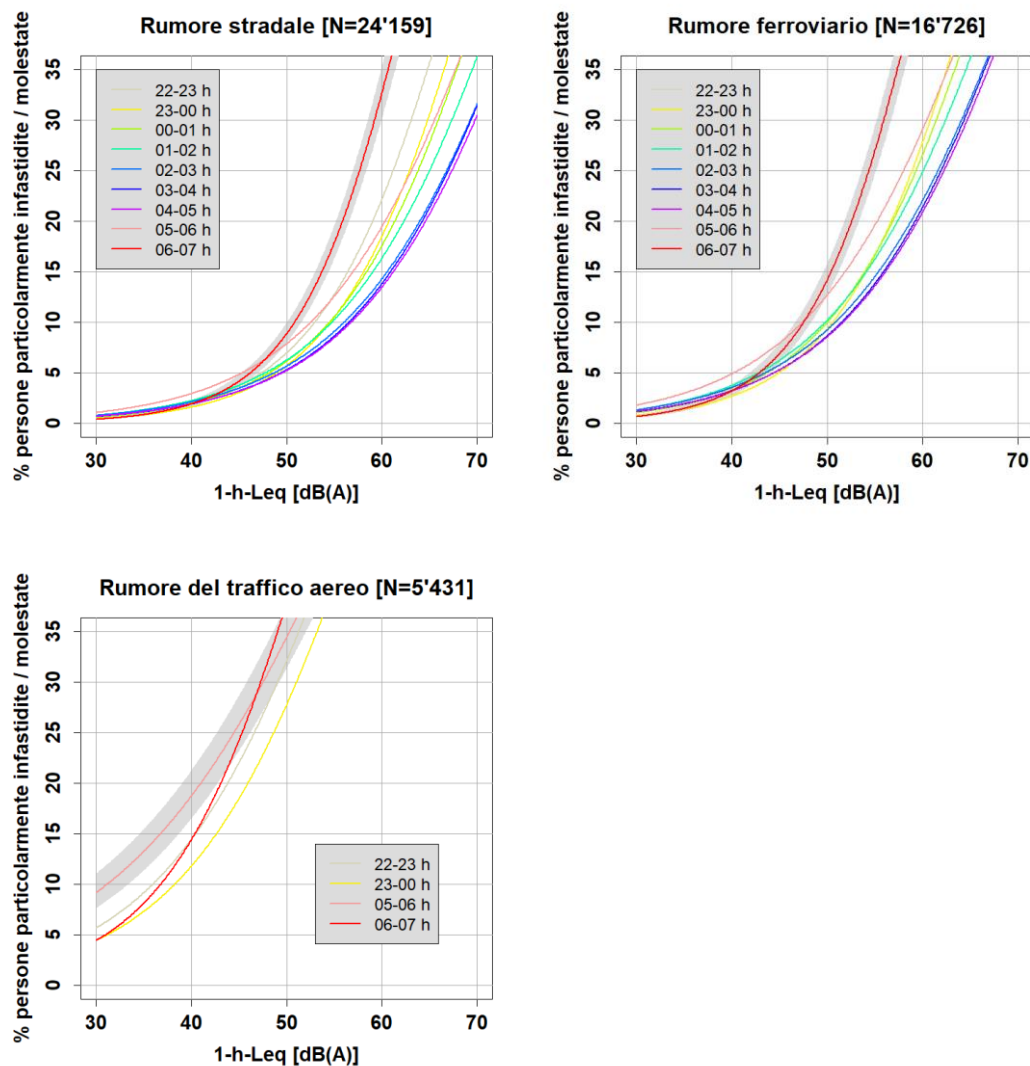


Figura A.A.6: percentuale di persone fortemente infastidite/molestate in una determinata ora notturna, in funzione del 1-h- L_{eq} in tale ora notturna, per le tre fonti di rumore del traffico, ossia rumore stradale (sopra a sinistra), rumore ferroviario (sopra a destra), rumore aereo (sotto). Le curve sono state calcolate sulla base di un modello multilivello adattato, con i dati del sondaggio SiRENE, e sono rappresentate per covariate centrate. Gli intervalli di confidenza sono indicati per il rumore stradale e ferroviario per l'ora 06-07, mentre per il rumore aereo per l'ora 05-06.

A.3.4 Analisi per stabilire se le persone sono sensibili al rumore in modo diverso a seconda del grado di sensibilità del luogo di residenza

Nel sondaggio SiRENE [13, 14] le persone partecipanti al sondaggio sono state interrogate in merito alla loro sensibilità al rumore «generale» e «legata al sonno». A tal fine è stata impiegata la batteria di elementi NoiSeQ-R [108] o la sua forma abbreviata con 13 elementi [109]. Dato che per ogni persona era noto il grado di sensibilità al rumore attribuito all'indirizzo di residenza, è stato possibile individuare se esiste un

nesso tra il grado di sensibilità attribuito e la sensibilità individuale al rumore. Ciò è stato testato, da un lato, per il nesso tra sensibilità al rumore generale e L_{den} e, dall'altro, per il nesso tra sensibilità al rumore legata al sonno e L_{night} . A tal fine, per ogni tipo di rumore (stradale, ferroviario, aereo) è stato calcolato un modello di regressione lineare per il punteggio NoiSeQ-R, che era stato adattato per le seguenti variabili del predittore (oltre al grado di sensibilità) e potenziale variabile confondente: L_{den} o L_{night} nel punto più rumoroso della facciata, età, sesso, modalità del sondaggio, versione linguistica del questionario, proprietà dell'immobile. Il modello comprendeva inoltre il termine d'interazione grado di sensibilità $\times L_{den}$ o grado di sensibilità $\times L_{night}$. I risultati sono riportati nelle figure A7 (sensibilità generale al rumore) e A8 (sensibilità al rumore legata al sonno) sotto forma di valori medi marginali stimati (estimated marginal means) per il grado di sensibilità II, grado di sensibilità III e grado di sensibilità IV (nel grado di sensibilità I non è stato interpellato nessuno) con intervalli di confidenza del 95%. L'analisi è stata effettuata con la versione R 3.5.1, con le funzioni «lm» ed «emmeans». Per i confronti multipli è stato effettuato un adattamento tramite il test HSD di Tukey. Il livello di significatività è stato fissato a 0.05.

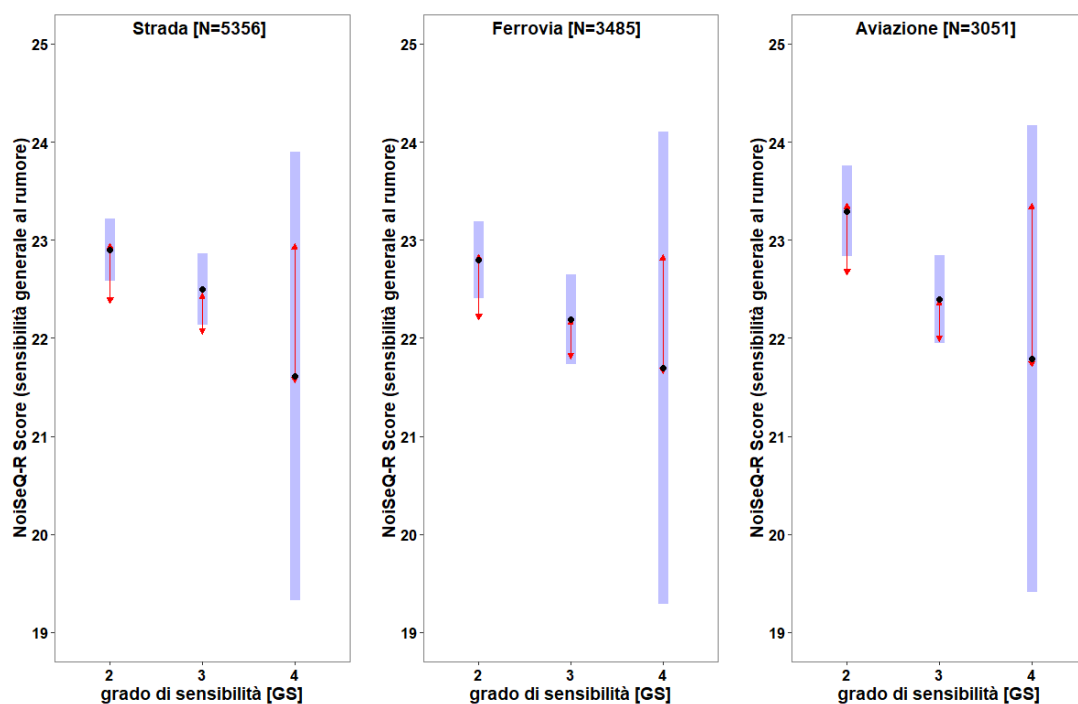


Figura A.A.7: valori medi marginali stimati (punti neri) del punteggio NoiSeQ-R rilevato nel sondaggio SiRENE per la sensibilità generale al rumore nel caso degli abitanti di zone nel grado di sensibilità II, III e IV, incl. intervallo di confidenza del 95% (barre azzurre). La doppia freccia rossa indica se esiste o meno una differenza significativa a coppie tra due gradi di sensibilità. Se le frecce tra due gradi di sensibilità **non** si sovrappongono, tra questi due gradi sussiste una **differenza significativa** nella sensibilità generale al rumore.

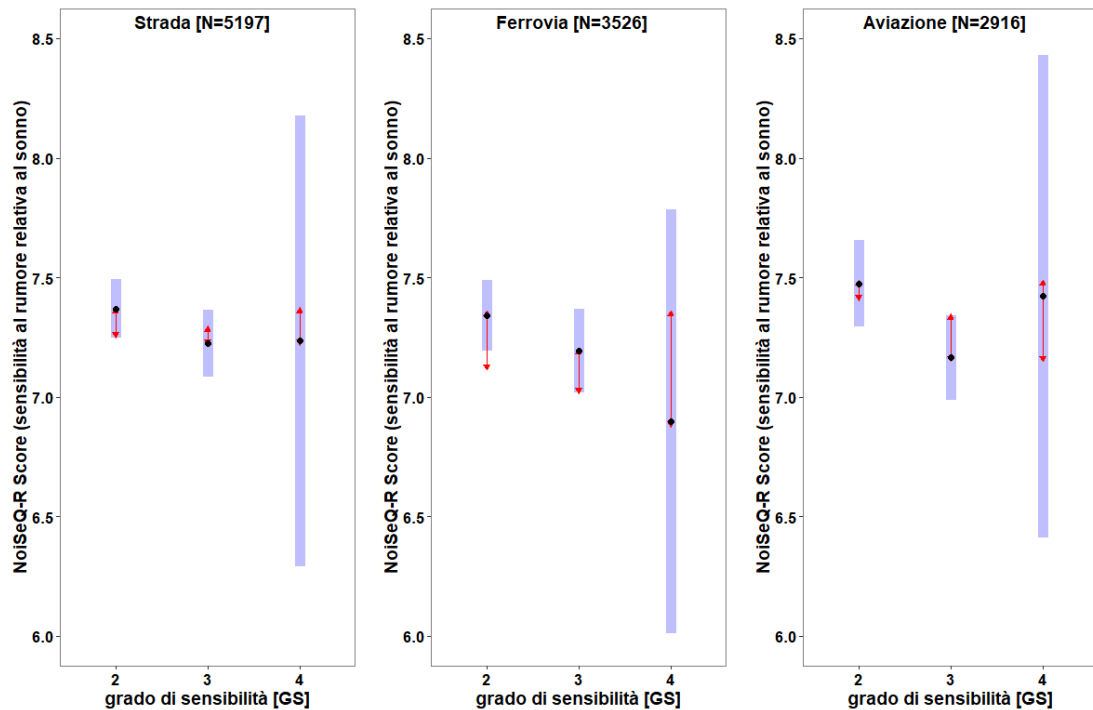


Figura A.A.8: valori medi marginali stimati (estimated marginal means) (punti neri) del punteggio NoiSeQ-R rilevato nel sondaggio SiRENE per la sensibilità al rumore legata al sonno nel caso degli abitanti in zone nel grado di sensibilità II, III e IV incl. intervallo di confidenza del 95% (barre azzurre). La doppia freccia rossa indica se esiste o meno una differenza significativa a coppie tra due gradi di sensibilità. Se le frecce tra due gradi di sensibilità **non** si sovrappongono, tra questi due gradi sussiste una **differenza significativa** nella sensibilità al rumore legata al sonno.

Dalle figure A7 e A8 risulta che gli abitanti del grado di sensibilità II sono un po' più sensibili al rumore rispetto a quelli del grado di sensibilità III. L'effetto del grado di sensibilità non è tuttavia significativo nei rispettivi modelli statistici come effetto principale ed è piuttosto modesto in considerazione dello scarto interquartile (IQR) del punteggio di sensibilità al rumore di NoiSeQ-R (sensibilità generale al rumore IQR=10; sensibilità al rumore legata al sonno IQR=4). Si riscontrano tuttavia notevoli contrasti post hoc tra gli abitanti del grado di sensibilità II e quelli del grado di sensibilità III per quanto riguarda il rumore aereo, sia per la sensibilità generale al rumore sia per quella legata al sonno. Ciò significa che nel modello del rumore aereo gli abitanti del grado di sensibilità II sono significativamente più sensibili al rumore rispetto a quelli del grado di sensibilità III (N.B.: indipendentemente dal carico fonico effettivo). È possibile che per ciò siano determinanti gli effetti di auto-selezione (ad es. proprietari di case più anziani nel grado di sensibilità II o nelle zone rurali).

Oltre al nesso testato sopra tra grado di sensibilità e sensibilità al rumore, è possibile che esista un nesso tra il grado di sensibilità e la molestia (%HA) o i disturbi del sonno riferiti dalle persone interpellate (%HSD), indipendente dall'esposizione effettiva. Per individuare l'effetto modificatore del grado di sensibilità nei modelli di dose-effetto per

la molestia e i disturbi del sonno, si è fatto nuovamente ricorso ai dati del sondaggio SiRENE e si sono calcolate le funzioni dose-effetto per la molestia (%HA) e i disturbi del sonno (%HSD) in funzione del grado di sensibilità mediante regressione logistica. A tal fine è stato specificato un modello adattato (adattato per le covariate età, sesso, modalità del sondaggio, versione linguistica del questionario). Oltre al grado di sensibilità quale predittore, il modello comprendeva anche il termine d'interazione grado di sensibilità $\times$ L_{den} o grado di sensibilità $\times$ L_{night} (per poter modellizzare curve dose-effetto non parallele). Le curve risultanti (separate per grado di sensibilità II e grado di sensibilità III) sono riportate nelle figure A9 (%HA) e A10 (%HSD) (si rinuncia a una rappresentazione delle curve per i gradi di sensibilità I e IV, in quanto per questi gradi di sensibilità non ci sono praticamente casi). La valutazione è stata effettuata con la versione R 3.5.1 tramite la funzione «glm». Il livello di significatività è stato fissato a 0.05.

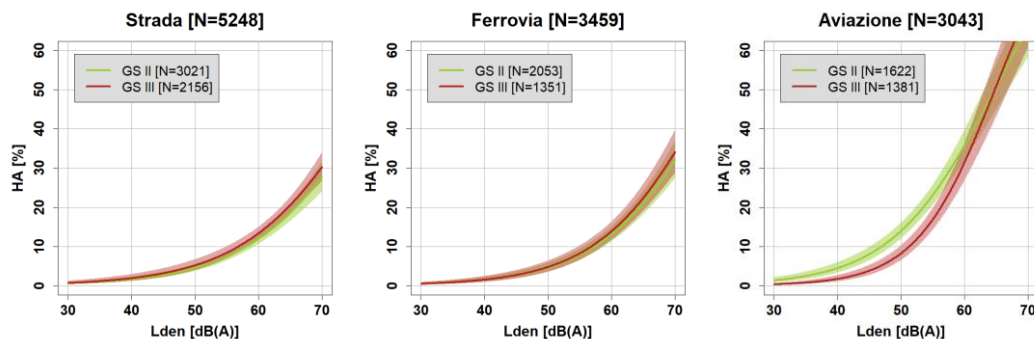


Figura A.A.9: curve dose-effetto (incl. intervallo di confidenza del 95%) per %HA in funzione del L_{den} per gli abitanti del grado di sensibilità II e grado di sensibilità III. Le curve sono state calcolate sulla base di un modello adattato, con dati del sondaggio SiRENE, e sono rappresentate per covariate centrate.

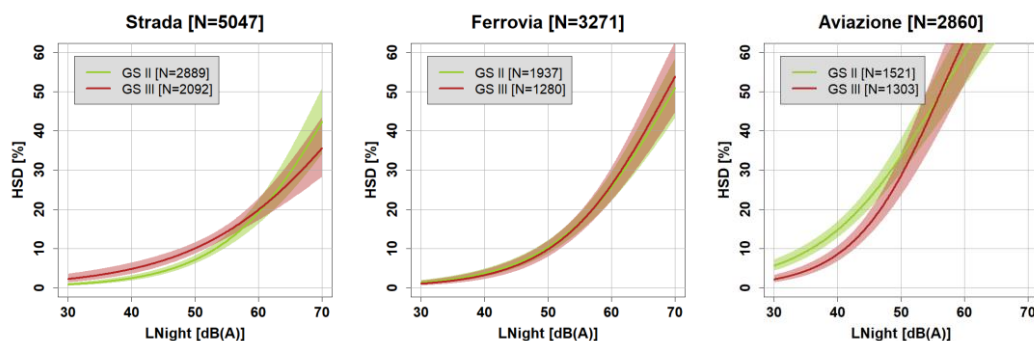


Figura A.A.10: curve dose-effetto (incl. intervallo di confidenza del 95%) per %HSD in funzione del L_{den} per gli abitanti del grado di sensibilità II e grado di sensibilità III. Le curve sono state calcolate sulla base di un modello adattato, con dati del sondaggio SiRENE, e sono rappresentate per covariate centrate.

Ancora una volta, soprattutto per il tipo di rumore «rumore aereo», si manifestano effetti modificatori del grado di sensibilità sulla molestia e sui disturbi del sonno. Nel

grado di sensibilità II, gli intervistati sono sia un po' più molestati (Tukey HSD $p=0.0002$) sia un po' più spesso disturbati nel loro sonno (Tukey HSD $p=0.0002$) rispetto a coloro nel grado di sensibilità III. La differenza sulla scala decibel è di pochi dB (visibile sulla base dello spostamento delle curve l'una contro l'altra sull'asse x). È possibile che determinante per ciò sia un effetto mascherante, in quanto nelle pure zone residenziali del grado di sensibilità II il livello del rumore ambientale (ad es. provocato dal rumore stradale) è tendenzialmente inferiore rispetto a quello nel grado di sensibilità III, per cui il rumore degli aerei è più percepibile nelle zone del grado di sensibilità II.

A.3.5 Analisi in merito all'entità delle possibili correzioni del livello

Differenze relative al disturbo tra le fonti (correzioni dei livelli del primo tipo)

La figura A.A.11 mostra le relazioni dose-effetto per la %HA, riferite al livello medio giornaliero di 15 ore $L_{day,07-22h}$ (a sinistra), e per la %HSD, riferite al livello medio notturno di 9 ore $L_{night,22-07h}$ (a destra), sulla base di dati del sondaggio SiRENE [13, 14]. In entrambi i grafici, le curve sono state calcolate sulla base dei predittori di un modello di volta in volta adattato (adattato per le covariate sesso, età, modalità del sondaggio, lingua del questionario) e con un intervallo di confidenza del 95% (superfici ombreggiate) e rappresentate per covariate centrate.

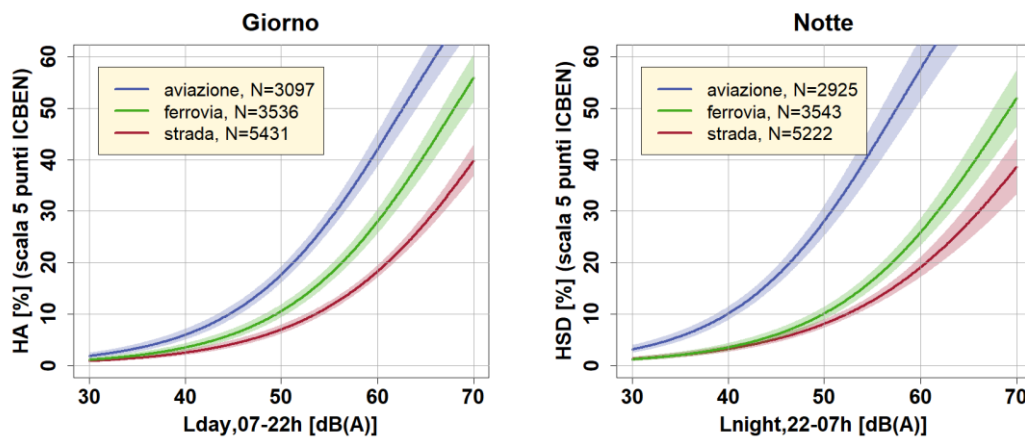


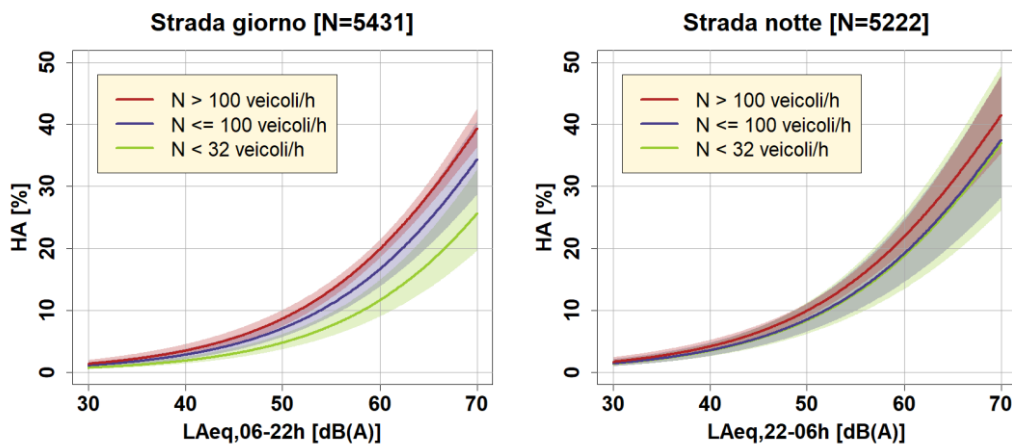
Figura A.A.11: curve dose-effetto per tre diversi tipi di rumore e due fasce orarie di valutazione dello studio SiRENE. A sinistra: relazione tra $L_{Day,07-22h}$ (di giorno) e %HA (calcolata sulla base della scala a 5 punti ICBEN); a destra: relazione tra $L_{night,22-07h}$ (di notte) e %HSD (calcolato con una scala a 5 punti simile alla scala ICBEN).

Per quanto riguarda il punto finale %HA, è evidente la presenza di una graduazione chiara, con il rumore aereo che, a parità di livello, risulta il rumore più molesto, seguito dal rumore ferroviario e da quello stradale. Gli spostamenti delle singole relazioni dose-effetto tra loro ammontano ogni volta a circa 5 dB sull'asse X. Ciò può essere

interpretato nel senso che il rumore aereo di pari livello è percepito come più molesto del rumore ferroviario di circa 5 dB e del rumore stradale di circa 10 dB. Se i valori limite per il periodo diurno fossero fissati esclusivamente in base al punto finale molestia, i valori limite per il rumore stradale, ferroviario e aereo dovrebbero differire ogni volta di 5 dB. Un «bonus ferroviario» non appare giustificato. Un quadro molto simile si presenta anche per i disturbi del sonno (figura A.A.10 a destra): pure in questo caso il rumore ferroviario è percepito come più molesto di circa 2-3 dB rispetto al rumore stradale.

Influenza dei volumi di traffico sulla molestia e sui forti disturbi del sonno (correzioni del livello del secondo tipo)

Rumore stradale: la figura A.A.12 mostra le relazioni dose-effetto per la %HA, riferite al livello medio giornaliero di 16 ore (a sinistra), e per la %HSD, riferite al livello medio notturno di 8 ore (a destra), per tre diverse categorie di volumi di traffico (secondo l'allegato 3 dell'OIF: $N < 32$ veicoli/h, $N \leq 100$ veicoli/h, $N > 100$ veicoli/h) sulla base del sondaggio SiRENE [13, 14]. In entrambi i grafici, le curve sono state calcolate sulla base dei predittori di un modello adattato (sesso, età, modalità del sondaggio, versione linguistica del questionario) e con un intervallo di confidenza del 95% (superfici ombreggiate) e rappresentate per covariate centrate.⁹⁴



⁹⁴ I modelli statistici per il calcolo delle curve contenevano in primo luogo, quale predittore aggiuntivo, il termine d'interazione tra livello e volume di traffico. Se il termine d'interazione nel modello non era significativo, è stato rimosso ed il modello è stato rifatto senza tale termine.

Figura A.A.12: curve dose-effetto per il rumore stradale, per tre diverse categorie di volumi di traffico tratte dallo studio SiRENE. A sinistra: relazione tra $L_{Aeq,06-22h}$ (di giorno) e %HA (calcolata sulla base della scala a 5 punti ICBEN); a destra: relazione tra $L_{Aeq,22-06h}$ (di notte) e %HSD (calcolato con una scala a 5 punti simile alla scala ICBEN). Nel modello per il rumore stradale, l'effetto del volume di traffico è **significativo** durante il giorno.

Dalla figura A.A.12 a sinistra si evince che le strade meno trafficate ($N < 32$ veicoli/h), a parità di livello energetico medio durante la giornata (ossia nella fascia oraria 06-22), disturbano o molestano leggermente meno; ciò giustificherebbe, per il periodo diurno, una correzione in funzione del volume di traffico di circa 4-5 dB per le strade meno trafficate. Durante il periodo notturno (figura A.A.12 a destra) non si osserva alcun effetto modificatore significativo.

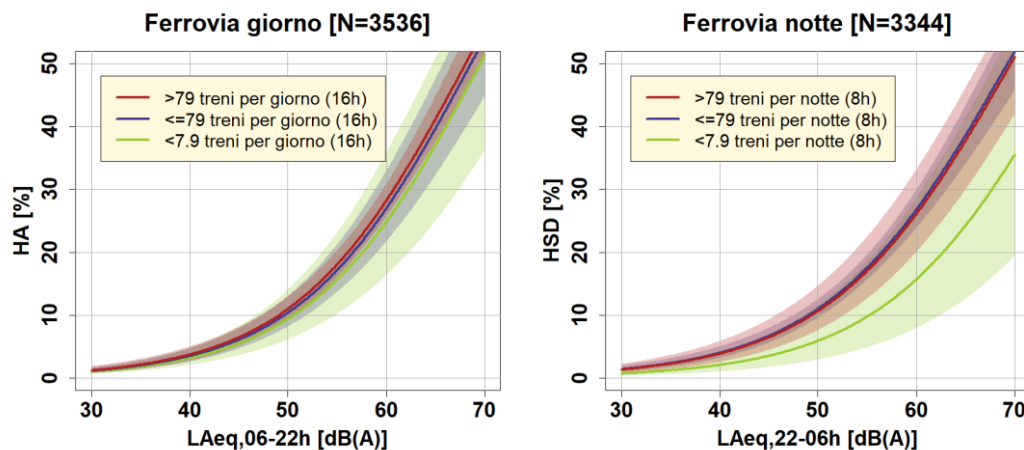


Figura A.A.13: curve dose-effetto per il rumore ferroviario, per tre diverse categorie di volumi di traffico tratte dallo studio SiRENE. A sinistra: relazione tra $L_{Aeq,06-22h}$ (di giorno) e %HA (calcolata sulla base della scala a 5 punti ICBEN); a destra: relazione tra $L_{Aeq,22-06h}$ (di notte) e %HSD (calcolato con una scala a 5 punti simile alla scala ICBEN). In entrambi i modelli l'effetto del volume di traffico non è significativo.

Rumore ferroviario: la figura A.A.13 mostra le relazioni dose-effetto per la %HA, riferite al livello medio giornaliero di 16 ore (a sinistra), e per la %HSD, riferite al livello medio notturno di 8 ore (a destra), per tre diverse categorie del numero di treni in transito ⁹⁵ sull'arco del rispettivo periodo di valutazione (categorizzazione secondo l'allegato 4 dell'OIF: $N < 7.9$ treni, $N \leq 79$ treni, $N > 79$ treni) tratto dal sondaggio SiRENE [13, 14]. In entrambi i grafici, le curve sono state calcolate sulla base dei predittori del

⁹⁵ Con «eventi» sono stati definiti i passaggi dei treni che, secondo il metodo di calcolo per la determinazione dell'intermittency ratio (IR) [110], si situano al di sopra del valore soglia definito, ossia emergono chiaramente dal rumore di fondo. Questi eventi non sono direttamente paragonabili con il numero di treni in circolazione N , ai sensi del numero 33 dell'allegato 4 dell'OIF.

modello adattato (sesso, età, modalità del sondaggio, versione linguistica del questionario) e con un intervallo di confidenza del 95% (superfici ombreggiate) e rappresentate per covariate centrate.⁹⁶

Le curve per le tre diverse categorie di volumi di traffico di cui alla figura A.A.13 a sinistra sono tutte vicine e solo di poco spostate l'una dall'altra. Ne consegue che le correzioni del livello in funzione del volume di traffico durante il giorno non sono giustificate per quanto attiene al rumore ferroviario. Nella figura A.A.13 a destra, la relazione dose-effetto per rari treni in transito (verde, <7.9 treni per notte) suggerisce certamente una correzione in funzione del volume di traffico, ma l'effetto non è significativo e l'intervallo di confidenza è elevato.

A.3.6 Modelli dose-effetto per %HA e %HSD in caso di impiego di descrittori acustici diversi

I diversi descrittori acustici, utilizzati come variabile di esposizione determinante nei modelli statistici dose-effetto, producono naturalmente relazioni o curve dose-effetto leggermente divergenti tra loro anche con i dati dello stesso campione. Tali differenze sono provocate soprattutto da riferimenti temporali diversi. Ad esempio, non ci si attende dunque che una relazione dose-effetto per forti disturbi del sonno (%HSD), basata sull'esposizione notturna nella fascia oraria 22-06, coincida con la curva basata sull'esposizione nella fascia oraria 23-07.

Ai fini del confronto tra le curve dose-effetto per diversi descrittori acustici trattati nel presente rapporto (per %HA: $L_{day,06-22h}$, $L_{day,07-22h}$, L_{den} , $L_{den,07-19-22-07h}$; per %HSD: $L_{night,22-06h}$, $L_{night,22-07h}$, $L_{night,23-07h}$) tali curve sono state ricalcolate per i punti finali %HA e %HSD sulla base dei dati originali del sondaggio SiRENE. La figura A.A.14 mostra, sempre nei grafici a sinistra, le curve dose-effetto basate sul sondaggio SiRENE (adattate per età, sesso, modalità del sondaggio e versione linguistica del questionario) per il punto finale %HA, sottoposte a regressione sui descrittori acustici $L_{day,07-22h}$ e $L_{den,07-19-22-07h}$, rispetto ai descrittori acustici $L_{day,06-22h}$ (sinora nell'OIF) e L_{den} (valore limite generico). I grafici a destra mostrano le curve di regressione per il punto finale %HSD e il descrittore acustico $L_{night,22-07h}$, $L_{night,22-06h}$ (finora nell'OIF) e $L_{night,23-07h}$ (valore limite generico).

⁹⁶ I modelli statistici per il calcolo delle curve contenevano in primo luogo, quale predittore aggiuntivo, il termine d'interazione tra livello e volume di traffico. Se il termine d'interazione nel modello non era significativo, è stato rimosso ed il modello è stato rifatto senza tale termine.

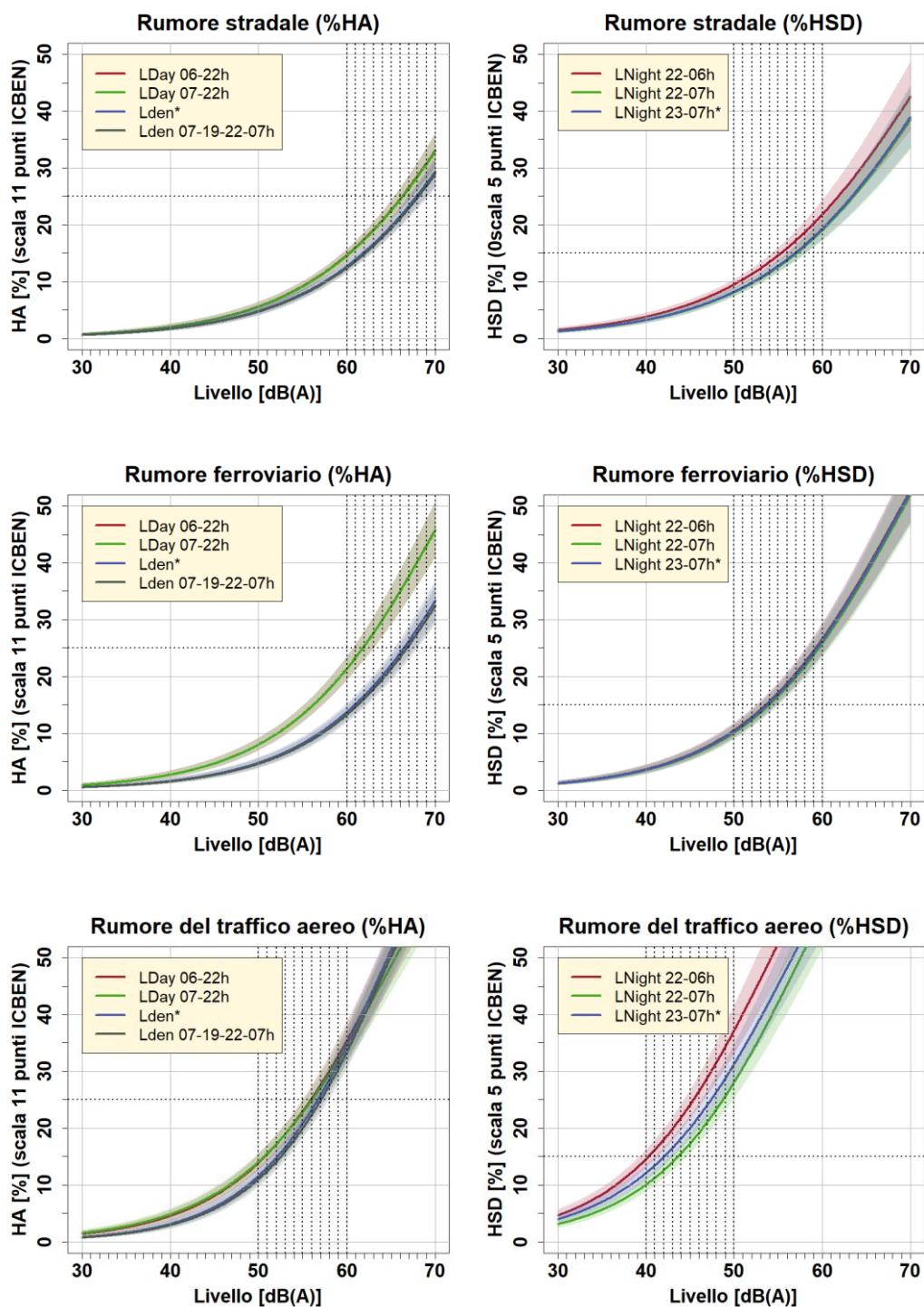


Figura A.A.14: confronto delle curve dose-effetto tra diversi descrittori acustici per i punti finali %HA (a sinistra) e %HSD (a destra). Le curve sono state calcolate sulla base dei dati del sondaggio SiRENE, sono adattate per età, sesso, modalità del sondaggio e versione linguistica del questionario e presentate per covariate centrate. Le superfici ombreggiate indicano i relativi intervalli di confidenza del 95%. Le curve quasi coincidenti possono nascondersi reciprocamente nel grafico. I rischi accettabili stabiliti dalla Commissione sono segnati come linee orizzontali punteggiate in corrispondenza del 25% HA e del 15% HSD. Le linee verticali punteggiate servono a leggere il livello corrispondente sulla curva dose-effetto. Il descrittore acustico contrassegnato con un asterisco (*) nella legenda corrisponde al descrittore acustico del valore limite generico.

A.3.7 Spiegazione della varianza dell'effetto del rumore (molestia e disturbi del sonno) per diversi descrittori acustici e luoghi di determinazione nello studio SiRENE

La maggior parte degli studi sugli effetti del rumore usano come descrittore acustico livelli determinati in modo matematico sugli elementi edili esterni degli edifici (senza considerare ad es. costruzioni annesse, schermature, parapetti, balconi ecc.). Nella maggior parte dei casi, nei modelli statistici dose-effetto, per ogni edificio viene utilizzato come predittore solo il punto della facciata con l'esposizione *più elevata*. Pertanto, il campo d'applicazione delle relazioni dose-effetto derivate da tali studi si limita in senso stretto a questo punto preciso con l'esposizione più elevata (punto più rumoroso della facciata). Di conseguenza, i valori limite tratti dalle stesse relazioni dose-effetto sono in linea di principio «validi» solo per il punto più rumoroso della facciata. Sarebbe tuttavia anche ipotizzabile che altri punti sull'involucro dell'edificio siano maggiormente correlati agli effetti del rumore, ad esempio il punto più silenzioso con i disturbi del sonno riferiti dalle persone interpellate. Per verificare ciò, nell'ambito del sondaggio SiRENE sono stati calcolati modelli dose-effetto dei punti finali %HA e %HSD (sempre adattati per età, sesso, modalità del sondaggio e versione linguistica del questionario) per diverse combinazioni di descrittore acustico e luogo di determinazione e misure Pseudo- R^2 di volta in volta risultanti (McKelvey & Zavoina, [111] e Nagelkerke, [112]) riportate nella tabella A.T.5. Quanto più elevato è lo pseudo- R^2 , migliore è la spiegazione della varianza della corrispondente combinazione descrittore acustico - luogo di determinazione. I dati della tabella A.T.5 mostrano chiaramente che i livelli nel punto più rumoroso della facciata corrispondono meglio ai punti finali %HA e %HSD, mentre tra i descrittori acustici nel medesimo punto della facciata non esistono differenze significative.

Tabella A.T.5: misure Pseudo-R² (M-Z: McKelvey & Zavoina e NK: Nagelkerke) e loglikelihood di modelli dose-effetto adattati per %HA (determinati sulla base di una scala a 11 punti) e %HSD (determinati sulla base di una scala a 5 punti) per descrittori acustici e luoghi di determinazione diversi nel sondaggio SiRENE. Gli elenchi sono indicati in ordine crescente secondo l'Akaike Information Criterion (AIC) (AIC non indicato). Per i riferimenti temporali dei descrittori acustici si veda il glossario (Allegato A.4).

Tipo di rumore	Punto finale	Descrittore acustico / luogo di determinazione	M-Z R ²	NK R ²	Loglik.
Rumore stradale	%HA	L _{night} max. facciata	0.22	0.14	-1838.9
		L _{den} max. facciata	0.22	0.14	-1839.03
		L _{day} max. facciata	0.22	0.14	-1839.27
		L _{night} min. facciata	0.11	0.08	-1925.3
		L _{den} min. facciata	0.11	0.08	-1925.5
		L _{day} min. facciata	0.11	0.08	-1925.99
Rumore ferroviario	%HA	L _{den} max. facciata	0.39	0.27	-898.87
		L _{night} max. facciata	0.39	0.27	-899
		L _{day} max. facciata	0.39	0.27	-901.66
		L _{den} min. facciata	0.27	0.20	-962.81
		L _{night} min. facciata	0.27	0.20	-963.08
		L _{day} min. facciata	0.27	0.20	-965.04
Rumore aereo	%HA	L _{den} *	0.37	0.29	-1018.57
		L _{night} *	0.34	0.28	-1027.68
		L _{day} *	0.32	0.25	-1057.99
Rumore stradale	%HSD	L _{night} max. facciata	0.20	0.11	-1465.26
		L _{den} max. facciata	0.20	0.11	-1465.29
		L _{day} max. facciata	0.20	0.11	-1465.32
		L _{den} min. facciata	0.10	0.07	-1522.97
		L _{day} min. facciata	0.10	0.07	-1523
		L _{night} min. facciata	0.10	0.07	-1523.02
Rumore ferroviario	%HSD	L _{den} max. facciata	0.41	0.28	-872.28
		L _{night} max. facciata	0.41	0.28	-873.07
		L _{day} max. facciata	0.41	0.28	-873.31
		L _{den} min. facciata	0.30	0.22	-935.49
		L _{day} min. facciata	0.30	0.21	-935.92
		L _{night} min. facciata	0.30	0.21	-936.42
Rumore aereo	%HSD	L _{night} *	0.32	0.25	-866.21
		L _{den} *	0.31	0.22	-890.02
		L _{day} *	0.26	0.18	-925.96

* per il rumore aereo non vengono calcolati punti di facciata diversi per unità abitativa.

A.3.8 Conversione tra descrittori acustici diversi

Per poter passare da un valore limite sotto forma di descrittore acustico L_{den} a un valore limite in $L_{den,07-19-22-07h}$ e $L_{day,07-22h}$, e dal valore limite generico sotto forma di L_{night} al relativo valore limite sotto forma di descrittore acustico $L_{night,22-07h}$, occorre determinare di quanto queste diverse misure si discostano le une dalle altre in media (e in modo rappresentativo per la Svizzera).

A tal fine, si è fatto ricorso ai livelli di facciata orari medi annui delle unità abitative incluse nel quadro di campionamento del sondaggio SiRENE (rumore stradale: $N = 51\,666$ unità abitative; rumore ferroviario: $N = 31\,066$ unità abitative; rumore aereo: $N = 27\,271$ unità abitative) e si è calcolato, per il rispettivo punto di facciata massimo (ossia più rumoroso) per unità abitativa, tutti i descrittori acustici rilevanti nell'ambito del presente rapporto, nonché tutte le differenze tra gli stessi. Le differenze medie di tutte le unità abitative sono state ora utilizzate per determinare i termini di conversione elencati nella tabella A.T.6. A tale proposito, occorre precisare che una tale conversione può rispecchiare solo approssimativamente le differenze tra i descrittori acustici e presenta quindi alcune incertezze (per una discussione dettagliata al riguardo si veda [12]).

Tabella A.T.6 Termini di conversione (differenze medie in dB) tra diversi descrittori acustici in dB (A), determinati sulla base dei dati del campionamento del sondaggio SiRENE, arrotondati matematicamente a 0.01 dB

Tipo di rumore:	$L_{den} - L_{den,07-19-22-07h}$	$L_{den} - L_{day,07-22h}$	$L_{day,06-22h} - L_{day,07-22h}$	$L_{night} - L_{night,22-07h}$	$L_{night,22-06h} - L_{night,22-07h}$
Strada	-0.22	+1.52	-0.08	-0.18	-1.78
Ferrovia	-0.30	+5.91	-0.03	-0.09	-0.06
Aereo	-0.40	+1.40	0.03	-1.89	-2.66

A.3.9 Distribuzioni di frequenza delle correzioni del livello K1 nell'OIF

Ai fini di una stima rappresentativa delle differenze nel livello di protezione tra lo status quo secondo l'OIF e le nuove raccomandazioni (cfr. capitolo 5.5.1), è necessario conoscere la distribuzione a livello nazionale delle correzioni del livello K1 in funzione del numero di movimenti e, in particolare, il loro valore medio nei gradi di sensibilità II e III. Per determinare queste distribuzioni del K1, si è fatto ricorso ai dati di base della banca dati sonBASE dell'UFAM per l'anno di calcolo 2015. Per le distribuzioni calcolate nelle figure A.A.15 (rumore stradale) e A.A.16 (rumore ferroviario) sono state prese in considerazione tutte le persone presenti in tutti gli edifici abitati in Svizzera, che nel 2015 subivano un carico superiore al $L_{day,06-22h}$ di 60 dB(A) o $L_{night,22-06h}$ di 50

dB (A) determinato per il rispettivo periodo di tempo. Sulla base di questo calcolo, sono risultati i seguenti valori medi di K1, separati per grado di sensibilità II e grado di sensibilità III:

Rumore stradale:	Grado di sensibilità II giorno:	-0.17 dB
	Grado di sensibilità III giorno:	-0.24 dB
	Grado di sensibilità II notte:	-2.87 dB
	Grado di sensibilità III notte:	-2.77 dB
Rumore ferroviario:	Grado di sensibilità II giorno:	-5.16 dB
	Grado di sensibilità III giorno:	-5.18 dB
	Grado di sensibilità II notte:	-8.19 dB
	Grado di sensibilità III notte:	-8.07 dB

Le distribuzioni di frequenza per K1 sono rappresentate nelle figure A.A.15 (rumore stradale) e A.A.16 (rumore ferroviario).

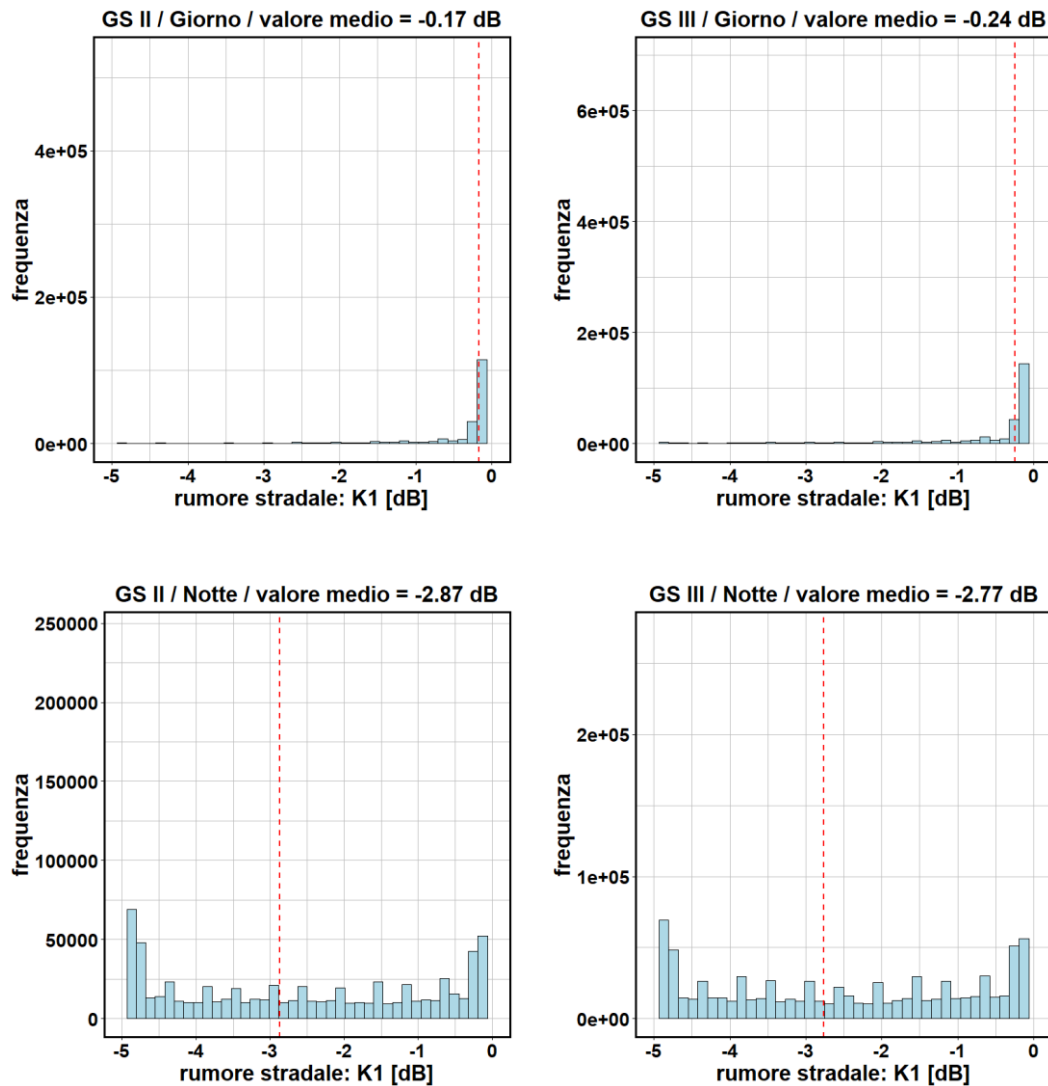


Figura A.A.15: distribuzione di frequenza delle correzioni del livello K1 del rumore stradale con $L_{day,06-22h} \geq 60$ dB (A) (in alto) o $L_{night,22-06h} \geq 50$ dB (A) (in basso) per il grado di sensibilità II (a sinistra) e per il grado di sensibilità III (a destra); il valore medio di K1 è indicato con una linea rossa tratteggiata; Base dei dati: sonBASE 2015; 1 825 673 persone in 191 328 edifici di giorno e 2 396 694 persone in 270 409 edifici di notte

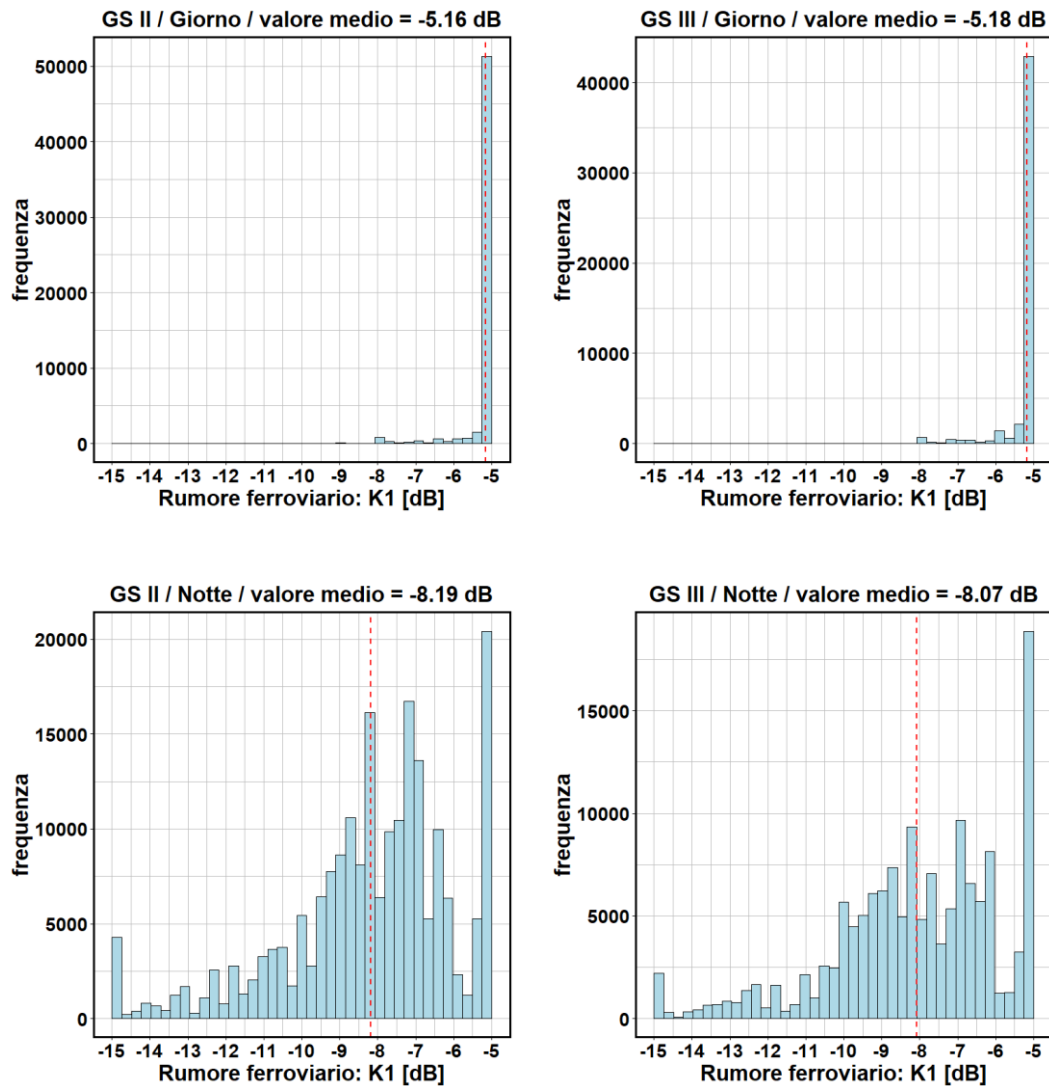


Figura A.A.16: distribuzione di frequenza delle correzioni del livello K1 del rumore ferroviario con $L_{day,06-22h} \geq 60$ dB(A) (in alto) o $L_{night,22-06h} \geq 50$ dB(A) (in basso) per il grado di sensibilità II (a sinistra) e per il grado di sensibilità III (a destra); il valore medio di K1 è indicato con una linea rossa tratteggiata; Base dei dati: sonBASE 2015; 121 602 persone in 9752 edifici di giorno e 374 289 persone in 33 503 edifici di notte

A.4 Glossario dei termini, delle abbreviazioni e dei simboli

Rischio assoluto	Qui: probabilità di effetti del rumore sulla salute e/o sul benessere in determinate condizioni di esposizione.
Filtro A, valutazione della frequenza A	Correzione spettrale del livello che tiene conto della differente sensibilità dell'udito per frequenze diverse. Quasi tutti i valori in dB che si trovano nella letteratura utilizzano il filtro A per ponderare in funzione dell'udito lo spettro sonoro, che permette di utilizzare il decibel come unità di misura unitaria per tutti gli spettri di frequenza. L'unità del livello di pressione sonora è quindi indicata correttamente con «dB(A)».
Arousal	Aumento dell'attivazione a breve termine nell' →EEG.
Rigidità vascolare arteriosa	Grado della variazione relativa del volume di sangue rispetto alla variazione della pressione sanguigna.
VA	Valore/i di allarme
AWR	Reazione di risveglio (EEG), vedi anche →EEG
UFAM	Ufficio federale dell'ambiente
Descrittore acustico	Qui: indicatore acustico che permette di esprimere il carico fonico. Esempi: L_{day} , L_{night} , L_{den} .
Grandezza di valutazione	Qui: indicatore del livello o unità in cui viene indicato un valore limite. In Svizzera la grandezza di valutazione rilevante è →il livello di valutazione L_r .
Livello di valutazione (L_r)	Livello per la valutazione degli effetti del rumore, che influisce su →un luogo di immissione. In Svizzera il livello di valutazione è di regola calcolato sulla base del L_{eq} più correzioni del livello.
LRFF	Legge federale concernente il risanamento fonico delle ferrovie, RS 742.144
BGW	Valore (i) limite di esposizione
DALY	Disability Adjusted Life-Year
Decibel, dB	Unità che indica il logaritmo decimale del rapporto tra due grandezze esprimanti energie sonore dello stesso tipo. Nell'acustica, il valore di riferimento è una pressione sonora alternata di 2 μ Pa (micropascal), che secondo la norma corrisponde alla soglia uditiva a 1000 Hz (in corrispondenza della soglia uditiva tale pressione sonora alternata corrisponde dunque a un livello di 0 dB, mentre in corrispondenza della cosiddetta «soglia del dolore» a un livello di circa 120 dB). Un aumento del livello di 10 dB è percepito all'incirca come un raddoppio del volume.

Disability Weight, DW	Fattore/i di ponderazione per la gravità dei danni alla salute. I disability weight sono necessari per la quantificazione dei →DALY (vedi anche →GBD).
VRP	Valore soglia relativo al punto finale, si veda anche →Punto finale.
EEG	Elettroencefalografia, elettroencefalogramma: misurazione dell'attività elettrica complessiva del cervello.
CFLR	Commissione federale per la lotta contro il rumore, nel presente rapporto denominata anche in breve «Commissione».
Emissione	Emissione nell'ambiente di particelle, sostanze, onde, radiazioni o suoni provenienti da una fonte.
Disfunzione endoteliale	Funzione limitata delle cellule endoteliali vascolari. Svolge un ruolo centrale nella patogenesi della malattia cardiaca coronarica.
Punto finale	Variabile determinabile empiricamente (ad es. pressione sanguigna, morte per infarto cardiaco [o relativa probabilità], molestia su una scala di 11 punti, ecc.) per quantificare un determinato effetto del rumore e poter operare con esso
Livello sonoro continuo equivalente o livello energetico medio	→ L_{eq}
EPA Network	Riunione informale dei capi e dei direttori delle autorità europee di protezione dell'ambiente e di organismi analoghi.
Evidenze	Qui: quantità complessiva di informazioni empirico-scientifiche su un determinato oggetto di ricerca.
Esposizione	Carico (fonico)
Relazione dose-effetto	Qui: descrizione (formalizzata o grafica) della relazione tra carico fonico (→dose) e un →punto finale.
GBD	Global Burden of Disease, progetto dell' →OMS per la quantificazione del carico globale di malattia, perlopiù mediante →DALY.
GDG	Guideline Development Group dell' →OMS. Questo gruppo di esperti istituito dall'OMS ha definito le principali questioni e priorità nell'elaborazione delle «WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region» [10], ha valutato le evidenze scientifiche disponibili e formulato raccomandazioni.
Valore limite generico	Qui: valore limite generalmente valido, raccomandato dalla Commissione per ogni tipo di rumore ai fini della protezione della salute, espresso nel descrittore acustico → L_{den} o → L_{night} .

Valori medi marginali stimati	Valori medi di variabili dipendenti, stimati mediante modelli statistici, in relazione a vari livelli (o combinazioni) di fattori (in inglese «estimated marginal means»).
VLG	→ valore limite generico
HA, %HA	Highly Annoyed; numero o percentuale di persone fortemente infastidite dal rumore.
Asse HPA (asse HHN)	asse ipotalamo-ipofisi-surrene (in inglese «hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis»), gestisce il rilascio del cortisolo (ormone dello stress).
HSD, %HSD	Highly Sleep Disturbed; numero o percentuale di persone fortemente disturbate dal rumore nel sonno durante la notte.
Iperglicemia	Livelli elevati di glucosio nel sangue
ICBEN	International Commission on Biological Effects of Noise (http://www.icben.org)
VLI	Valore/i limite di immissione
IHD	Cardiopatia ischemica (Ischaemic Heart Disease)
Luogo di immisione	Luogo/punto di ricezione del carico fonico
Intermittenza	Entità della “variabilità di un evento” in una determinata situazione di carico fonico, in inglese «intermittency» o «intermittency ratio» [110].
Scarto interquartile (IQW)	Misura della variabilità nella statistica descrittiva. Se si seleziona una variabile in base al suo valore, lo scarto interquartile esprime l'ampiezza della fascia di valori (nell'unità della variabile) che contiene la metà "centrale" dei valori osservati.
Incidenza	Tasso di comparsa di nuove malattie in una determinata popolazione e in un determinato lasso di tempo (a differenza della →Prevalenza).
ischemico	Ischemia: Riduzione dell'irrorazione sanguigna o interruzione totale dell'irrorazione sanguigna di un tessuto, di una parte del corpo o di un organo.
cardiometabolico	Concernente il cuore e/o la circolazione e/o il metabolismo
cardiovascolare	Concernente il cuore e/o la circolazione sanguigna
$L_{Aeq,1h}$	Livello medio ponderato A su un'ora (ad es. indicato come $L_{Aeq,22-23h}$)

$L_{Aeq,22-06h}$	Livello medio ponderato A nel periodo notturno relativo alla fascia oraria 22-06 (8 ore), corrisponde al $\rightarrow L_{night,22-06h}$
$L_{Aeq,22-07h}$	Livello medio ponderato A nel periodo notturno relativo alla fascia oraria 22-07 (9 ore), corrisponde al $\rightarrow L_{night,22-07h}$
$L_{Aeq,23-07h}$	Livello medio ponderato A nel periodo notturno relativo alla fascia oraria 23-07 (8 ore), corrisponde al $\rightarrow L_{night}$
L_{Aeq24}	Livello medio ponderato A su 24 ore relativo alla fascia oraria 00-24
L_{day}	Livello medio ponderato A sul periodo diurno relativo alla fascia oraria 07-23 (16 ore), corrisponde al $\rightarrow L_{day,07-23h}$
$L_{day,06-22h}$	Livello medio ponderato A sul periodo diurno relativo alla fascia oraria 06-22 (16 ore)
$L_{day,07-22h}$	Livello medio ponderato A sul periodo diurno relativo alla fascia oraria 07-22 (15 ore)
$L_{day,07-23h}$	Livello medio ponderato A sul periodo diurno relativo alla fascia oraria 07-23 (16 ore), corrisponde al $\rightarrow L_{day}$
L_{den}	Livello giorno-sera-notte (Day-Evening-Night-Level) con un supplemento di 0 dB per il giorno (su 12 ore), di 5 dB per la sera (su 4 ore) e di 10 dB per la notte (su 8 ore). Di default, il giorno è definito come periodo di tempo tra le ore 07 e le ore 19, la sera come periodo di tempo tra le ore 19 e le ore 23 e la notte come periodo tra le ore 23 e le ore 07. Sono tuttavia possibili deroghe.
$L_{den,07-19-22-07h}$	Livello giorno-sera-notte (Day-Evening-Night-Level) con un supplemento di 0 dB per il giorno (ore 07-19), di 5 dB per la sera (ore 19-22) e di 10 dB per la notte (ore 22-07).
L_{dn}	Livello giorno-notte (Day-Night-Level), denominato anche DNL, con un supplemento di 0 dB per il giorno (ore 07-22) e di 10 dB per la notte (ore 22-07).
L_{eq}, L_{Aeq}	Livello sonoro continuo equivalente (ponderato A [$\rightarrow$ Filtro A]), in media su un determinato intervallo di tempo, espresso in decibel (dB o dB(A)). Spiegazione: con L_{eq} tutti i rumori di diversa intensità, che si manifestano in un determinato lasso di tempo, vengono addizionati energeticamente e da ciò si ricava una media riferita a tale periodo. Il L_{eq} rappresenta quindi un descrittore acustico unitario, utilizzabile nella pratica, che esprime l'esposizione complessiva al rumore in un lasso di tempo definito.
LNA	Legge federale sulla navigazione aerea, RS 748.0

$L_{\max}$, $L_{A,\max}$	Livello massimo di pressione sonora (ponderato A) entro un determinato intervallo di tempo, espresso in decibel (dB o dB(A)).
L_{night}	Livello medio nel periodo notturno relativo alla fascia oraria 23-07 (8 ore)
$L_{\text{night},22-06\text{h}}$	Livello medio nel periodo notturno relativo alla fascia oraria 22-06 (8 ore)
$L_{\text{night},22-07\text{h}}$	Livello medio nel periodo notturno relativo alla fascia oraria 22-07 (9 ore)
$L_{\text{night},23-07\text{h}}$	Livello medio nel periodo notturno relativo alla fascia oraria 23-07 (8 ore), corrisponde al $\rightarrow L_{\text{night}}$
L_r , $L_{r,\text{Giorno}}$, $L_{r,\text{Notte}}$, $L_{r,\text{Giorno}24\text{h}}$, $L_{r,\text{Giorno}15\text{h}}$	$\rightarrow$ Livello di valutazione (rating level); per il periodo diurno o notturno
OIF	Ordinanza contro l'inquinamento fonico, RS 814.41
Meta-analisi	Metodo statistico che riassume quantitativamente i risultati di diversi $\rightarrow$ studi originali che trattano lo stesso quesito.
metabolico	Concernente il metabolismo
Meta-stimatore	$\rightarrow$ Stimatore (stimatore dell'effetto) nell'ambito di meta-analisi
Bias da errore di classificazione	Distorsione che si verifica quando l'esposizione attribuita a una persona in un campione o in una popolazione (qui: carico fonico) si discosta sistematicamente o meno dal valore reale dell'esposizione.
Morbilità	Frequenza della malattia riferita a una determinata categoria di popolazione o $\rightarrow$ Popolazione
Mortalità	Frequenza di decessi riferiti a una determinata categoria di popolazione o $\rightarrow$ Popolazione
Punteggio NoiSeQ-R	Valore del punteggio secondo il questionario sulla sensibilità al rumore NoiSeQ-R [109]; maggiore è il valore, maggiore è la sensibilità al rumore.
Studio NORAH	Importante studio tedesco sull'impatto del rumore (http://www.laermstudie.de)
Unità d'uso	Insieme di uno o più locali fra loro collegati che servono al soggiorno prolungato di persone (ad es. appartamento, open space, piano adibito ad albergo in un grattacielo, atelier, studio, ecc.). In linea di principio, un edificio può comprendere più unità d'uso.

Studio originale	Qui: singoli studi empirici a sé stanti sull'effetto di una determinata nocività ambientale (ad es. rumore) in un dato campione o (più raramente) in una →Popolazione, contrapposto ai meta-studi o alle →Meta-analisi.
Popolazione	Insieme degli elementi, che sono oggetto di analisi statistica
Prevalenza	Frequenza osservata di una malattia o di un sintomo in un determinato momento (contrapposto a →Incidenza).
PSG	Polisonnografia, metodo diagnostico per misurare le funzioni fisiologiche durante il sonno, caratterizzato soprattutto dalla registrazione dell'→EEG
VP	Valore/i di pianificazione
Regressione, analisi di regressione	Metodo di analisi statistica per la creazione di modelli relativi alle correlazioni tra una variabile dipendente (ad es. →%HA) e una o più variabili indipendenti.
Rischio relativo (RR)	Parametro statistico che esprime il fattore di differenziazione di un rischio in due gruppi (ad es. esposti contro non esposti). Un rischio relativo di 1 significa che i due gruppi non si differenziano (si veda anche →Rischio supplementare)
COTER	Consiglio per l'assetto del territorio. Si tratta di una commissione extraparlamentare con sede presso l'Ufficio federale dello sviluppo territoriale.
SAPALDIA	Swiss Cohort Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults (studio svizzero di coorte)
Stimatore (stimatore dell'effetto)	Uno stimatore è una funzione che mediante metodi statistici (per lo più →Analisi di regressione) associa ad ogni possibile campione un valore del parametro da stimare.
Periodo di sonno	Intervallo di tempo tra il momento dell'addormentamento e il momento del risveglio finale.
Sondaggio SiRENE	Sondaggio socioacustico eseguito, nell'ambito dello studio SiRENE, a livello nazionale sotto forma di modulo unico, in quattro ondate negli anni 2014 e 2015. Pubblicato in: [13, 14]
Studio SiRENE	Importante studio svizzero sull'impatto del rumore, finanziati dal →FNS e dall' →UFAM, condotto dall'Istituto tropicale e di salute pubblica svizzero, dall'Università di Basilea, dall'Empa e dall'UFAM (http://www.sirene-studie.ch). Si veda anche →Sondaggio SiRENE
SNC	Swiss National Cohort, Studio nazionale svizzero di coorte (https://www.swissnationalcohort.ch)

FNS	Fondo nazionale svizzero
somatico	Che concerne il corpo (in contrapposizione a: psichico, mentale, psicologico)
sonBASE	Banca dati dell'inquinamento fonico in Svizzera, basata su GIS e gestita dall'→UFAM (https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/rumore/stato/banca-dati-gus-sul-rumore-sonbase.html)
Incertezza standard	L'incertezza standard $u(y)$ di un risultato misurato y è la deviazione standard stimata di y .
Quadro di campionamento	Un quadro di campionamento definisce la fonte o la quantità dei casi potenzialmente inclusi in un campione (termine inglese: «sampling frame»). Spesso, ma non sempre, il quadro di campionamento corrisponde alla popolazione. Vale quindi: Popolazione $\geq$ quadro di campionamento $\geq$ campione. I casi, che non sono contemplati nel quadro di campionamento, non possono neppure essere inclusi nel campione.
LCStr	Legge sulla circolazione stradale, RS 741.01
LPAmb	Legge sulla protezione dell'ambiente, RS 814.01
Vasocostrizione	Termine medico indicante il restringimento dei vasi sanguigni. La vasocostrizione avviene principalmente mediante contrazione della muscolatura liscia nelle piccole arterie e nelle arteriole, perlopiù sotto l'influsso del sistema simpatico.
AP	Avamprogetto
OSIA	Ordinanza sull'infrastruttura aeronautica, RS 748.131.1
ONC	Ordinanza sulle norme della circolazione stradale, RS 741.11
OMS	Organizzazione mondiale della sanità
Unità abitativa	→Unità d'uso a uno o più piani, i cui locali sono collegati tra loro e che serve a scopo abitativo (ad es. appartamento, casa terrazzata, casa unifamiliare).
Rischio supplementare	Rischio (causale) di ammalarsi a causa di una determinata esposizione. Si calcola con l'equazione RR-1 (si veda anche →Rischio relativo).

A.5 Indice bibliografico

1. Zäch, C.; Wolf, R., Art. 15. In *Kommentar zum Umweltschutzgesetz*, 2. Aufl., Vereinigung für Umweltrecht und Helen Keller, Ed. Schulthess: Zürich-Basel-Genève, 2003.
2. Ecoplan AG (su mandato della CFLR) *Forschungskonzept Lärm - Handlungsbedarf zur Aktualisierung der Grundlagen für die Lärmbeurteilung*; Ecoplan: Altdorf, 2010.
3. Consiglio federale *Nationaler Massnahmenplan zur Verringerung der Lärmbelastung. Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 15.3840 Barazzzone vom 14. September 2015*; 2017.
4. Brink, M. Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm - Inputpapier 4: Lärmwirkung [su mandato della Commissione federale per la lotta contro il rumore e dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)]. https://www.eklb.admin.ch/inhalte/dokumentation/EKLB_2009_Inputpapier_Wirkung.pdf
5. Planteam GHS AG *Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm - Inputpapier 2: Technik und Betrieb* [su mandato della Commissione federale per la lotta contro il rumore e dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)]; Sempach-Station, 2009.
6. Empa *Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm - Inputpapier 3: Akustik* [su mandato della Commissione federale per la lotta contro il rumore e dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)]; Dübendorf, 2009.
7. Christoph Zäch Büro für Gesetzgebung *Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm - Inputpapier 1: Recht* [su mandato della Commissione federale per la lotta contro il rumore e dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)]; Berna, 2009.
8. Hofmann, R. *Der geschichtliche Werdegang der heutigen Lärmgrenzwerte* [Inputpapier Geschichte]; Wallisellen, 2009.
9. Ecoplan *Forschungskonzept Lärm. Konzeptstudie zur Aktualisierung der Grundlagen für die Lärmbeurteilung*. https://www.eklb.admin.ch/inhalte/dokumentation/EKLB_2010_Forschungskonzept_Laerm_Konzeptstudie.pdf
10. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2018/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>
11. European Commission, Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise In 2002.
12. Brink, M.; Schäffer, B.; Pieren, R.; Wunderli, J. M., Conversion between noise exposure indicators Leq24h, LDay, LEvening, LNight, Ldn and Lden: Principles and practical guidance. *International journal of hygiene and environmental health* **2018**, 221, (1), 54-63.

13. Brink, M.; Schäffer, B.; Vienneau, D.; Foraster, M.; Pieren, R.; Eze, I. C.; Cajochen, C.; Probst-Hensch, N.; Röösli, M.; Wunderli, J.-M., A survey on exposure-response relationships for road, rail, and aircraft noise annoyance: Differences between continuous and intermittent noise. *Environment International* **2019**, 125, 277-290.
14. Brink, M.; Schäffer, B.; Vienneau, D.; Pieren, R.; Foraster, M.; Eze, I. C.; Rudzik, F.; Thiesse, L.; Cajochen, C.; Probst-Hensch, N.; Röösli, M.; Wunderli, J. M., Self-Reported Sleep Disturbance from Road, Rail and Aircraft Noise: Exposure-Response Relationships and Effect Modifiers in the SiRENE Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2019**, 16, (21), 4186.
15. Griffel, A., Art. 74 (N18, N32). In *Bundesverfassung, Basler Kommentar*, Waldmann, B.; Belser, E. M.; Epiney, A., Eds. Schulthess: Basel, 2015.
16. Griffel, A., *Umweltrecht in a nutshell*. Dike: Zürich, 2015.
17. Wagner Pfeifer, B., *Umweltrecht Allgemeine Grundlagen*. Dike: Zürich/St. Gallen, 2017.
18. Schrade, A.; Loretan, T., Art. 13 (N1, N12). In *Kommentar zum Umweltschutzgesetz, 2. Aufl.*, Vereinigung für Umweltrecht und Helen Keller, Ed. Schulthess: Zürich-Basel-Genève, 2003.
19. Gossweiler, A. Entschädigungen für Lärm von öffentlichen Verkehrsanlagen – Elemente für eine Neuordnung durch den Gesetzgeber [Diss.]. Universität Zürich, 2014.
20. Alig, J.; Schärmeli, L., Die Beurteilung geänderter Altanlagen aus lärmschutzrechtlicher Sicht – Eine kritische Analyse der heutigen Praxis. *Umweltrecht in der Praxis* **2019**, 193segg.
21. Griffel, A.; Rausch, H., *Kommentar zum Umweltschutzgesetz. Ergänzungsband zur 2. Auflage, Vereinigung für Umweltrecht VUR (Hrsg.)*, Zürich/Basel/Genf. 2011.
22. WHO, Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, 19-22 June, 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States (Official Records of the World Health Organization, no. 2, p. 100) and entered into force on 7 April 1948. In 1946.
23. Guski, R.; Schreckenber, D.; Schuemer, R., WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2017**, 14, (12), 1539.
24. Basner, M.; McGuire, S., WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2018**, 15, (3), 519.

25. Vienneau, D.; Schindler, C.; Perez, L.; Probst-Hensch, N.; Roosli, M., The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: a meta-analysis. *Environmental research* **2015**, 138, 372-80.
26. Seidler, A.; Wagner, M.; Schubert, M.; Droge, P.; Romer, K.; Pons-Kuhne-mann, J.; Swart, E.; Zeeb, H.; Hegewald, J., Aircraft, road and railway traffic noise as risk factors for heart failure and hypertensive heart disease-A case-control study based on secondary data. *International journal of hygiene and environmental health* **2016**, 219, (8), 749-758.
27. van Kempen, E.; Casas, M.; Pershagen, G.; Foraster, M., WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary. *Int J Environ Res Public Health* **2018**, 15, (2).
28. Sorensen, M.; Andersen, Z. J.; Nordsborg, R. B.; Jensen, S. S.; Lill Lund, K. G.; Beelen, R.; Schmidt, E. B.; Tjonneland, A.; Overvad, K.; Raaschou-Nielsen, O., Road traffic noise and incident myocardial infarction: a prospective cohort study. *PLoS One* **2012**, 7, (6), e39283.
29. Huss, A.; Spoerri, A.; Egger, M.; Röösli, M., Aircraft Noise, Air Pollution, and Mortality From Myocardial Infarction. *Epidemiology* **2010**, 21, (6), 829-836.
30. Heritier, H.; Vienneau, D.; Foraster, M.; Eze, I. C.; Schaffner, E.; Thiesse, L.; Rudzik, F.; Habermacher, M.; Kopfli, M.; Pieren, R.; Brink, M.; Cajochen, C.; Wunderli, J. M.; Probst-Hensch, N.; Roosli, M.; group, S. N. C. s., Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a nationwide cohort study from Switzerland. *Eur J Epidemiol* **2017**, 32, 307-315.
31. Vienneau, D.; Saucy, A.; Schäffer, B.; Tangermann, L.; Wunderli, J. M.; Röösli, M., Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a 15-year analysis in Switzerland. In *ISEE 2020*, Washington DC, 2020.
32. Foraster, M.; Eze, I. C.; Vienneau, D.; Schaffner, E.; Jeong, A.; Heritier, H.; Rudzik, F.; Thiesse, L.; Pieren, R.; Brink, M.; Cajochen, C.; Wunderli, J. M.; Roosli, M.; Probst-Hensch, N., Long-term exposure to transportation noise and its association with adiposity markers and development of obesity. *Environ Int* **2018**, 121, (Pt 1), 879-889.
33. Eze, I. C.; Foraster, M.; Schaffner, E.; Vienneau, D.; Heritier, H.; Rudzik, F.; Thiesse, L.; Pieren, R.; Imboden, M.; von Eckardstein, A.; Schindler, C.; Brink, M.; Cajochen, C.; Wunderli, J. M.; Roosli, M.; Probst-Hensch, N., Long-term exposure to transportation noise and air pollution in relation to incident diabetes in the SAPALDIA study. *Int J Epidemiol* **2017**, 46, (4), 1115-1125.
34. Sorensen, M.; Andersen, Z. J.; Nordsborg, R. B.; Becker, T.; Tjonneland, A.; Overvad, K.; Raaschou-Nielsen, O., Long-Term Exposure to Road Traffic Noise and Incident Diabetes: A Cohort Study. *Environmental health perspectives* **2013**, 121, (2), 217-222.
35. Stansfeld, S. A.; Clark, C.; Cameron, R. M.; Alfred, T.; Head, J.; Haines, M. M.; van Kamp, I.; van Kempen, E.; Lopez-Barrio, I., Aircraft and road traffic noise exposure and children's mental health. *Journal of Environmental Psychology* **2009**, 29, (2), 203-207.

36. Seidler, A.; Hegewald, J.; Seidler, A. L.; Schubert, M.; Wagner, M.; Droge, P.; Haufe, E.; Schmitt, J.; Swart, E.; Zeeb, H., Association between aircraft, road and railway traffic noise and depression in a large case-control study based on secondary data. *Environmental research* **2017**, 152, 263-271.
37. Eze, I. C.; Foraster, M.; Schaffner, E.; Vienneau, D.; Pieren, R.; Imboden, M.; Wunderli, J.-M.; Cajochen, C.; Brink, M.; Röösli, M.; Probst-Hensch, N., Incidence of depression in relation to transportation noise exposure and noise annoyance in the SAPALDIA study. *Environment International* **2020**, 144, 106014.
38. Klatte, M.; Spilski, J.; Mayerl, J.; Möhler, U.; Lachmann, T.; Bergström, K., Effects of Aircraft Noise on Reading and Quality of Life in Primary School Children in Germany: Results From the NORAH Study. *Environment and Behavior* **2016**, 49, (4), 390–424.
39. Tiesler, C. M.; Birk, M.; Thiering, E.; Kohlbock, G.; Koletzko, S.; Bauer, C. P.; Berdel, D.; von Berg, A.; Babisch, W.; Heinrich, J., Exposure to road traffic noise and children's behavioural problems and sleep disturbance: results from the GINIplus and LISAplus studies. *Environmental research* **2013**, 123, 1-8.
40. Stansfeld, S. A.; Berglund, B.; Clark, C.; Lopez-Barrio, I.; Fischer, P.; Ohrstrom, E.; Haines, M. M.; Head, J.; Hygge, S.; van Kamp, I.; Berry, B. F., Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *Lancet* **2005**, 365, (9475), 1942-9.
41. Foraster, M.; Eze, I. C.; Schaffner, E.; Vienneau, D.; Heritier, H.; Endes, S.; Rudzik, F.; Thiesse, L.; Pieren, R.; Schindler, C.; Schmidt-Trucksass, A.; Brink, M.; Cajochen, C.; Marc Wunderli, J.; Roosli, M.; Probst-Hensch, N., Exposure to Road, Railway, and Aircraft Noise and Arterial Stiffness in the SAPALDIA Study: Annual Average Noise Levels and Temporal Noise Characteristics. *Environmental health perspectives* **2017**, 125, (9), 097004.
42. Eze, I. C.; Imboden, M.; Foraster, M.; Schaffner, E.; Kumar, A.; Vienneau, D.; Heritier, H.; Rudzik, F.; Thiesse, L.; Pieren, R.; von Eckardstein, A.; Schindler, C.; Brink, M.; Wunderli, J. M.; Cajochen, C.; Roosli, M.; Probst-Hensch, N., Exposure to Night-Time Traffic Noise, Melatonin-Regulating Gene Variants and Change in Glycemia in Adults. *Int J Environ Res Public Health* **2017**, 14, (12).
43. Haralabidis, A. S.; Dimakopoulou, K.; Vigna-Taglianti, F.; Giampaolo, M.; Borgini, A.; Dudley, M. L.; Pershagen, G.; Bluhm, G.; Houthuijs, D.; Babisch, W.; Velonakis, M.; Katsouyanni, K.; Jarup, L.; Consortium, H., Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. *European Heart Journal* **2008**, 29, (5), 658-664.
44. Schmidt, F.; Kolle, K.; Kreuder, K.; Schnorbus, B.; Wild, P.; Hechtner, M.; Binder, H.; Gori, T.; Munzel, T., Nighttime aircraft noise impairs endothelial function and increases blood pressure in patients with or at high risk for coronary artery disease. *Clin Res Cardiol* **2015**, 104, (1), 23-30.
45. Guski, R., Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* **2002**, 49, (6), 219-232.

46. Guski, R., *Lärm. Wirkungen unerwünschter Geräusche*. Hans Huber: Bern, 1987.
47. Fields, J. M.; De Jong, R. G.; Gjestland, T.; Flindell, I. H.; Job, R. F. S.; Kurra, S.; Lercher, P.; Vallet, M.; Yano, T.; Guski, R.; Felscher-Suhr, U.; Schumer, R., Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation. *Journal of Sound and Vibration* **2001**, 242, (4), 641-679.
48. Oliva, C. *Wirkung der Strassenlärmbelastung während des Tages. Bericht 2 der Lärmstudie 90.*; Büro für soziologische Grundlagenforschung und Entwicklungsplanung: Schlieren, 1993.
49. Wehrli, B.; Hauser, S.; Egli, H.; Bakke, P.; Grandjean, E., *Wohnen im Neubau*. Paul Haupt Verlag: Bern, 1978.
50. Wanner, H. U.; Wehrli, B.; Nemecek, J.; Turrian, V., Die Belästigung der Anwohner verkehrsreicher Strassen durch Lärm und Luftverunreinigungen. *Sozial- und Präventivmedizin/Social and Preventive Medicine* **1977**, 22, (3), 108-115.
51. Soziologisches Institut der Universität Zürich *Sozio-psychologische Strassenlärmuntersuchung*; 1980.
52. Istituto di sociologia dell'Università di Zurigo *Zur Begrenzung der Lärmbelastung: Sozio-psychologische Untersuchungen zur Begrenzung von Eisenbahn-, Strassen und Rangierlärm. Vergleich der Störwirkungen von Eisenbahn- und Strassenlärm unter konstanten Bedingungen. Zusammenfassender Schlussbericht*; Università di Zurigo: Zurigo, 1980.
53. Oliva, C. *Wirkung der Fluglärmbelastung während des Tages. Bericht 1 der Lärmstudie 90.*; Büro für soziologische Grundlagenforschung und Entwicklungsplanung: Schlieren, 1993.
54. Arbeitsgemeinschaft für sozio-psychologische Fluglärmuntersuchungen, *Sozio-psychologische Fluglärmuntersuchung im Gebiet der drei Schweizer Flughäfen Zürich, Genf, Basel*. Ufficio aeronautico: Berna, 1974.
55. Consensus Conference Panel; Watson, N. F.; Badr, M. S.; Belenky, G.; Bliwise, D. L.; Buxton, O. M.; Buysse, D.; Dinges, D. F.; Gangwisch, J.; Grandner, M. A.; Kushida, C.; Malhotra, R. K.; Martin, J. L.; Patel, S. R.; Quan, S. F.; Tassali, E., Joint Consensus Statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society on the Recommended Amount of Sleep for a Healthy Adult: Methodology and Discussion. *Sleep* **2015**, 38, (8), 1161-83.
56. Basner, M.; Isermann, U.; Samel, A., Die Ergebnisse der DLR-Studie und ihre Umsetzung in einer lärmmedizinischen Beurteilung für ein Nachtschutzkonzept. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* **2005**, 52, 109-123.
57. Brink, M., A review of potential mechanisms in the genesis of long-term health effects due to noise-induced sleep disturbances. In *Internoise 2012*, New York, 2012.

58. Munzel, T.; Sorensen, M.; Gori, T.; Schmidt, F. P.; Rao, X.; Brook, F. R.; Chen, L. C.; Brook, R. D.; Rajagopalan, S., Environmental stressors and cardio-metabolic disease: part II-mechanistic insights. *Eur Heart J* **2017**, 38, (8), 557-564.
59. WHO Biological mechanisms related to cardiovascular and metabolic effects by environmental noise. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2018/biological-mechanisms-related-to-cardio-vascular-and-metabolic-effects-by-environmental-noise>
60. Recio, A.; Linares, C.; Banegas, J. R.; Diaz, J., Road traffic noise effects on cardiovascular, respiratory, and metabolic health: An integrative model of biological mechanisms. *Environmental research* **2016**, 146, 359-70.
61. Global Burden of Disease Collaborative Network, Global Burden of Disease Study 2016 (GBD 2016) Disability Weights. In Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), Ed. Seattle, United States, 2017.
62. Mathers, C. D.; Bernard, C.; Moesgaard Iburg, K.; Inoue, M.; Fat, D. M.; Shibuya, K.; Stein, C.; Tomijima, N.; Xu, H. *Global Burden of Disease in 2002: data sources, methods and results*; 2003.
63. Salomon, J. A.; Haagsma, J. A.; Davis, A.; de Noordhout, C. M.; Polinder, S.; Havelaar, A. H.; Cassini, A.; Devleeschauwer, B.; Kretzschmar, M.; Speybroeck, N.; Murray, C. J.; Vos, T., Disability weights for the Global Burden of Disease 2013 study. *The Lancet. Global health* **2015**, 3, (11), e712-23.
64. Ecoplan *Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit. Berechnung von DALY für die Schweiz [Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt]*; Altdorf und Bern, 30. März 2012, 2012.
65. WHO Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2011/burden-of-disease-from-environmental-noise-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe>
66. Vienneau, D.; Eze, I.; Probst-Hensch, N.; Röösli, M., Association Between Transportation Noise and Cardiometabolic Diseases: an Update of the WHO Meta-analysis. In *ICA 2019*, Aachen, 2019.
67. Jung, T.; Jahraus, H.; Burkart, W., Akzeptables Risiko als Basis für gesetzliche Regelungen im Umweltschutz. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* **2000**, 5, 328-335.
68. Empa *Vorlesungs-Skript Lärmbekämpfung (Fassung 2011)*; Dübendorf, 2011.
69. Hofmann, R., Die Grenzwerte für Fluglärm - kritisch betrachtet. *Umweltrecht in der Praxis [URP]* **2000**, 853-859.
70. Rohrmann, B., Psychologische Kriterien zur "Erheblichkeit" von Belästigungen. In *Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls. Ergebnisse des 3. Oldenburger Symposions zur Psychologischen Akustik*, Schick, A.; Walcher, K. P., Eds. Lang: Berna, 1984; pagg. 139-149.

71. Wirth, K., *Lärmstudie 2000. Die Belästigungssituation im Umfeld des Flughafens Zürich*. Shaker Verlag: Aachen, 2004.
72. Vienneau, D.; Heritier, H.; Foraster, M.; Eze, I. C.; Schaffner, E.; Thiesse, L.; Rudzik, F.; Habermacher, M.; Kopfli, M.; Pieren, R.; Brink, M.; Cajochen, C.; Wunderli, J. M.; Probst-Hensch, N.; Roosli, M.; group, S. N. C. s., Facades, floors and maps - Influence of exposure measurement error on the association between transportation noise and myocardial infarction. *Environ Int* **2019**, 123, 399-406.
73. INTERFACE Politikstudien *Wirkungsanalyse Lärmbekämpfung - Übersicht über die Entwicklung der Lärmbelastung und Vertiefung in den Bereichen Lärm von bestehenden Strassen und Alltagslärm [Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)]*; Lucerna, 2015.
74. Breugelmans, O.; Houthuijs, D.; Poll, R. v.; Hajema, K.; Hogenhuis, R., Predicting aircraft noise annoyance: exploring noise metrics other than Lden. In *12th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem*, Zurigo, 2017.
75. Brink, M., A review of explained variance in exposure-annoyance relationships in noise annoyance surveys. In *ICBEN 2014*, Nara, Giappone, 2014.
76. WHO Night noise guidelines for Europe. <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2009/night-noise-guidelines-for-europe>
77. Guski, R., Zum Anspruch auf Ruhe beim Wohnen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* **1991**, 38, 61 -65.
78. Miedema, H.; Vos, H.; de Jong, R. G., Community reaction to aircraft noise: time-of-day penalty and tradeoff between levels of overflights. *Journal of the Acoustical Society of America* **2000**, 107, (6), 3245-53.
79. Jansen, G.; Linnemeier, A.; Nitsche, M., Methodenkritische Überlegungen und Empfehlungen zur Bewertung von Nachtfluglärm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* **1995**, 42, 91-106.
80. Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärmimmissionsgrenzwerten 6. Teilbericht, *Belastungsgrenzwerte für den Lärm der Landesflughäfen*; 1997.
81. UFAM Arbeitsgruppe *Belastungsgrenzwerte Fluglärm und raumplanerische Flexibilität - Standbericht / 1.11.2011 (Referenz/Aktenzeichen: K412-0888)*; 1 Nov 2011, 2011.
82. Brink, M.; Bögli, H.; Guski, R.; Maschke, C.; Tinguely, G. *Überprüfung BGW Fluglärm: Bericht der Arbeitsgruppe zu den wissenschaftlichen Grundlagen [rapporto interno dell'Ufficio federale dell'ambiente]*; Ufficio federale dell'ambiente, divisione Rumore e RNI, Berna: 2011.
83. Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärmimmissionsgrenzwerten 4. Teilbericht, *Belastungsgrenzwerte für Eisenbahnlärm*. www.eklb.admin.ch/de/dokumentation/berichte

84. IPSO *Störwirkungen durch den Lärm der Kleinaviatik* - Herausgeber: Bundesamt für Umweltschutz und Bundesamt für Zivilluftfahrt, Bern; 1980.
85. Brink, M.; Schäffer, B.; Vienneau, D.; Foraster, M.; Pieren, R.; Eze, I. C.; Cajochen, C.; Probst-Hensch, N.; Rössli, M.; Wunderli, J.-M., A survey on exposure-response relationships for road, rail, and aircraft noise annoyance: Differences between continuous and intermittent noise. *Environment International* **submitted**.
86. Öhrström, E.; Ögren, M.; Jerson, T.; Gidlof-Gunnarsson, A. In *Experimental studies on sleep disturbances due to railway and road traffic noise*, 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Foxwoods, CT, 2008; Foxwoods, CT, 2008.
87. Brink, M.; Lercher, P.; Eisenmann, A.; Schierz, C., Influence of slope of rise and event order of aircraft noise events on high resolution actimetry parameters. *Somnologie* **2008**, 12, 118-128.
88. Marks, A.; Griefahn, B.; Basner, M., Event-related awakenings caused by nocturnal transportation noise. *Noise Control Engineering Journal* **2008**, 56, (1), 52-62.
89. Spreng, M., Kritische Betrachtung des Schienenbonus anhand hörphysiologischer/medizinischer Fakten. In *Tagungsband Fachseminar Schienenlärm. Ist der Schienenbonus noch zeitgemäss? 17.10.1997*, Institut für ökologische Strategien: 1998.
90. Guski, R.; Schmid, R.; Schäffer, B.; Wunderli, J. M.; Haubrich, J.; Benz, S.; Schreckenber, D. *Leq + X - Lärmexposition, Ereignishäufigkeiten und Belästigung: Re-Analyse von Daten zur Belästigung und Schlafstörung durch Fluglärm an deutschen und Schweizer Flughäfen (Hauptbericht)*; Ruhr-Universität Bochum: Bochum, 2020.
91. Hofmann, R., Lärm und Lärmbekämpfung in der Schweiz [Vorlesungsskript] (5. Auflage). In Wallisellen, 2003.
92. Brink, M.; Wirth, K.; Schierz, C.; Thomann, G.; Bauer, G., Annoyance responses to stable and changing aircraft noise exposure. *Journal of the Acoustical Society of America* **2008**, 124, (5), 2930-2941.
93. Babisch, W.; Houthuijs, D.; Pershagen, G.; Cadum, E.; Katsouyanni, K.; Vellonakis, M.; Dudley, M.-L.; Marohn, H.-D.; Swart, W.; Breugelmans, O.; Bluhm, G.; Selander, J.; Vigna-Taglianti, F.; Pisani, S.; Haralabidis, A.; Dimakopoulou, K.; Zachos, I.; Järup, L., Annoyance due to aircraft noise has increased over the years-Results of the HYENA study. *Environment International* **2009**, 35, (8), 1169-1176.
94. Janssen, S. A.; Vos, H.; van Kempen, E. E. M. M.; Breugelmans, O. R. P.; Miedema, H. M. E., Trends in aircraft noise annoyance: The role of study and sample characteristics. *Journal of the Acoustical Society of America* **2011**, 129, (4), 1953-1962.
95. Guski, R. In *The Aircraft Noise Paradox 13 Years Later*, ICBEN 2017, Nara, Japan, 2014; Nara, Giappone, 2014.

96. EPA Network Interest Group on Noise Abatement (IGNA) *Overview of critical noise values in the European Region (by Peeters, B & Nusselder, R; M+P raadgevende ingenieurs BV)*; 2019.
97. Mathers, C.; Vos, T.; Stevenson, C. *The burden of disease and injury in Australia (AIHW Cat. no. PHE 17)*; Australian Institute of Health and Welfare: Canberra, 1999.
98. Müller-Wenk, R.; Hofstetter, P. *Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden. Umwelt-Materialien Nr. 166. Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio, Berna*; 2003.
99. WHO Global Burden of Disease (GBD) project.
https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/about/en/
100. Haagsma, J.; Maertens de Noordhout, C.; Polinder, S.; Vos, T.; Havelaar, A.; Cassini, A.; Devleeschauwer, B.; Kretzschmar, M.; Speybroeck, N.; Salomon, J., Assessing disability weights based on the responses of 30,660 people from four European countries. *Population Health Metrics* **2015**, 13.
101. G. B. D. Injury Incidence Prevalence Collaborators, Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet* **2017**, 390, (10100), 1211-1259.
102. van Kamp, I.; Schreckenber, D.; van Kempen, E.; Basner, M.; Brown, A.; Clark, C.; Houthuijs, D.; Breugelmans, O.; van Beek, A.; Janssen-Stelder, B. Study on methodology to perform environmental noise and health assessment.
103. Tinguely, G.; Cajochen, C., Sleep times, sleep quality and subjectively perceived disturbing noise sources in a representative sample of the Swiss Population. In *10th International Congress on Noise as a Public Health Problem (IC-BEN)*, London, UK, 2011.
104. FORS MOSAiCH-ISSP. <https://forscenter.ch/projekte/mosaich/?lang=de>
105. Brink, M.; Wirth, K.; Rometsch, R.; Schierz, C. Lärmstudie 2000 Zusammenfassung. <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=bericht&nr=444> (1 January 2008),
106. SiRENE study group SiRENE website. <http://www.sirene-studie.ch>
107. Brink, M.; Schierz, C. *Review und erweiterter Berechnungsvorschlag zum Zürcher Fluglärm-Index ZFI (Version 2.05)*; ETH Zürich, Zentrum für Organisations- und Arbeitswissenschaften: 2007; pag. 71.
108. Schuette, M.; Marks, A.; Wenning, E.; Griefahn, B., The development of the noise sensitivity questionnaire. *Noise and Health* **2007**, 9, (34), 15-24.
109. Griefahn, B.; Marks, A.; Gjestland, T.; Preis, A. In *Annoyance and noise sensitivity in urban areas*, ICA 2007, Madrid, 2007; Madrid, 2007.
110. Wunderli, J. M.; Pieren, R.; Habermacher, M.; Vienneau, D.; Cajochen, C.; Probst-Hensch, N.; Roosli, M.; Brink, M., Intermittency ratio: A metric reflecting

- short-term temporal variations of transportation noise exposure. *J Expo Sci Environ Epidemiol* **2015**, 1-11.
111. McKelvey, R. D.; Zavoina, W., Statistical-Model for Analysis of Ordinal Level Dependent Variables. *Journal of Mathematical Sociology* **1975**, 4, (1), 103-120.
112. Nagelkerke, N. J. D., A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika* 78 **1991**, 78, 691-692.