



CONTRATTO

**iMonitraf!**



TITOLO 160818 B 01\_03

**Linee guida riguardanti la misura di immissioni foniche lungo gli assi di transito alpini**



COMMITTENTE

Dipartimento del territorio  
Sezione della protezione dell'aria dell'acqua e del suolo  
Via Carlo Salvioni 2a  
CH-6500 Bellinzona



LUOGO E DATA

Rivera, 10 aprile 2012



ESTENSORE

.....  
Dr. Angelo Bernasconi

.....  
Dr. Dario Bozzolo

**Indice**

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	<b>4</b>
1.1. STRUTTURA DEL RAPPORTO .....	4
1.2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO NEL QUADRO DEL PROGETTO MONITRAF .....	4
1.3. QUADRO LEGISLATIVO SVIZZERO .....	7
1.4. QUADRO LEGISLATIVO ITALIANO .....	9
1.5. QUADRO LEGISLATIVO EUROPEO .....	13
<b>2. BASI</b> .....	<b>14</b>
2.1. PROGETTI, NORME E DIRETTIVE CH ED EU.....	14
2.2. REFERENZE .....	14
<b>3. ABBREVIAZIONI E DEFINIZIONI</b> .....	<b>15</b>
<b>4. LINEE GUIDA</b> .....	<b>16</b>
4.1. LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DEL RUMORE STRADALE.....	16
4.2. LINEE PER IL MONITORAGGIO DEL RUMORE FERROVIARIO .....	19
<b>5. SVILUPPO DELLE LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DEL RUMORE STRADALE</b> .....	<b>22</b>
5.1. SCOPO DELLE LINEE GUIDA .....	22
5.2. LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI MONITORAGGIO .....	23
5.2.1. SCELTA DEL LUOGO DI MISURA LUNGO LA STRADA.....	23
5.2.2. UBICAZIONE DEL MICROFONO A LATO DELLA STRADA .....	24
5.3. DURATA E FREQUENZA DELLE MISURE.....	24
5.4. DATI DA ACQUISIRE.....	26
5.4.1. DATI RELATIVI AL PUNTO DI MISURA .....	26
5.4.2. DATI RELATIVI ALLA MISURA .....	27
5.4.3. DATI DI TRAFFICO VEICOLARE .....	27
5.5. CALCOLO DEI DESCRITTORI ACUSTICI.....	29
5.6. CARATTERIZZAZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE .....	29
5.7. SPECIFICHE MINIME PER LA STRUMENTAZIONE DI MISURA .....	31
5.8. PROCEDURE DI CALIBRAZIONE.....	32
5.9. VALIDAZIONE DEI DATI ACQUISITI PER I LIVELLI SONORI .....	32

5.9.1.	ALTERAZIONI DOVUTE AD EVENTI ATMOSFERICI SIGNIFICATIVI .....	32
5.9.2.	ALTERAZIONI SIGNIFICATIVE DOVUTE AD INTERRUZIONI DEL TRAFFICO .....	33
5.9.3.	ALTERAZIONI SIGNIFICATIVE NEL PROFILO ORARIO DEI $L_{Aeq}$ .....	33
5.10.	GESTIONE DEI DATI .....	34
5.11.	SCHEMA RIASSUNTIVO MODALITÀ DI MISURA .....	36
<b>6.</b>	<b>COMMENTO ALLE LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DEL RUMORE FERROVIARIO.....</b>	<b>37</b>
6.1.	SCOPO DELLE LINEE GUIDA .....	37
6.2.	LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI MONITORAGGIO .....	39
6.2.1.	SCelta DEL LUOGO DI MISURA LUNGO LA FERROVIA .....	39
6.2.2.	UBICAZIONE DEL MICROFONO A LATO DELLA FERROVIA .....	39
6.3.	DURATA E FREQUENZA DELLE MISURE.....	40
6.4.	DATI DA ACQUISIRE .....	40
6.5.	CALCOLO DEI DESCRITTORI ACUSTICI.....	41
6.6.	CARATTERIZZAZIONE DELLE ROTAIE.....	41
6.7.	SPECIFICHE MINIME PER LA STRUMENTAZIONE DI MISURA .....	42
6.8.	PROCEDURE DI CALIBRAZIONE.....	42
6.9.	VALIDAZIONE DEI DATI ACQUISITI PER I LIVELLI SONORI .....	43
6.10.	GESTIONE DEI DATI .....	43
6.11.	SCHEMA RIASSUNTIVO MODALITÀ DI MISURA .....	45
<b>7.</b>	<b>APPLICAZIONE .....</b>	<b>46</b>
7.1.	STRUMENTI DI SUPPORTO .....	46
7.2.	ESEMPI DI APPLICAZIONE .....	49

## 1. Introduzione

### 1.1. Struttura del rapporto

Il rapporto è strutturato nel seguente modo:

**Capitolo 1** - Introduzione e quadro normativo vigente.

**Capitolo 2** - Progetti, norme e direttive, riferimenti bibliografici a partire dalle quali le linee guida sono state redatte.

**Capitolo 3** - Definizioni utilizzate nel rapporto.

**Capitolo 4** - Traccia delle linee guida per il monitoraggio del rumore stradale (LGS) e del rumore ferroviario (LGF).

**Capitolo 5** - Esposizione delle linee guida per il monitoraggio del rumore stradale (LGS).

**Capitolo 6** - Esposizione delle linee guida per il monitoraggio del rumore ferroviario (LGF).

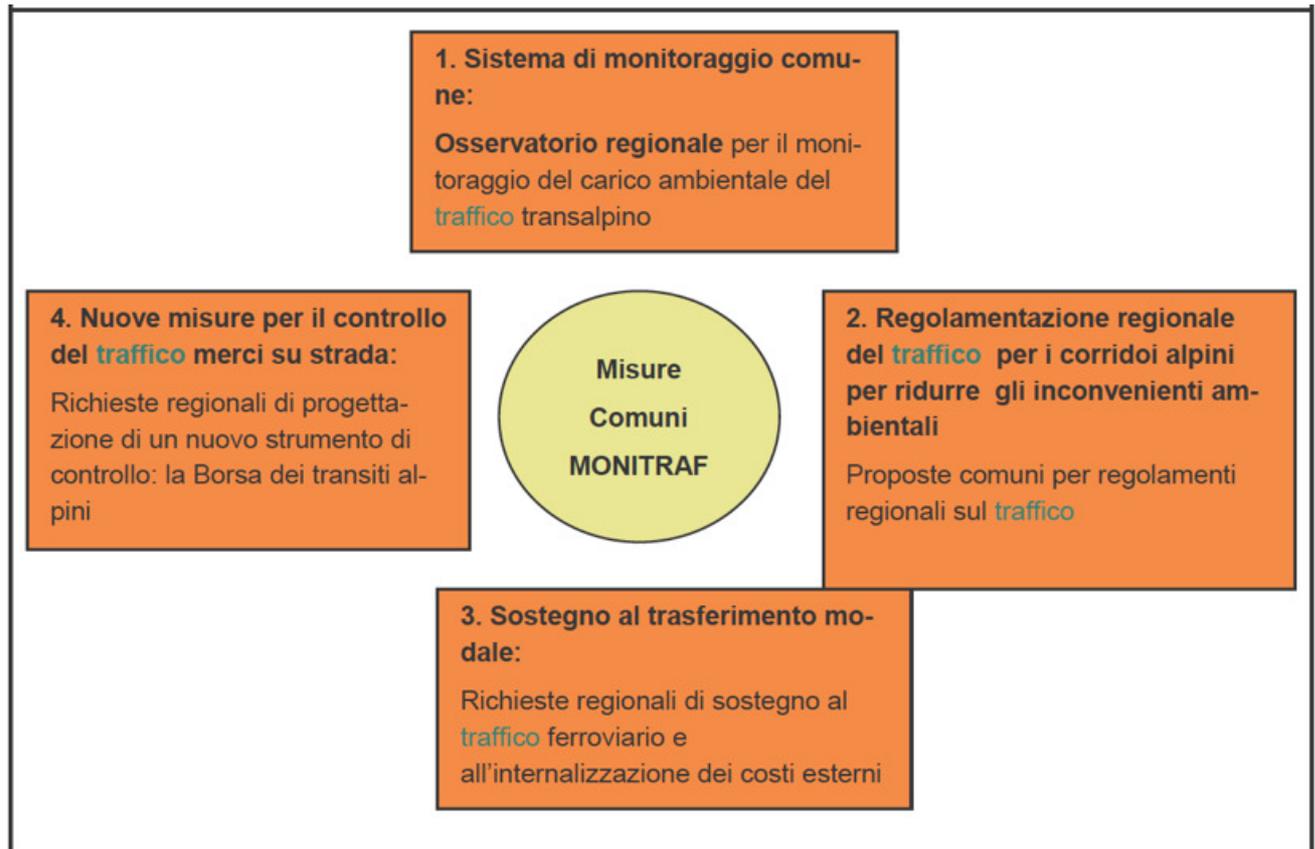
**Capitolo 7** - Strumenti di supporto ed esempi di applicazione delle linee guida.

### 1.2. Descrizione del progetto nel quadro del progetto MONITRAF

Nel quadro del progetto interregionale iMONITRAF! – che succede al progetto MONITRAF, attivo dal 2005 al 2008 – il Canton Ticino ha l'incarico di presentare le linee guida per la misura e il protocollo delle immissioni del rumore stradale e ferroviario lungo i corridoi di transito alpini.

I risultati del progetto MONITRAF sono quindi il punto di partenza del presente studio. In particolare i partner MONITRAF hanno individuato 4 assi (v. figura 1) per ridurre il traffico merci transalpino e i suoi impatti:

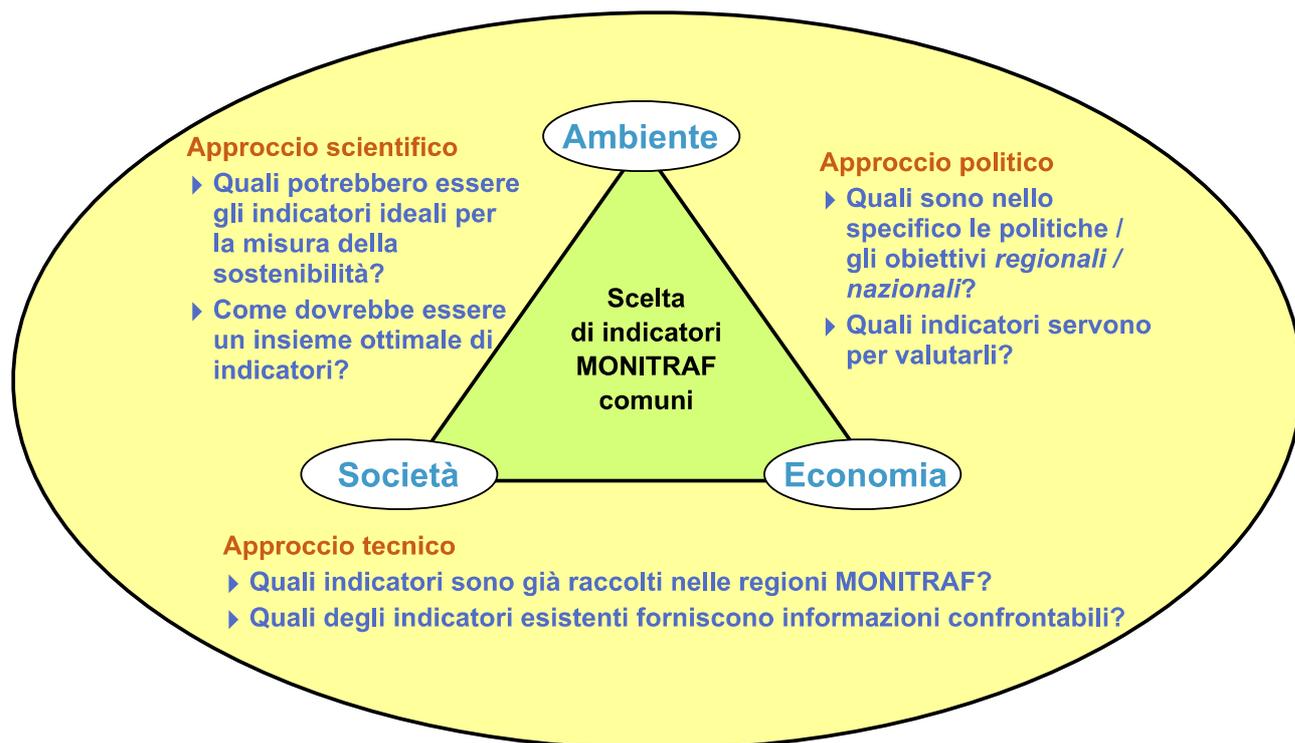
1. la messa a punto di un sistema di monitoraggio comune, propedeutico agli altri 3 assi perché fornisce le basi necessarie di dati e che potrebbe diventare una sorta di osservatorio regionale;
2. l'adozione di misure regionali tese a ridurre i picchi regionali / locali tramite l'introduzione di divieti (ad es. notturni) o alla riduzione delle velocità massime consentite;
3. l'introduzione di una base politica comune per il trasferimento modale da effettuare attraverso l'internalizzazione dei costi esterni del traffico stradale e con aiuti mirati alla ferrovia per migliorarne il servizio;
4. la creazione di nuove misure come la borsa dei transiti alpini (elemento complementare all'asse 3).



**Figura 1: Rappresentazione schematica dei 4 assi individuati dal progetto MONITRAF.**

Per valutare il livello di sostenibilità dell'attuale sistema di trasporto e considerare i futuri sviluppi, MONITRAF si è posto l'importante obiettivo di definire indicatori comuni per raccogliere prove e circostanziare le 3 dimensioni di un sistema di trasporto sostenibile. Nei paesi alpini si raccolgono indicazioni su una grande quantità di indicatori, ma al momento non esiste alcun approccio per misurare la sostenibilità dei sistemi di trasporto che goda di un'accettazione unanime. Come primo passo il progetto MONITRAF ha selezionato un gruppo di indicatori atti a misurare lo sviluppo sostenibile del traffico. A tale scopo sono stati definiti i criteri che gli indicatori dovrebbero rispettare:

1. coprire **non solo gli aspetti ambientali del traffico** ma anche quelli sociali ed economici;
2. essere precisi e **scientificamente validi**;
3. essere **politicamente accettabili ed efficaci** rispetto agli obiettivi politici definiti;
4. essere **tecnicamente fattibili** (tenuto conto anche dei costi);
5. permettere **una raccolta ed un utilizzo dei dati armonizzati** in tutte le regioni MONITRAF al fine di ottenere informazioni confrontabili.



**Figura 2: L'approccio MONITRAF alla scelta di indicatori comuni (Fonte MONITRAF 2007).**

Nel definire l'insieme di indicatori è risultato chiaro che tutte le dimensioni della sostenibilità (v. figura 2) dovevano essere coperte; in particolare non ci si doveva limitare all'andamento del traffico e dei suoi impatti, ma estendere il monitoraggio anche agli aspetti socio-economici. D'altra parte è pure apparso chiaro che un approccio **scientifico**, improntato alla definizione di un set di indicatori ideali per la misura della sostenibilità, sarebbe stato destinato al fallimento. Infatti, un simile approccio si sarebbe scontrato con l'esigenza di *attingere informazioni dalle fonti esistenti* (approccio **tecnico**). Un terzo approccio mediatore tra esigenze tecniche e scientifiche è risultato essere quello **politico**, che impone un maggior sforzo per quegli indicatori atti a monitorare le diverse politiche adottate a livello regionale e nazionale.

Il progetto Monitraf prevedeva un set di 25 indicatori per le 3 dimensioni ambiente, società e economia. All'inizio del progetto iMonitraf! è stata effettuata una revisione degli indicatori inizialmente previsti al fine di una semplificazione e di un più agevole reperimento dei dati. Gli indicatori del nuovo set iMonitraf! (v. tabella 1) pongono maggior attenzione all'impatto sull'ambiente e alla valutazione della popolazione residente lungo i corridoi transfrontalieri.

Nr.	Indicatore	Categoria principale	Dati e definizione
1	Volumi di traffico	Traffico	Media annua di traffico medio giornaliero (di veicoli leggeri e pesante)
2	Composizione del parco veicoli	Traffico	Percentuale di mezzi pesanti riferita alle classi EURO
3	Flussi di traffico su rotaia	Traffico	Trasporto attraverso le Alpi su rotaia: numero di treni, tonnellaggio di merci e passeggeri trasportati annualmente
4	Emissioni atmosferiche del traffico	Ambiente	Emissioni annue di inquinanti atmosferici lungo gli assi di traffico attraverso le Alpi
5	Concentrazione di inquinanti atmosferici	Ambiente	Concentrazioni di NO <sub>2</sub> , PM10 e PM2.5 rilevate nelle centralini di analisi presenti nell'area di studio
6	Descrizione del rumore	Ambiente	L <sub>den</sub> (descrittore acustico per il rumore complessivo) e L <sub>night</sub> (descrittore acustico per il rumore notturno) secondo l'annesso 1 della norma EU 2022/49/EC
7	Prezzi pedaggio	Prezzi e regolamentazione	Prezzi trasporto dovuto ai pedaggi (autostrade e valichi alpini) per km per veicoli pesanti (40 t, 5 assi) e veicoli leggeri
8	Prezzi carburante	Prezzi e regolamentazione	Medie annue dei prezzi dei carburanti (ciò che paga l'utente finale) a livello regionale (NUTS 2) e per nazione distinguendo tra benzina e diesel
9	PIL per abitante	Economia	Valore della prestazione economica derivante da attività produttive in un periodo di riferimento
10	Popolazione	Società	Abitanti (in un "buffer") lungo i corridoi
11	Posti di lavoro nei trasporti	Economia	Numero di persone occupate nel settore dei trasporti
12	Impatto sulla salute	Qualità di vita	Studi di controllo sull'impatto sulla salute del traffico transalpino

**Tabella 1 Set di indicatori comuni iMONITRAF!. In azzurro sono evidenziati gli indicatori relativi al rumore.**

### 1.3. Quadro legislativo Svizzero

In Svizzera la base legale in tema di rumore ambientale è data dall'Ordinanza contro l'Inquinamento Fonico (OIF) del 15 dicembre del 1986, in applicazione della Legge federale sulla protezione dell'ambiente del 7 ottobre 1983. Scopo dell'OIF è proteggere l'ambiente dai "rumori dannosi o molesti" con riferimento alle emissioni foniche prodotte da strade, ferrovie, aeroporti, poligoni di tiro, impianti in senso lato (industriali, artigianali, a servizio dell'edificio ecc.).

Il descrittore utilizzato per valutare il carico fonico è il cosiddetto **Livello sonoro di valutazione L<sub>r</sub>**; esso è dato dalla somma del livello energetico medio, ponderato A e opportunamente corretto per tener conto delle specificità del rumore (tipo, durata, impulsività, tonalità) in relazione alla sorgente che lo produce. L<sub>r</sub> deve poi essere confrontato con i valori limite d'esposizione al rumore.

Per la valutazione del rumore prodotto dai veicoli a motore e dai treni si applica al L<sub>eq</sub> un coefficiente correttivo (K1 e rispettivamente K2), che per i veicoli a motore dipende dal traffico ed è uguale a 0 nel caso in cui il traffico orario supera 100 unità, mentre per i treni il coefficiente di correzione è uguale a -5.

Gli obiettivi di protezione fonica sono infatti definiti mediante tre diversi tipi di **Valore limite d'esposizione al rumore (VLE)** (tabella 2) stabiliti in funzione del tipo di rumore, del periodo della giornata a cui si fa riferimento, dell'utilizzazione dell'edificio e della zona da proteggere:

- i **Valori di pianificazione (VP)** sono i valori più restrittivi; si applicano per nuovi impianti o per la delimitazione e la pianificazione di nuove zone edificabili. Essi sono stabiliti in base al principio della prevenzione;
- i **Valori limite d'immissione (VLI)** rappresentano la soglia a partire dalla quale una fascia considerevole della popolazione (15-25%) si sente disturbata e si applicano agli impianti esistenti (precedenti cioè all'entrata in vigore dell'OIF);
- i **Valori d'allarme (VA)** rappresentano i valori oltre i quali non è più possibile tollerare le immissioni acustiche. Servono a determinare l'urgenza del risanamento acustico.

Grado di sensibilità GdS	Valori di pianificazione VP L <sub>r</sub> in dB(A)		Valori limite di immissione VLI L <sub>r</sub> in dB(A)		Valori d'allarme VA L <sub>r</sub> in dB(A)	
	Giorno	Notte	Giorno	Notte	Giorno	Notte
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

**Tabella 2 Valori limite d'esposizione (VLE) al rumore definiti dall'Ordinanza svizzera contro l'Inquinamento Fonico (OIF)**

I periodi diurno e notturno, durante i quali viene valutato l'impatto fonico, dipendono dalla tipologia del rumore considerato; per esempio:

Rumore da traffico stradale / ferroviario		Rumore dell'industria, delle arti e dei mestieri	
Giorno	Notte	Giorno	Notte
6:00-22:00	22:00-6:00	7:00-19:00	19:00-7:00

**Tabella 3 Suddivisione del periodo giornaliero di valutazione a seconda della differente fonte di rumore, secondo l'Ordinanza svizzera contro l'Inquinamento Fonico (OIF)**

Di **giorno** sono tollerate maggiori quantità di rumore rispetto alla **notte**. Esse sono inoltre differenziate in base all'azzoneamento acustico del luogo d'immissione. Pertanto sono stati definiti:

- il **livello sonoro di valutazione L<sub>r</sub>**, la cui determinazione dipende dal valore  $L_{Aeq}$  misurato o calcolato e da fattori di correzione specifici alla fonte considerata, che ne quantificano di fatto la molestia.
- i **Gradi di Sensibilità al rumore (GdS)** per ogni zona d'utilizzazione (azzoneamento acustico). Essi sono riportati nei Piani regolatori e indicano la vulnerabilità delle zone al rumore sulla base delle funzioni esplicate (residenziali, artigianali, ...). Per ogni Grado di sensibilità vale un diverso

VLE. Più sensibili al rumore sono i contenuti della zona, più bassi saranno i valori da rispettare. L'OIF prevede quattro gradi di sensibilità:

- ... il GdS I, tipico delle zone naturali di svago e ricreative, i cui valori limite sono i più restrittivi;
- ... il GdS II, attribuito alle zone residenziali;
- ... il GdS III normalmente caratteristico delle zone artigianali, agricole o miste;
- ... il GdS IV tipico delle zone industriali con insediamenti molto rumorosi, i cui valori limite sono i meno restrittivi.

#### 1.4. Quadro legislativo Italiano

Il DPCM 01/03/1991 e successivamente la Legge Quadro sull'inquinamento acustico (L. 447/1995) e i decreti ad essa relativi ( DPCM del 14/11/1997, DPCM 16/03/1998 etc.) utilizzano il livello equivalente ponderato A come parametro per verificare la conformità del rumore ai valori limite di legge. Rispetto alla normativa svizzera non è definito un livello di valutazione, ma si parla di livello massimo di rumore prodotto da sorgenti sonore fisse e mobili che deve essere confrontato con i seguenti descrittori:

- i valori limite di emissione (misurati in prossimità della sorgente in spazi utilizzati da persone o comunità);
- i valori limite di immissione (misurati presso i ricettori) che si suddividono in: assoluti (si riferiscono al rumore immesso nell'ambiente esterno dall'insieme di tutte le sorgenti sonore) e differenziali (si riferiscono al rumore immesso in ambiente abitativo e si basano sul criterio differenziale secondo il quale la differenza tra rumore ambientale e rumore residuo non deve superare i 5 dB(A) di giorno ed i 3 dB(A) di notte). Il DPCM 14/11/1997 specifica i rispettivi casi di inapplicabilità di tale criterio.
- i valori di qualità (valori da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili);
- i valori di attenzione (valori che segnalano la presenza di un potenziale rischio per la salute umana e per l'ambiente e il cui superamento determina la predisposizione del piano di risanamento).

Anche in Italia i valori limite di rumore sono fissati in base alla classificazione acustica che si basa sull'inserimento delle aree del territorio comunale nelle classi della tabella 4.

Classi di destinazione d'uso del territorio		Tempo di riferimento					
		Diurno 06 -22			Notturno 22 - 06		
		Em	Im	Qu	Em	Im	Qu
I	Aree particolarmente protette	45	50	47	35	40	37
II	Aree prevalentemente residenziali	50	55	52	40	45	42
III	Aree di tipo misto	55	60	57	45	50	47
IV	Aree di intensa attività umana	60	65	62	50	55	52
V	Aree prevalentemente industriali	65	70	67	55	60	57
VI	Aree esclusivamente industriali	65	70	70	65	70	70

**Tabella 4 Valori di rumore definiti dal DPCM 14/11/1997 sulla determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore (Em = valori limite di emissione, Im = valori limite assoluti di immissione, Qu = valori di qualità).**

I criteri per stabilire i valori di attenzione sono illustrati nella tabella 5.

Per tutte le classi di destinazione d'uso del territorio	Tempo di riferimento	
	Diurno (06-22)	Notturmo (22-06)
se riferiti ad un'ora	I valori limite assoluti di immissione aumentati di 10 dB(A)	I valori limite assoluti di immissione aumentati di 5 dB(A)
se relativo all'intero tempo di riferimento	I valori limite assoluti di immissione	I valori limite assoluti di immissione
<b>Nota:</b> I valori di attenzione non si applicano alle fasce territoriali di pertinenza delle infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime e aeroportuali.		

**Tabella 5 Valori di attenzione di cui all'Art. 6 del DPCM 14/11/1997.**

Inoltre, è importante specificare che i valori limite assoluti di immissione e di emissione relativi alle singole infrastrutture dei trasporti, all'interno delle rispettive fasce di pertinenza, nonché la relativa estensione, sono fissati dai rispettivi decreti attuativi. Per i ricettori all'interno delle fasce di pertinenza delle infrastrutture di trasporto, sussiste un duplice vincolo:

- per il rumore complessivo prodotto da tutte le sorgenti diverse dalle infrastrutture di trasporto, valgono i valori limite assoluti d'immissione derivanti dalla classificazione acustica;
- per il rumore prodotto dalla specifica infrastruttura di trasporto (strada, ferrovia, proiezione al suolo delle rotte di sorvolo degli aeromobili) valgono i valori limite assoluti di immissione stabiliti dal corrispondente decreto di attuazione ed in particolare:
  - per il rumore stradale dal **DPR n. 142 del 30/03/04** (v. tabella 6) che fissa delle fasce di pertinenza differenti e dei valori limite più restrittivi per le strade di nuova realizzazione;
  - per le ferrovie dal **DPR n. 459 del 18/11/98** (v. tabella 7 e 8);
  - per il rumore aeroportuale dal **DMA 31/10/97**.

TIPO DI STRADA (secondo codice della strada)	SOTTOTIPI A FINI ACUSTICI (secondo norme CNR 1980 e direttive PUT)	Tutti i ricettori						Scuole (solo limite diurno), ospedali, case di cura e case di riposo			
		Ampiezza fascia di pertinenza acustica (m dal bordo strada)	Valori Limite		Ampiezza fascia di pertinenza acustica (m dal bordo strada)	Valori Limite		Ampiezza fascia di pertinenza acustica (m dal bordo strada)	Valori Limite		
			Diurno dB(A)	Notturno dB(A)		Diurno dB(A)	Notturno dB(A)		Diurno dB(A)	Notturno dB(A)	
<b>A</b> autostrada		0-100 (fascia A)	70	60	100-250 (fascia B)	65	55	0-250 fascia A+B)	50	40	
<b>B</b> extraurbana principale		0-100 (fascia A)	70	60	100-250 (fascia B)	65	55	0-250 fascia A+B)			
<b>C</b> extraurbana secondaria	<b>C<sub>a</sub></b>	0-100 (fascia A)	70	60	100-250 (fascia B)	65	55	0-250 fascia A+B)			
	<b>C<sub>b</sub></b>	0-100 (fascia A)	70	60	100-150 (fascia B)	65	55	0-150 fascia A+B)			
<b>D</b> urbana di scorrimento	<b>D<sub>a</sub></b>	0-100	70	60				0-100			
	<b>D<sub>b</sub></b>	0-100	65	55				0-100			
<b>E</b> urbana di quartiere		0-30	Definiti dai comuni in modo conforme alla zonizzazione acustica					0-30	Definiti dai Comuni in modo conforme alla zonizzazione acustica		
<b>F</b> locale		0-30						0-30			

**Tabella 6 Fasce di pertinenza e valori limite previsti dal DPR 142/04 per le strade esistenti e assimilabili (ampliamenti in sede, affiancamenti e varianti).**

	<b>Fascia A</b> 0 - 100 m da mezzzeria binari esterni, per ciascun lato			<b>Fascia B</b> 100 - 250 m da mezzzeria binari esterni, per ciascun lato		
	Ospedali, case di cura e case di riposo	Scuole	Tutti gli altri ricettori	Ospedali, case di cura e case di riposo	Scuole	Tutti gli altri ricettori
Valori limite diurni (06h-22h)	50 dB(A)	50 dB(A)	70 dB(A)	50 dB(A)	50 dB(A)	65 dB(A)
Valori limite notturni (22h-06h)	40 dB(A)	-	60 dB(A)	40 dB(A)	-	55 dB(A)

**Tabella 7 Fasce di pertinenza e valori limite previsti dal DPR 459/98 per le ferrovie esistenti e di nuova realizzazione con velocità di progetto non superiore a 200 km/h**

	<b>Fascia di pertinenza</b> 0 - 250 m da mezzzeria binari esterni, per ciascun lato		
	Ospedali,case di cura e case di riposo	Scuole	Tutti gli altri ricettori
Valori limite diurni (06h-22h)	50 dB(A)	50 dB(A)	65 dB(A)
Valori limite notturni (22h-06h)	40 dB(A)	-	55 dB(A)

**Tabella 8 Fasce di pertinenza e valori limite previsti dal DPR 459/98 per le ferrovie di nuova realizzazione con velocità di progetto superiore a 200 km/h**

## 1.5. Quadro legislativo Europeo

A livello Europeo, lo scenario si presenta leggermente differente. Nel 1996, a seguito della pubblicazione del Libro Verde della Commissione Europea sulla politica, inerente al rumore ambientale, è stata emanata la Direttiva 2002/49/CE, nota come Environmental Noise Directive (END). La Direttiva, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale, definisce un approccio volto a evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi dell'esposizione al rumore ambientale, ad esclusione sia del rumore generato dalla persona esposta stessa, dalle attività domestiche o dal vicinato, sia di quello sul posto di lavoro.

I descrittori utilizzati – entrambi basati su  $L_{Aeq}$  – sono  $L_{den}$  e  $L_{night}$  dove:

- $L_{den}$  è impiegato per valutare il disturbo (annoyance) potenzialmente indotto sulla popolazione ed è riferito alle 24 ore giornaliere: si ottiene infatti sommando i contributi dei livelli  $L_{Aeq}$  nei periodi diurno ( $L_{day}$  su 12 ore, 7:00-19:00), serale ( $L_{evening}$  su 4 ore, 19:00-23:00) e notturno ( $L_{night}$  su 8 ore, 23:00-7:00)<sup>1</sup>;
- $L_{night}$ , come definito al punto precedente, è impiegato per valutare gli effetti d'interferenza sul sonno e coincide con  $L_{Aeq}$  relativo alle ore notturne senza alcuna penalizzazione.

I periodi sopra definiti si applicano a tutte le tipologie di rumore. I valori dei due descrittori devono essere rappresentativi dell'esposizione su base annua e, negli agglomerati urbani, devono essere determinati separatamente per ciascuna tipologia di sorgente.

I valori limite possono variare a seconda della tipologia di rumore, dell'ambiente circostante e della diversa sensibilità al rumore delle popolazioni.

In Italia, il decreto legislativo 194/2005 ha permesso formalmente di recepire la Direttiva europea 2002/49/CE. La situazione normativa italiana era differente soprattutto in relazione ai descrittori acustici utilizzati; infatti è stata pubblicata la norma UNI 11252:2007 per definire le procedure di conversione dei valori di  $L_{Aeq}$  diurno e notturno e di  $LVA^2$  nei descrittori  $L_{den}$  e  $L_{night}$ . È da segnalare che in Italia con il decreto legislativo 194/2005 è stata scelta la seguente suddivisione del giorno:

- 1) periodo diurno: dalle 06.00 alle 20.00;
- 2) periodo serale: dalle 20.00 alle 22.00;
- 3) periodo notturno: dalle 22.00 alle 06.00.

---

<sup>1</sup>  $L_{evening}$  e  $L_{night}$  sono penalizzati rispettivamente di +5dB e +10dB per tener conto della maggiore criticità dei periodi serale e notturno.

<sup>2</sup> Livello di valutazione del rumore aeroportuale.

## **2. Basi**

### **2.1. Progetti, norme e direttive CH ed EU**

- [1] 2002/49/CE: Environmental Noise Directive, 25.06.2002;
- [2] 2003/613/CE, Raccomandazione della Commissione del 6 agosto 2003;
- [3] EN ISO 11819-1: Messung des Einflusses von Strassenoberflächen auf Verkehrsgeräusche. Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren, Mai 2002
- [4] Leitfaden Strassenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung, ASTRA und BAFU, Dezember 2006
- [5] Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen, Leitfaden Strassenlärm - Anhang 1c, ASTRA und BAFU, Dezember 2006
- [6] Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt (MfM-U), Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2004 - Heute
- [7] Projekt „Eisenbahnlärm-Monitoring“, Bundesamt für Verkehr (BAV), 2003 - Heute
- [8] Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (742.144), 24.03.2000
- [9] Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (VLE, 742.144.1), 14.11.2001
- [10] Harmonoise: Definition of Track Influence: Roughness in Rolling Noise, 17.7.2003 ([www.imagine-project.org](http://www.imagine-project.org))
- [11] Method for measuring the influence of road surface on traffic noise – part 2: «The CloseProximity method», ISO/CD-11819–2
- [12] Railway applications – Acoustics – Measurement of noise emitted by railbound vehicles, ISO 3095, 2005

### **2.2. Referenze**

- [13] IFEC Consulenze SA, 170215 MfM-U Lärm: Konzept Lärmmonitoring, 15.11.2001
- [14] Heutschi Kurt, Validierung von Eisenbahnlärmmodellen in einer Talsituation anhand einer Langzeitmessung, DAGA, Hamburg, Deutschland, 27.03.2001
- [15] Heutschi Kurt, New Swiss Source Model for Road Traffic Noise, Inter-Noise 2001, Den Haag, Holland, 28.08.2001
- [16] IFEC Consulenze SA, MfM-U: Untersuchung von Verkehrslärm auf LKW-sensible Merkmale, 10.03.2005
- [17] IFEC Consulenze SA, 170323 E 07 Pavimentazioni a bassa emissività acustica, Presentazione finale, 16.02.2007
- [18] Heutschi Kurt, Auswerteunsicherheit der MfM-U Daten, SGA Herbsttagung Bern, 25.10.2007
- [19] IFEC Consulenze SA, 160674 B 02 Bestimmung der Belagsgüte an den MfM-U Standorte, Norsonc Brechbühl AG und IFEC Consulenze SA, 26.03.2009
- [20] IFEC Consulenze SA, 160755 B 01 Bestimmung der Belagsgüte an den MfM-U Standorten, IFEC Consulenze SA, 31.01.2011
- [21] Angelo Bernasconi, Nerio Cereghetti e Antonella Realini, Osservatorio ambientale della Svizzera Italiana (OASI), Procedure di controllo della qualità dei dati del rumore, 31.05.2007
- [22] Robert Attinger, Monitoring railway noise in Switzerland from 2003 to 2010, RTR 3, 2010

### 3. Abbreviazioni e definizioni

Abbreviazione	Definizione	Osservazione
p	Pressione sonora in Pa	Pressione fluttuante che si sovrappone alla pressione statica in presenza di un suono
L	Livello della pressione sonora in dB	Livello sonoro in dB calcolato secondo l'equazione $L = 10 \cdot \log(p/p_0)^2$ , dove $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ ;
L <sub>A</sub>	Livello ponderato-A in dB(A)	Livello sonoro in decibel-A ottenuto ponderando le frequenze secondo il filtro-A
L <sub>AF</sub>	Livello ponderato-AF in dB(A)	Livello sonoro in decibel-A ottenuto ponderando le frequenze secondo il filtro-A e con ponderatura del tempo F (Fast)
L <sub>AFmax</sub>	Livello massimo ponderato-AF in dB(A)	Valore massimo del livello sonoro ponderato-AF
L <sub>Aeq</sub>	Livello equivalente ponderato-A in dB(A)	Media energetica del livello sonoro (filtrato-A) misurato su un intervallo di tempo T (ad es. durata dell'evento)
L <sub>Aeq,1s</sub>	Livello di esposizione ponderato-A in dB(A)	Media energetica del livello sonoro di un singolo evento misurato su un intervallo di tempo T e normalizzato per 1 secondo
L <sub>day</sub>	Descrittore acustico diurno	Livello sonoro medio a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi diurni (07:00-19:00) di un anno
L <sub>evening</sub>	Descrittore acustico serale	Livello sonoro medio a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi serali (19:00-23:00) di un anno
L <sub>night</sub>	Descrittore acustico notturno	Livello sonoro medio a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi notturni (23:00-07:00) di un anno
VL	Veicoli leggeri	Veicoli leggeri con 4 ruote
VP	Veicoli pesanti	Veicoli pesanti con almeno 2 assi e più di 4 ruote
SEM	Stichproben-Emissions-Messung	Emissione del traffico misto su tutta la sezione della strada con conteggio del traffico separato per le diverse corsie
SPB	Statistical Pass-By	Emissione del singolo passaggio. Grazie all'analisi di una moltitudine di passaggi si determinano i livelli di emissioni sonora di diverse categorie di veicoli che circolano su una data corsia.
SEL	Sound exposure level in dB(A)	Livello di esposizione sonora ottenuta "concentrando" l'energia un evento in 1 s.
TEL	Transit exposure level in dB(A)	Livello di esposizione sonora durante un transito.

**Tabella 9 Elenco delle abbreviazioni e delle definizioni.**

## 4. Linee Guida

### 4.1. Linee guida per il monitoraggio del rumore stradale

#### LGS1 Scopo

<sup>1</sup> Lo scopo delle presenti linee guida è quello di ottenere dati per la costruzione di indicatori del rumore stradale rappresentativi, omogenei e confrontabili e in grado di seguire l'evoluzione del fenomeno nel tempo. Di centrale importanza è la caratterizzazione dell'emissione acustica.

#### LGS2 Localizzazione dei punti di monitoraggio

<sup>2</sup> L'asse di traffico deve essere monitorato in punti campione rappresentativi per l'emissione acustica, con particolare riferimento alla composizione del traffico, alle velocità di percorrenza, alla pendenza e alla pavimentazione stradale.

<sup>3</sup> Il microfono deve essere posizionato ad una distanza di 20 m dal centro della strada e ad un'altezza di 4 m al di sopra dal piano stradale.

<sup>4</sup> L'area attorno al microfono deve essere libera da ostacoli (80 m per strade principali e 130 m per autostrade).

<sup>5</sup> Se un guardrail o un altro ostacolo potesse incidere sulla propagazione del rumore, il microfono dovrà essere alzato.

#### LGS3 Durata e frequenza delle misure

<sup>6</sup> Nel limite del possibile la durata di una campagna di misure è di *2 settimane (ma minimo qualche giorno)*.

<sup>7</sup> Durante una campagna di misura si devono prevedere dei periodi di misura "intensi", ovvero dei brevi intervalli della durata minima di almeno *30 minuti* ma sufficiente per consentire di misurare almeno *1000 veicoli*, durante i quali alcuni parametri vengono rilevati con maggiore precisione (v. punti 10 e 11).

<sup>8</sup> Le misure vengono ripetute 4 volte sull'arco di un anno.

#### LGS4 Dati da acquisire

<sup>9</sup> Devono essere rilevati i dati relativi alle caratteristiche dell'infrastruttura oggetto di monitoraggio in corrispondenza del punto di rilievo e più precisamente:

- il tipo di pavimentazione;
- l'anno di posa della pavimentazioni;
- la pendenza dell'asse stradale;
- i limiti di velocità massima;
- mappe e documentazione fotografica.

<sup>10</sup> Il rumore deve essere caratterizzato tramite l'acquisizione in continuo dei seguenti dati (*medie semiorarie*):

- $L_{Aeq}$ ;
- $L_{max}$ ,  $L_{min}$ ,  $L_5$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{95}$ ,  $L_{99}$ ;
- Spettro in bande di terze ottave.

<sup>11</sup> Le condizioni di traffico devono essere descritte tramite l'acquisizione su base *semioraria* dei seguenti valori:

- numero totale di veicoli;

- numero di veicoli leggeri e di veicoli pesanti per senso di percorrenza (carreggiata);
- numero di veicoli leggeri e di veicoli pesanti per corsia durante i periodi di misura "intensa";
- velocità medie di veicoli leggeri e pesanti durante i periodi di misura "intensa".

<sup>12</sup> Per la caratterizzazione delle condizioni meteorologiche è necessario acquisire:

- la temperatura dell'aria;
- le precipitazioni;
- la velocità del vento;
- la temperatura dell'asfalto durante i periodi di misura "intensa".

<sup>13</sup> Sulla base dei dati di traffico verranno calcolati i livelli di esposizione (a 20 m di distanza e 4 m di altezza) e determinate le differenze tra il valore misurato e quello ottenuto con algoritmi di calcolo previsti dalla norma ISO 9613.

### LGS5 Calcolo dei descrittori acustici

<sup>14</sup> Sulla base dei dati semiorari di livello equivalente rilevati sull'arco di un anno verrà calcolato il livello giorno-sera-notte (day-evening-night level) definito nel modo seguente:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left( \frac{12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}}}{24} \right),$$

dove:

$L_{day}$  (descrittore acustico diurno) è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi diurni (07:00-19:00) di un anno;

$L_{evening}$  (descrittore acustico serale) è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi serali (19:00-23:00) di un anno;

$L_{night}$  (descrittore acustico notturno) è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi notturni (23:00-07:00) di un anno.

<sup>15</sup> Sulla base dei dati semiorari di livello equivalente rilevati sull'arco di un anno verrà calcolato il livello sonoro notturno (night noise indicator)

$$L_{night}$$

dove la notte è di 8 ore come definita al punto 14.

### LGS6 Caratterizzazione della pavimentazione

<sup>16</sup> Periodicamente verrà eseguita una misura della rumorosità della pavimentazione mediante il metodo SPB (misura puntuale) secondo la norma ISO 11819-1 (Acoustic-measurements of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1, Statistical Pass-By Method, 1997) ed eventualmente con il metodo del carrello CPX secondo la norma ISO/CD 11819-2 (misura estendibile ad una tratta estesa).

### LGS7 Specifiche minime per la strumentazione di misura

<sup>17</sup> La catena di misura del rumore deve soddisfare le specifiche della classe 1 delle norme EN vigenti (v. "IEC 61672 Electroacoustics - sound level meters, 2002"). In particolare i **fonometri** devono avere come caratteristiche

- una gamma in frequenza **tra 20 Hz e 10 kHz**, con una velocità di campionamento di almeno 22 kHz;
- una gamma dinamica **tra 40 e 110 dB(A)**.

I microfoni devono essere adatti a misurare all'esterno e devono essere protetti da pioggia, neve e vento mediante un cappuccio adeguato.

<sup>18</sup> Le centraline meteorologiche devono essere equipaggiate per la misura dei seguenti parametri:

- temperatura dell'aria e della pavimentazione (per i periodi di misura "intensi");
- quantità di precipitazioni;
- la velocità del vento.

<sup>19</sup> I contatori del traffico devono consentire:

- di misurare il traffico in entrambi i sensi di percorrenza;
- di suddividere i veicoli in classi;
- di registrare la velocità dei veicoli.

### **LGS8 Procedure di calibrazione**

<sup>20</sup> Ogni campagna di misura dovrà prevedere almeno una verifica del buon funzionamento alla fine e all'inizio delle misure mediante controllo manuale della risposta di tutti i componenti della catena fonometrica attraverso calibratore acustico di classe 1 secondo la IEC 942.

<sup>21</sup> Qualora una verifica di calibrazione dia esito negativo, devono essere scartati tutti i dati successivi all'ultima verifica positiva.

<sup>22</sup> Metodi di controllo automatici sono pure ammessi per verificare il buon funzionamento della catena fonometrica. In tal caso, i dati antecedenti a un malfunzionamento potranno essere ritenuti validi, solo nel caso in cui l'inizio del guasto sia sufficientemente chiaro.

<sup>23</sup> Periodicamente gli enti preposti si trovano per eseguire delle campagne comparative (calibrazioni ad anello).

### **LGS9 Validazione dei dati acquisiti per i livelli sonori**

<sup>24</sup> I controlli eseguiti nell'ambito della procedura di valutazione dei profili orari dei livelli sonori dovranno permettere di verificare la presenza

- di livelli sonori misurati con influenza di eventi atmosferici rumorosi quali temporali, pioggia battente e forte vento;
- di periodi della giornata per cui a causa di fenomeni occasionali è stato interrotto il traffico transfrontaliero sull'infrastruttura stradale;
- di alterazioni significative nel profilo orario dei  $L_{Aeq}$ .

<sup>25</sup> Nel caso di alterazioni significative dei livelli sonori causate da eventi non riconducibili al traffico veicolare come ad esempio in caso di eventi atmosferici rumorosi, esse dovranno essere prontamente segnalate e i dati acquisiti non saranno ritenuti validi e non potranno essere utilizzati ai fini delle analisi successive.

### **LGS10 Gestione dei dati**

<sup>26</sup> I dati fonometrici corredati dai descrittivi del luogo verranno inseriti in un'apposita banca dati "iNoise". A tale scopo al termine di ogni campagna di monitoraggio gli enti preposti forniranno i dati in un file excel (per ogni punto di misura) il cui nome verrà modificato come segue

DATI\_FONOMETRICI\_Strade\_Nomevalico\_#.xls

dove "#" indica un numero progressivo.

## 4.2. Linee per il monitoraggio del rumore ferroviario

### LGF1 Scopo

<sup>1</sup> Lo scopo delle presenti linee guida è quello di ottenere dati per la costruzione di indicatori del rumore ferroviario rappresentativi, omogenei e confrontabili e in grado di seguire l'evoluzione del fenomeno nel tempo. Di centrale importanza è la caratterizzazione dell'emissione acustica.

### LGF2 Localizzazione dei punti di monitoraggio

<sup>2</sup> L'infrastruttura deve essere monitorata in punti campione rappresentativi per l'emissione acustica, con particolare riferimento alla velocità e alla lunghezza dei treni e alla loro composizione. La rugosità delle rotaie deve essere conforme alle esigenze della norma ISO 3095 (2005) [12].

<sup>3</sup> Il punto di misura deve essere scelto in modo che – al fine di una corretta identificazione dei singoli eventi – il livello sonoro residuo dell'area sia di almeno 10 dB(A) inferiore ai valori di  $L_{AFmax}$ .

<sup>4</sup> Il microfono deve essere posizionato ad una distanza di 7.5 m dalla mezzeria del binario e ad un'altezza di 1.2 m sul piano del ferro.

### LGF3 Durata e frequenza delle misure

<sup>5</sup> Nel limite del possibile la durata di una campagna di misure è di *2 settimane (ma minimo qualche giorno)*.

<sup>6</sup> Le misure vengono ripetute 4 volte sull'arco di un anno.

### LGF4 Dati da acquisire

<sup>7</sup> Devono essere rilevati i dati relativi alle caratteristiche dell'infrastruttura oggetto di monitoraggio in corrispondenza del punto di rilievo e più precisamente:

- tipo di binario;
- tipo di traversine (beton, legno, acciaio, ...);
- mappe e documentazione fotografica.

<sup>8</sup> La misura dei livelli sonori viene avviata al superamento di una soglia prestabilita e avviene con costante di tempo FAST in maniera da poter determinare

- l'orario di inizio  $t_1$  (hh:mm:ss), di quando il treno entra nella zona della misura;
- l'orario di fine  $t_2$  (hh:mm:ss), di quando il treno lascia zona della misura;
- la durata  $T_p$  (s) dell'evento;
- il profilo temporale  $L_{AF}(t)$  dei singoli transiti;
- il livello di esposizione sonora del singolo evento (SEL in dB(A));
- il livello di esposizione sonora durante il singolo transito (transit exposure level, TEL in dB(A));
- Spettro in bande di terze ottave.

<sup>9</sup> I convogli devono essere identificati e descritti secondo:

- tipo (treno passeggeri, treno merci, treno di servizio, non definito);
- velocità (km/h);
- lunghezza (m).

<sup>10</sup> Per la caratterizzazione delle condizioni meteorologiche è necessario acquisire:

- la temperatura dell'aria;
- la quantità di precipitazioni;
- la velocità del vento.

### LGF5 Calcolo dei descrittori acustici

<sup>11</sup> Sulla base dei livelli di esposizione sonora dei singoli eventi  $SEL_i$  (dove l'indice  $i$  rappresenta il singolo convoglio ferroviario) si calcolano i parametri  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  e  $L_{night}$  secondo la seguente relazione:

$$L_{day}, L_{evening}, L_{night} = 10 \cdot \log \left( \sum_i 10^{\frac{SEL_i}{10}} \right) - 10 \cdot \log(T/1s),$$

dove la somma si estende su tutti i convogli ferroviari transitati durante i diversi periodi: diurno (07:00-19:00,  $T = 43200$  s), serale (19:00-23:00,  $T = 14400$  s) e notturno (23:00-07:00,  $T = 28800$  s).

<sup>12</sup> Sulla base di  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  e  $L_{night}$  si calcola il livello giorno-sera-notte (day-evening-night level) definito nel modo seguente:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left( \frac{12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}}}{24} \right).$$

### LGF6 Caratterizzazione delle rotaie

<sup>13</sup> La rugosità delle rotaie nel punto di misura deve essere misurata periodicamente secondo le modalità della ISO 3095 (2005) [12].

### LGF7 Specifiche minime per la strumentazione di misura

<sup>14</sup> La catena di misura del rumore deve soddisfare le specifiche della classe 1 delle norme EN vigenti (v. "IEC 61672 Electroacoustics - sound level meters, 2002"). In particolare i **fonometri** devono avere come caratteristiche

- una gamma in frequenza **tra 20 Hz e 10 kHz**, con una velocità di campionamento di almeno 22 kHz;
- una gamma dinamica **tra 40 e 110 dB(A)**.

<sup>15</sup> Le centraline meteorologiche devono essere equipaggiate per la misura dei seguenti:

- temperatura dell'aria;
- quantità di precipitazioni.

<sup>16</sup> La caratterizzazione dei convogli può avvenire con l'impiego di contatori di assi che consentano di determinare

- la velocità dei convogli;
- il numero di assi dei convogli;
- la tipologia di convoglio.

Alternativamente per l'identificazione dei convogli è possibile richiedere ai gestori del tratto ferroviario oggetto del monitoraggio i tabulati con i transiti.

### LGF8 Procedure di calibrazione

<sup>17</sup> Ogni campagna di misura dovrà prevedere almeno una verifica del buon funzionamento alla fine e all'inizio delle misure mediante controllo manuale della risposta di tutti i componenti della catena fonometrica attraverso calibratore acustico di classe 1 secondo la IEC 942.

<sup>18</sup> Qualora una verifica di calibrazione dia esito negativo, devono essere scartati tutti i dati successivi all'ultima verifica positiva.

- <sup>19</sup> Metodi di controllo automatici sono pure ammessi per verificare il buon funzionamento della catena fonometrica. In tal caso, i dati antecedenti a un malfunzionamento potranno essere ritenuti validi, solo se l'inizio del guasto fosse sufficientemente chiaro.
- <sup>20</sup> Periodicamente gli enti preposti si trovano per eseguire delle campagne comparative (calibrazioni ad anello).

#### **LGF9 Validazione dei dati acquisiti per i livelli sonori**

- <sup>21</sup> I controlli eseguiti nell'ambito della procedura di valutazione dei profili orari dei livelli sonori dovranno permettere di individuare
- gli eventi sonori non attribuibili al transito dei treni oppure caratterizzati da fenomeni accidentali;
  - gli eventi sonori influenzati di eventi atmosferici rumorosi quali temporali, pioggia battente e forte vento.
- <sup>22</sup> Ai fini della validità del valore di  $L_{Aeq}$  nel periodo di riferimento (day/evening/night) il numero di transiti di convogli ferroviari invalidati da altri fenomeni rumorosi non deve superare il 10% del numero di transiti.

#### **LGF10 Gestione dei dati**

- <sup>23</sup> Al termine di ogni campagna di monitoraggio gli enti i risultati delle misure verranno raccolti in file excel appositamente predisposti. Un primo file dovrà essere riempito con i dati di base dei singoli passaggi e ne verrà tenuto uno per ogni passaggio. Il nome di questo file verrà modificato come segue

DATI\_FONOMETRICI\_BASE\_Ferrovie\_Nomevalico\_#.xls

dove "#" indica un numero progressivo.

I dati risultanti da questo file excel dovranno essere riportati nel secondo file di sommario (per ogni punto di misura) che verrà rinominato come segue

DATI\_FONOMETRICI\_SOMMARIO\_Ferrovie\_Nomevalico\_#.xls

dove "#" indica un numero progressivo.

## **5. Sviluppo delle linee guida per il monitoraggio del rumore stradale**

Le linee guida per il monitoraggio del rumore stradale sono strutturate in 10 capitoli principali, ognuno dei quali si compone di più cifre. Di seguito sono commentati i diversi capitoli.

### **5.1. Scopo delle linee guida**

Lo scopo delle linee guida per il monitoraggio del rumore lungo i corridoi alpini dipende direttamente dagli obiettivi che s'intendono raggiungere. Come illustrato nello schema di figura 3 si distinguono – in generale – obiettivi strategici strettamente legati alle motivazioni alla base del monitoraggio e obiettivi operativi, funzionali al raggiungimento dei primi e più strettamente legati alle modalità del monitoraggio.

Gli obiettivi strategici devono essere messi in relazione con gli assi (2, 3 e 4) individuati dal progetto MONITRAF. Essi mirano in particolare alla verifica dell'efficienza delle politiche comuni (ai diversi corridoi di transito) come pure di quelle regionali (specifiche a un corridoio). Una grandezza centrale è il livello sonoro equivalente ( $L_{eq}$ ). Infatti, esso rappresenta un descrittivo dell'emissione acustica e può essere utilizzato per descrivere l'evoluzione della rumorosità di una sorgente. Se abbinato ad altre informazioni come

- l'intensità del traffico;
- la composizione del traffico (% VP);
- il degrado (e ev. rinnovo) del manto stradale;
- le condizioni meteo (v. ad es., pioggia);
- l'evoluzione del parco veicoli;
- ...

è possibile riconoscere le cause dell'evoluzione e quindi verificare anche l'efficacia delle diverse politiche.

Da rilevare che il  $L_{eq}$  viene pure utilizzato, dopo opportuna rinormalizzazione, quale livello di emissione nei modelli matematici per il calcolo delle immissioni foniche.

Per questi motivi con la linea guida si mira a ottenere indicatori del rumore stradale che siano rappresentativi, omogenei e confrontabili. Ciò può essere raggiunto ponendosi una serie di obiettivi operativi che sono l'oggetto principale dei rimanenti punti delle linee guida. Essi rispondono agli interrogativi:

- Cosa?
- Dove?
- Come?
- Quando?

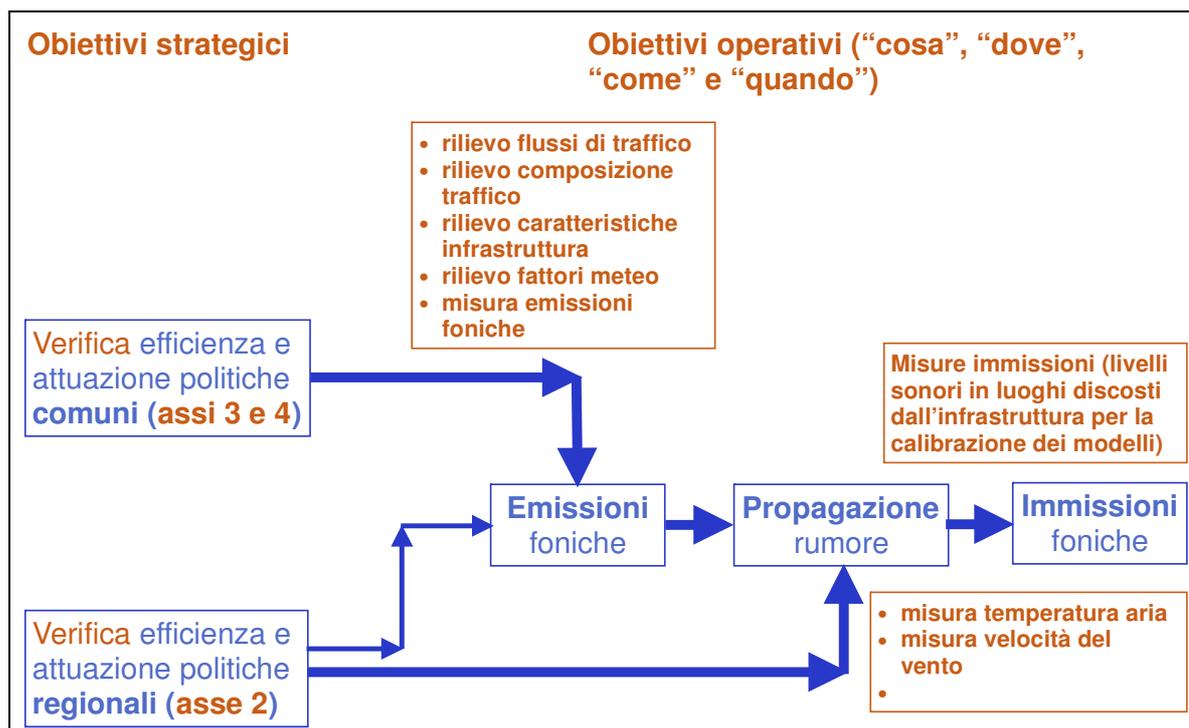


Figura 3: Obiettivi del monitoraggio del rumore lungo gli assi di transito alpino.

## 5.2. Localizzazione dei punti monitoraggio

I punti di questo capitolo riguardano due aspetti fondamentali: i criteri per la scelta dei luoghi di monitoraggio lungo gli assi di traffico e le esigenze (geometriche) da rispettare nella posa dei microfoni.

### 5.2.1. Scelta del luogo di misura lungo la strada

Al fine di ottenere dei dati *validi, rappresentativi e riproducibili*, i punti di misura devono essere selezionati con cura. I criteri esposti di seguito sono basati sull'esperienza e la loro applicazione consente di confrontare i dati misurati in diversi posti.

In particolare si propongono **2 livelli** di selezione: un primo livello – generale – che porta all'individuazione di **tratte acusticamente omogenee** e rappresentative per i diversi corridoi di traffico a livello di

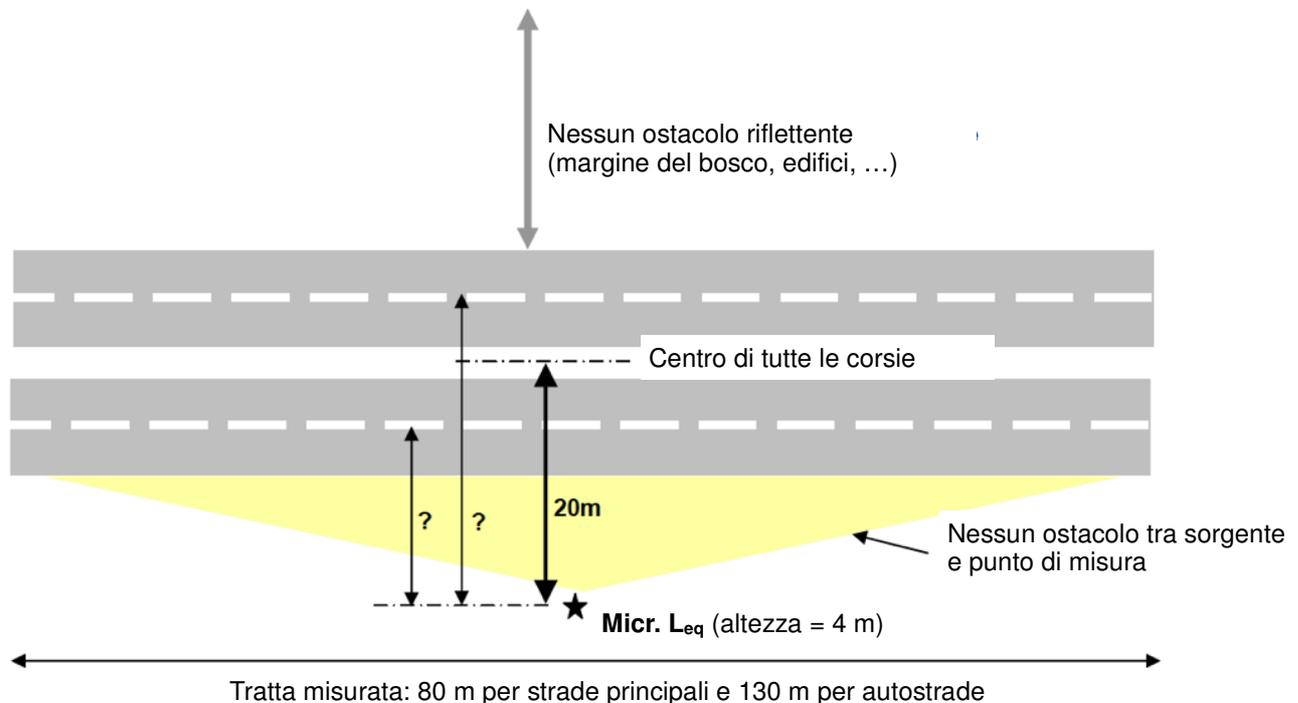
- numero di veicoli,
- velocità di percorrenza,
- pendenza e
- tipo di manto stradale

e un secondo livello che permette sulla base di esigenze di **qualità dei dati (grezzi)** di individuare i punti di rilievo all'interno delle tratte. A tale riguardo si dovrà fare attenzione che

- il manto stradale sia in buone condizioni,
- la velocità dei veicoli sia costante (in maniera da evitare punti dove avvengono cambi di corsia);
- l'asse di traffico sia l'unica fonte di rumore (assenza di rumori estranei);
- l'accessibilità alla rete elettrica sia garantita;
- lo spazio a lato della strada sia sufficiente per il posizionamento del microfono.

### 5.2.2. Ubicazione del microfono a lato della strada

In generale si propone una misura secondo il metodo SEM (Stichproben-Emissions-Messung). In questo metodo (non normato) viene misurata l'emissione del traffico misto su tutta la sezione della strada. A tale scopo il microfono deve essere posto a 20 m di distanza dal centro della strada e a un'altezza di 4 m dal piano della strada (v. figura 4).



**Figura 4: Posizionamento del microfono a lato della strada (metodo SEM).**

L'area attorno al microfono deve essere libera da ostacoli per una lunghezza di 80 m per le strade principali e di 130 m per le autostrade. Se un guardrail o un altro ostacolo potesse influenzare la propagazione del suono, il microfono dovrà essere alzato. In tale caso i risultati dovranno essere normalizzati alle condizioni normali (a 20 m di distanza dal centro della strada e a un'altezza di 4 m dal piano della strada). A tale scopo si usa la correzione:

$$A_d = 10 \cdot \log \left( \frac{r_2}{r_1} \right),$$

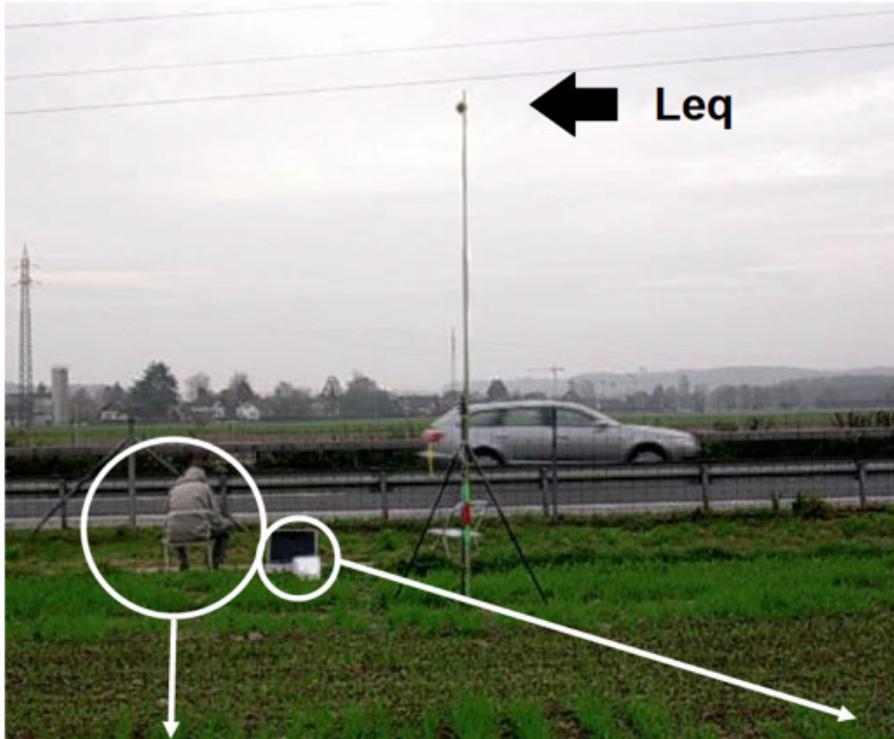
in cui  $r_i$  sono le distanze "reali", comprensive di distanza in pianta e altezza.

### 5.3. Durata e frequenza delle misure

Ai fini della caratterizzazione dell'emissione acustica della sorgente la misura deve essere di durata settimanale (idealmente 2 per ovviare ad eventuali eventi straordinari, correlati ad esempio alla meteorologia), e ripetuta durante l'anno in modo da garantire un monitoraggio a stagione (4 rilievi annuali).

Nel caso del monitoraggio del rumore stradale la restituzione dei dati deve avvenire su base semi-oraria. In particolare durante alcuni periodi di 30 minuti (con traffico veicolare superiore ai 1000 veicoli) dovranno essere rilevati anche il numero di veicoli leggeri e di veicoli pesanti per corsia e le relative velocità medie (cfr. figura 5). Durante questi periodi misure e conteggi dovranno essere

sospesi in caso di rumori estranei al traffico stradale (aerei, campane, mezzi agricoli, ...). In tal modo sarà possibile confrontare i valori  $L_{Aeq}$  con quelli calcolati con modelli matematici e quindi ricavare ev. fattori di correzione da applicare ai risultati dei modelli (v. 5.3).



In caso di rumori estranei al traffico stradale (aerei, campane, mezzi agricoli, ...) misura e conteggio vengono sospesi

Volumi di traffico per categoria e direzione di circolazione



**Figura 5: Durante i brevi periodi (30 minuti) di misura "intensa": la presenza di un tecnico per ev. sospendere momentaneamente misure e conteggi è necessaria.**

## 5.4. Dati da acquisire

### 5.4.1. *Dati relativi al punto di misura*

È necessario in primo luogo acquisire i dati relativi alle caratteristiche dell'infrastruttura oggetto di monitoraggio in corrispondenza del punto di rilievo. Come indicato anche nella videata della figura 6 (per un'infrastruttura stradale) si tratta innanzitutto di informazioni relativi al luogo: corridoio di traffico, comune, coordinate, lato stradale e descrizione del luogo. Altre informazioni riguardano la strada vera e propria: il tipo e la categoria della pavimentazione, l'anno di posa della pavimentazione, la pendenza e la velocità massima consentita. Si tratta di aspetti che influenzano direttamente l'emissione acustica.

Tali informazioni dovranno essere accompagnate da piani e foto relativi al punto di misura.

Località		iNoise DB		Punti di misura	
Località				iMonitrat-1	
<b>Luogo</b>	Asse / Comune	M.te Bianco	<b>Pavimentazione</b>	Tipo	
<b>Strada</b>	Nome	Strada Statale 26		Categoria	
	Proprietario			Anno di posa	
	Punto di rif.			Dettagli	
	Lato stradale				
<b>Posizione</b>	Coordinate				
	Descrizione	sul lato opposto è presente		Pendenza (%)	
<b>Piano / Foto</b>					
				<input type="button" value="Principale"/>	

Figura 6: *Dati relativi all'infrastruttura stradale da rilevare.*

### 5.4.2. Dati relativi alla misura

Per ogni misura si dovranno registrare la data e l'ora d'inizio e quella di fine. La posizione del microfono (distanza dal centro stradale e altezza dal piano della strada) andrà rilevata in occasione di ogni misura. La figura 7 evidenzia pure come avviene la caratterizzazione meteorologica sulla base della temperatura dell'aria e di quella dell'asfalto. Quest'ultima è molto importante in quanto influenza direttamente l'emissione acustica e in particolare durante i periodi di misura "intensa" dovrà essere rilevata.

Misura					
<b>Periodo</b>	Data	11/11/2010 - 11/11/2010	<b>Posizione micr.</b>	d dal centro strada	20 m
	Ora	10:00 - 10:50		H sopra la strada	4 m
<b>Temp.</b>	Aria (min-max)	2.5 °C - 13.7 °C	<b>Velocità</b>	max consentita	120 km/h
	Aria (media)	3.7 °C		effettiva	120 km/h
	Asfalto (min-max)	3.8 °C - 20.5 °C	<b>Strumenti</b>	Misura rumore	Symphonie 01dB
Asfalto (media)	4.7 °C				
<b>Oss.:</b>					

**Figura 7: Dati relativi una singola misura del rumore stradale. Si rileva l'importanza di registrare le informazioni sul periodo della misura, sulla posizione del microfono, come pure i parametri meteorologici (ad es. temperature dell'aria e dell'asfalto).**

Un altro fattore importante che influenza l'emissione è determinato dalle precipitazioni.

Per quanto attiene alle misure del rumore di primaria importanza è l'acquisizione del livello equivalente ponderato A ( $L_{Aeq}$ ) su base semioraria. Qualora la memoria del sistema di acquisizione dovesse consentirlo è pure importante acquisire alcuni valori statistici – il valore minimo ( $L_{min}$ ), il valore massimo ( $L_{max}$ ), e diversi percentili ( $L_5$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{95}$ ,  $L_{99}$ ) – e gli spettri in bande di terze di ottava.

### 5.4.3. Dati di traffico veicolare

Per un utilizzo dei dati del rumore occorre anche conoscere i volumi di traffico rilevati durante periodi corrispondenti. Idealmente si dovrebbe disporre del numero di veicoli poco rumorosi e molto rumorosi per ogni corsia su base semioraria. Nel presente lavoro – in attesa anche da indicazioni più precise che dovrebbero scaturire dal WP6 – si è scelto in maniera pragmatica di limitarsi alla distinzione tra veicoli leggeri (VL) e veicoli pesanti (VP), la cui differenziazione allo stato attuale non è sempre scontata.

Con informazioni accurate sulla composizione del traffico veicolare assieme a quelle sulle velocità medie, è possibile calcolare il livello sonoro con l'ausilio di modelli matematici e confrontare i valori calcolati con quelli misurati. Nel riquadro della figura 8 la procedura è illustrata in dettaglio – a titolo esemplificativo – sulla base del modello STL-86+ che viene applicato in Svizzera.

La differenza tra valori misurati e calcolati consente di determinare (per ogni luogo) un fattore K di correzione da applicare ai modelli.

Un'analoga procedura può essere applicata nel caso del modello NMPB che viene invece applicato in Italia.

Livelli sonori specifici per veicoli pesanti (intesi come veicoli molto rumorosi) e leggeri (intesi come veicoli poco rumorosi) in funzione della velocità (v):

$$L_{eq,VL} = 43 + 10 \cdot \log\left(1 + (v/50)^3\right).$$

$$L_{eq,VP} = 43 + 10 \cdot \log\left[\left(1 + (v/50)^3\right) \cdot \left(1 + 20 \cdot (1 - v/150)\right)\right].$$

Da questi si ottiene il livello di emissione delle singole corsie (i) su 1 ora (3600 s):

$$L_{eq,1h,i} = 10 \cdot \log\left(10^{\frac{L_{eq,VL}(120) + 10 \cdot \log(N1_i)}{10}} + 10^{\frac{L_{eq,VP}(120) + 10 \cdot \log(N2_i)}{10}}\right) + 10 \cdot \log(3600 / \Delta t)$$

dove  $N1_i$  e  $N2_i$  sono rispettivamente il numero di veicoli poco rumorosi e molto rumorosi rilevati durante l'intervallo  $\Delta t$  (in secondi) della misura sulle singole corsie.

Per ottenere il livello sonoro nella posizione del microfono (ricevitore) si deve tener conto dell'effetto dell'attenuazione per divergenza geometrica

$$A_{d,i} = 10 \cdot \log(1/d_i)$$

dove  $d_i$  è la distanza dal microfono alla corsia i, dell'attenuazione per assorbimento atmosferico

$$A_{a,i} = -\alpha \cdot d_i$$

dove  $\alpha = 0.005$  dB/m e dell'attenuazione dovuta all'effetto del suolo

$$A_{g,i} = \frac{-20}{1 + h/2} \cdot (1 - e^{-d_i/300})$$

dove  $h$  è l'altezza del microfono rispetto al piano stradale. Altre attenuazioni per misure ai lati della strada (eseguite secondo le presenti linee guida) possono essere trascurati.

Per il livello sonoro  $L_{r,i}$  prodotto da una corsia i si ottiene quindi:

$$L_{r,i} = L_{eq,1h,i} + A_{d,i} + A_{a,i} + A_{g,i}$$

dai quali si può calcolare il livello sonoro totale con una somma energetica:

$$L_{r,tot} = 10 \cdot \log\left(\sum_i 10^{L_{r,i}/10}\right).$$

**Figura 8: Calcolo del livello sonoro su 1 ora sul ricevitore generato dalle diverse corsie secondo l'algoritmo STL-86+ .**

### 5.5. Calcolo dei descrittori acustici

Un "descrittore acustico" è la quantità fisica che descrive il rumore ambientale avente un rapporto con un evento nocivo. I descrittori acustici definiti per diverse fasce orarie (07:00-19:00:  $L_{day}$ , 19:00-23:00:  $L_{evening}$ , 23:00-07:00:  $L_{night}$ ) possono essere calcolati come media dai valori semiorari misurati durante i diversi periodi:

$$L_{descr} = 10 \cdot \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{L_{eq,i}/10} \right) - 10 \cdot \log(n) ,$$

dove  $n$  è il numero di dati raccolti nella fascia oraria considerata.

Per ottenere i valori medi su anno, in presenza dei dati di traffico semiorari per corsia i valori di  $L_{eq,j}$  possono essere determinati con un algoritmo di calcolo. I valori ottenuti dovranno essere corretti con il fattore  $K$  determinato durante i periodi di monitoraggio "intenso".

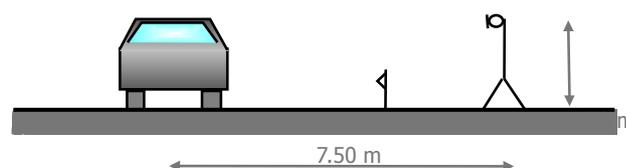
### 5.6. Caratterizzazione della pavimentazione

Il rumore di un asse stradale è determinato dai flussi di traffico delle diverse categorie di veicoli e dai loro fattori specifici di emissione, che dipendono principalmente dall'interazione tra il veicolo e l'infrastruttura (rollio dei pneumatici sull'asfalto) e dalla presenza di una macchina a combustione all'interno del veicolo.

Per meglio capire le cause di una determinata evoluzione dei livelli sonori di un corridoio di transito non sono quindi sufficienti i dati relativi all'evoluzione del traffico, ma occorrono anche delle informazioni sulle emissioni specifiche e più precisamente sull'emissione della pavimentazione che può peggiorare in seguito al suo degrado o migliorare come conseguenza di eventuali lavori di manutenzione.

Per questo motivo le linee guida raccomandano di eseguire periodicamente delle misure dell'emissività delle pavimentazioni. A tale scopo si può ricorrere a due metodi normati per la determinazione dell'emissività delle pavimentazioni: il metodo SPB (statistical pass-by method) e il metodo CPX (noto anche come metodo del carrello).

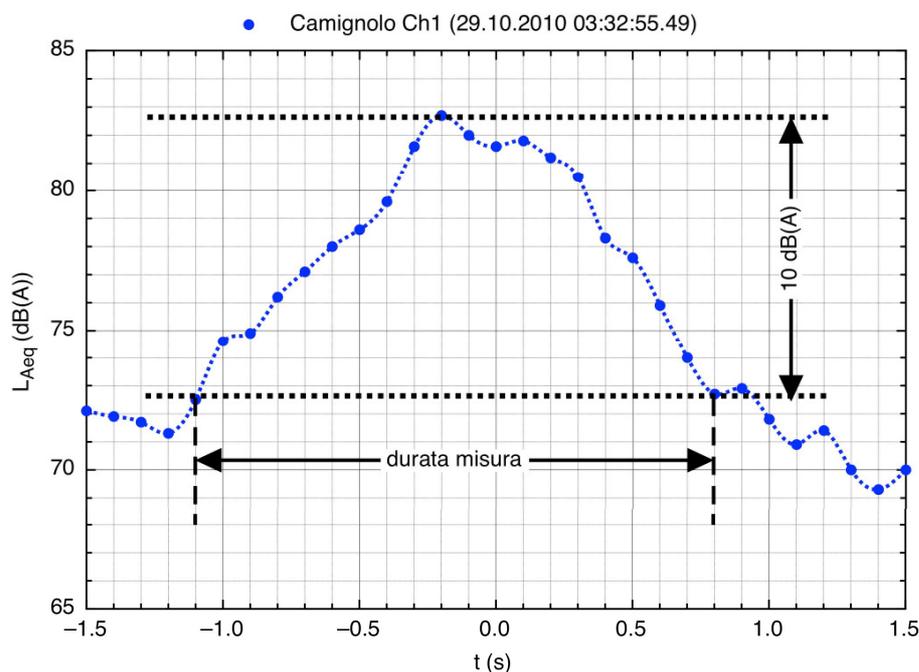
Il **metodo SPB** è descritto dalla norma ISO 11819-1 (Acoustic-measurements of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1, Statistical Pass-By Method, 1997). La misura deve avvenire in prossimità di un conta-traffico secondo le modalità riportate schematicamente nella figura 9, da cui si evidenzia la posizione standard del microfono: 7.5 m di distanza dal centro della corsia di interesse e 1.2 m di altezza rispetto alla quota della pavimentazione. L'area attorno al microfono deve essere libera da ostacoli. Se un "guard rail" o un altro ostacolo influenzasse la propagazione del suono, il microfono dovrà essere alzato e i livelli sonori dovranno essere calcolati per la geometria standard.



**Figura 9: Rappresentazione schematica della disposizione del microfono nel metodo SPB.**

Per un singolo veicolo il segnale misurato dal microfono viene ponderato A e mediato nel tempo esponenzialmente con una costante di tempo FAST (125 ms). La storia temporale mediata viene acquisita con una frequenza di 0.1 s. Il grafico della figura 10 mostra un esempio dell'andamento del livello sonoro  $L_{Aeq}$  al passaggio di un veicolo. Il livello massimo di pressione acustica registrato durante il passaggio viene determinato e utilizzato per caratterizzare un veicolo dal profilo dell'emissione fonica. Considerato che una misura può essere disturbata da altre fonti di rumore ambientali oppure dal passaggio di un altro veicolo, la validità del livello massimo di pressione acustica deve essere esaminata sulla base di 2 criteri:

- “nessun disturbo”: non ci deve essere un'altra fonte di rumore che può influenzare  $L_{Aeq,max}$ ;
- “salto di 10 dB”: la serie temporale di dati  $L_{Aeq}(t)$  deve decrescere in maniera monotona (con un'adeguata tolleranza) su entrambi i lati del massimo per almeno 10 dB(A).



**Figura 10: Andamento del livello di pressione acustica equivalente al passaggio di un singolo veicolo [20]. I dati sono stati rilevati a Camignolo (asse San Gottardo) in direzione Nord-Sud il 29 ottobre 2010 (03:32:55.49) ed evidenziano le esigenze in termini di rapporto tra segnale e disturbo di fondo.**

Con il metodo SPB viene determinato l'effetto di un rivestimento stradale *in un punto* (in una sezione) in relazione alla flotta effettiva del traffico. La valutazione acustica si basa sull'analisi statistica delle emissioni sonore normalizzate sulla velocità di una moltitudine di veicoli. Esso consente di estrarre delle informazioni su diverse categorie di veicoli.

Le misure con il **metodo CPX** (misure in continuo in campo prossimo) consistono nel misurare il livello acustico con 2 microfoni posti all'interno di un rimorchio di misura insonorizzato in prossimità delle 2 ruote. Il livello acustico ponderato A viene misurato in continuo per ogni pneumatico lungo tutta la tratta. I segnali dei microfoni vengono registrati con una frequenza di 8 Hz (cioè ogni 125 ms). Le misure in autostrada si svolgono normalmente a una velocità di 80 km/h. La velocità, la temperatura dell'aria e la posizione (GPS) vengono pure rilevati in continuazione.

Le misure in campo prossimo permettono di determinare le proprietà acustiche della pavimentazione su un'intera tratta. Esse forniscono in particolare:

- informazioni sull'omogeneità delle prestazioni acustiche di un certo tipo di rivestimento;
- maggiore riproducibilità e confrontabilità (v. ad es. evoluzione temporale del manto stradale), dato che le specificità del posto e i cambiamenti indesiderati (riflessioni, composizione del traffico, stile di guida, pneumatici, ...) non hanno influenza.

Rispetto al metodo SPB, la misura CPX

- non comprende l'acquisizione del rumore del motore (in quanto si riferisce al solo rumore del rotolamento);
- permette di acquisire informazioni puntuali ma estesi su una tratta intera.

Per poter in seguito calcolare le immissioni acustiche, le misure con metodo CPX necessitano di una calibrazione puntuale con il metodo SPB. A tale scopo si devono effettuare 20-30 rilievi puntuali con metodo SPB.

### **5.7. Specifiche minime per la strumentazione di misura**

I microfoni sono sensibili alle condizioni ambientali come vento, pioggia o neve. Utilizzando microfoni adeguati per l'ambiente esterno è possibile proteggere il diaframma del microfono dagli influssi di tipo ambientale. Tipicamente un microfono per il monitoraggio in ambiente esterno è dotato di protezioni anti-uccello, di una protezione dal vento e di una copertura dalla pioggia, e tutti questi elementi sono parte integrante delle caratteristiche acustiche omnidirezionali del sistema.

Il livello minimo di pressione misurabile da un fonometro è raggiunto quando il livello sonoro emesso dal suo microfono coincide con il rumore di fondo del preamplificatore. Tale livello – limite inferiore della gamma dinamica – deve essere di 40 dB(A). Il limite superiore della gamma dinamica<sup>3</sup> deve essere di 110 dB(A).

Le risposte in frequenza (rapporto tra l'ampiezza della pressione acustica agente sul diaframma e quella del segnale elettrico generato dal microfono per diverse frequenze) devono essere tali da consentire la misura in un range di frequenza tra 20 Hz e 10 kHz.

La memoria del fonometro deve consentire la registrazione dei valori semiorari del livello equivalente, del suo spettro in terze di ottave, dei valori minimi e massimi e dei livelli percentili<sup>4</sup> L<sub>5</sub>, L<sub>10</sub>, L<sub>50</sub>, L<sub>90</sub>, L<sub>95</sub>, L<sub>99</sub> del livello equivalente. Al riguardo occorre rilevare che l'analisi statistica ha senso solo se realizzata con la costante di tempo FAST (125 ms), che con buona approssimazione corrisponde al tempo di risposta dell'udito umano.

Le centraline meteorologiche – ubicate per quanto possibile in prossimità della stazione fonometrica – devono pure permettere l'acquisizione dei dati su base semioraria. Per quanto attiene alla temperatura della pavimentazione è sufficiente una sua misura limitatamente ai periodi di misura "intensa" e può anche essere fatta con una tecnica termografica.

I conta-traffico devono consentire il rilievo dei passaggi semiorari suddivisi per carreggiata e per classi di veicoli (v. tabella 10).

---

<sup>3</sup> Il livello massimo di pressione misurabile dipende dalle caratteristiche di elasticità del diaframma che a partire da un certo limite introduce una distorsione

<sup>4</sup> Ad esempio L<sub>90</sub> indica il livello che si è superato durante il 90% del tempo.

	<b>Classe</b>
1	Autobus e pullman
2	Moto
3	Autovetture
4	Autovetture con rimorchio / roulotte
5	Furgoni
6	Furgoni con rimorchio
7	Furgoni con semirimorchio
8	Camion
9	Autotreno
10	Autocarri

**Tabella 10** *Categorie di veicoli.*

Durante i periodi di misura intensa i conta-traffico dovranno essere in grado di rilevare il traffico anche per singola corsia con le relative velocità.

### **5.8. Procedure di calibrazione**

Le calibrazioni sono necessarie per stabilire la relazione tra la pressione sonora e il segnale elettrico in uscita dal microfono. La calibrazione deve essere svolta con una frequenza di 1 kHz.

Le calibrazioni devono essere fatte a distanze di tempo regolare e perlomeno all'inizio di ogni campagna di misura. I risultati delle calibrazioni permetteranno di scartare i dati in caso di esiti negativi e rappresentano – assieme alla scelta luogo e al set-up della misura – un'importante base per l'ottenimento di dati grezzi di qualità.

Al fine di garantire un'elevata confrontabilità dei dati misurati dai diversi enti toccati dai corridoi di traffico è raccomandabile organizzare periodicamente (ogni 2 anni) delle campagne comparative, durante le quali si potranno svolgere delle calibrazioni ad anello, durante le quali le strumentazioni utilizzate dalle diverse regioni vengono portate in un luogo – idealmente in prossimità di un rilevatore automatico del traffico – dove misurano in parallelo in condizioni identiche (v. distanza e altezza dei microfoni) il rumore lungo un asse stradale.

Un simile metodo di confronto dei sistemi di misura permetterebbe di individuare ed eliminare gli errori sistematici.

Eventuali misure con il metodo CPX dovrebbero essere effettuate con un medesimo sistema di misura (stesso carrello, stesso sistema di acquisizione con medesimo set di parametri, ...).

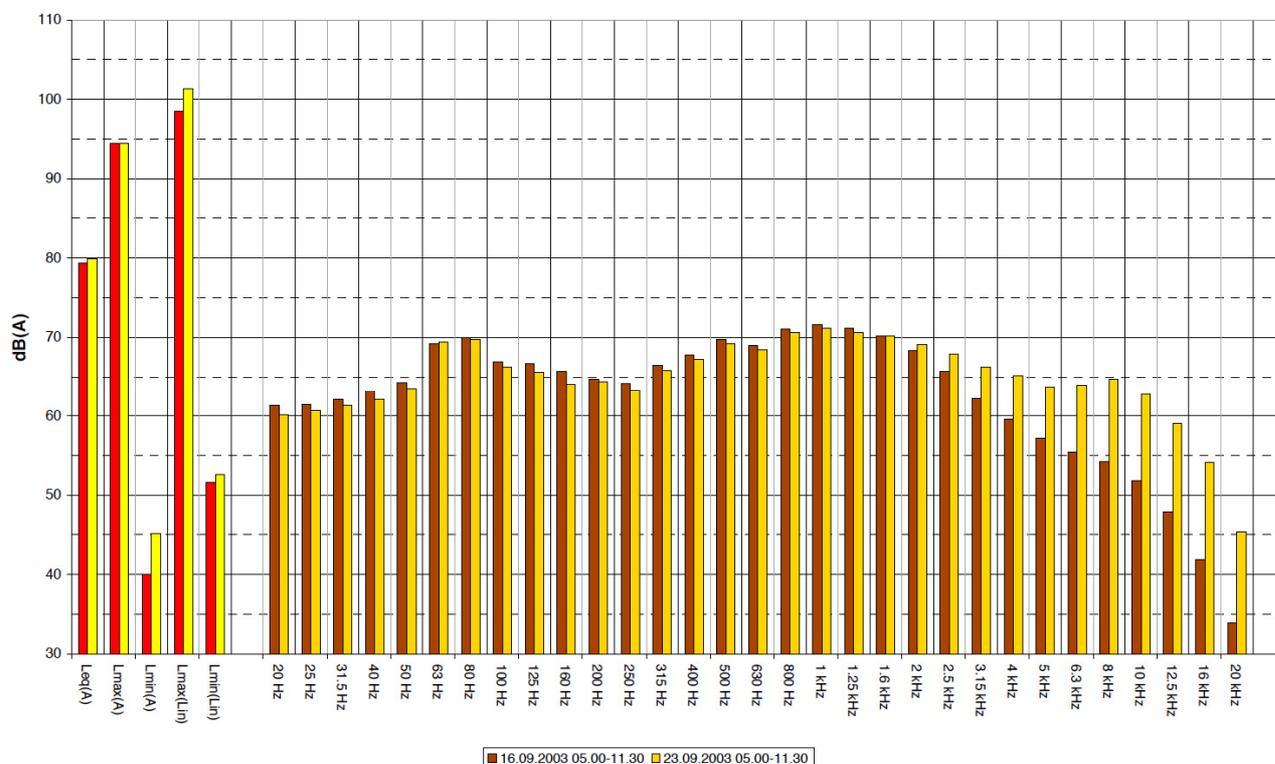
### **5.9. Validazione dei dati acquisiti per i livelli sonori**

Dopo l'acquisizione sarà necessario procedere alla validazione dei dati. Poiché le linee guida si orientano al monitoraggio in diretta prossimità dell'asse stradale la procedura di validazione dovrà riguardare i 3 aspetti discussi di seguito.

#### **5.9.1. *Alterazioni dovute ad eventi atmosferici significativi***

In caso di precipitazioni atmosferiche, quali pioggia e neve, o in caso di vento con velocità superiore ai 5 m/s i dati acquisiti non saranno ritenuti validi e non potranno essere utilizzati ai fini delle

successive analisi. Casi di pioggia possono essere verificati direttamente dai dati. Infatti, come illustrato nel grafico della figura 11, la differenza del livello sonoro misurato a 1 kHz e a 10 kHz si riduce di molto in caso di asfalto bagnato. Più precisamente se questa differenza è inferiore a 15 dB(A) si può affermare che si è in presenza di asfalto bagnato.



**Figura 11: Confronto dei livelli sonori e dei relativi spettri per 2 giorni feriali con asfalto asciutto (16.09.2003) e bagnato (23.09.2003) ma con intensità di traffico quasi uguali [16]. I dati sono stati rilevati presso la stazione di misura di Moleno sul corridoio del San Gottardo.**

### 5.9.2. Alterazioni significative dovute ad interruzioni del traffico

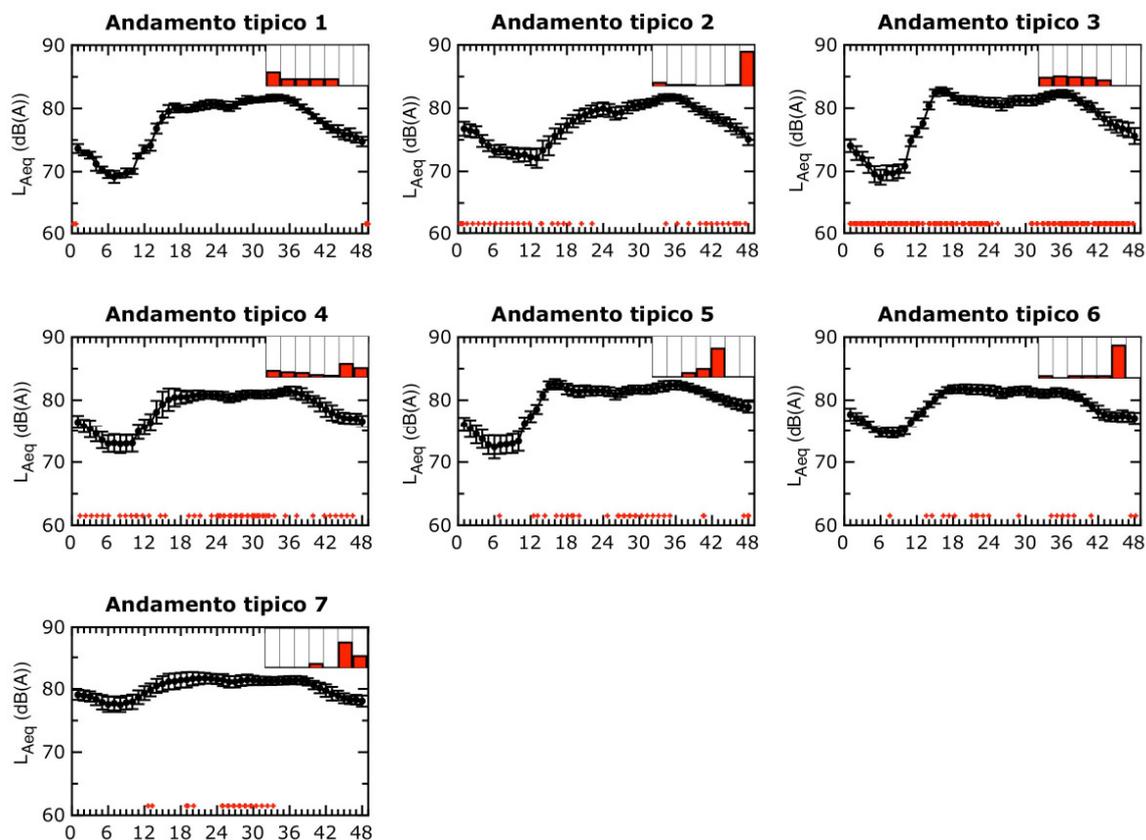
Queste tipologie di alterazioni andranno gestite attraverso la valutazione dei dati di traffico rilevati, o acquisiti dai gestori delle infrastrutture, per verificarne l'effettivo contributo sui valori di rumorosità a lungo termine.

### 5.9.3. Alterazioni significative nel profilo orario dei $L_{Aeq}$

Alterazioni significative dei livelli sonori causate da eventi non riconducibili al traffico veicolare sono individuate dai singoli operatori. A tale scopo ci si può avvalere delle serie di dati storici dalle quali si possono ricavare dei livelli statistici (minimi e massimi) con i quali confrontare i dati.

Nell'ambito del progetto di Osservatorio ambientale della Svizzera italiana (OASI, [21]) è stata elaborata una metodologia che consente di ricavare gli andamenti tipici dei livelli sonori a partire dalle serie storiche di dati. Nella figura 12 sono illustrati i risultati per Camignolo sulla carreggiata Nord-Sud. Si riconoscono ad esempio degli andamenti tipici dei giorni feriali (n. 3), del sabato (n. 6), della domenica (n. 2) e del venerdì sera (n. 5).

Simili andamenti tipici – che nel caso di set di dati limitati o “a spot” si ricavano in maniera più semplice senza un algoritmo di clustirazione, bensì calcolando il giorno tipo per giorni simili (feriali invernali, feriali estivi, festivi invernali, festivi estivi, ...) – possono essere facilmente impiegati per individuare eventuali alterazioni significative dei livelli sonori nel profilo orario causate da eventi di natura eccezionale. Simili dati dovranno essere esclusi dalle analisi successive.



**Figura 12: Andamenti tipo dei livelli sonori ( $L_{Aeq}$ ) ricavati dalle serie storiche di Camignolo (asse San Gottardo) in direzione Nord-Sud (2004). Il piccolo grafico nell'angolo superiore destro indica i giorni della settimana nei quali l'andamento tipo viene riscontrato (la prima colonnina si riferisce al lunedì, la seconda al martedì fino alla settima della domenica). Le crocette in basso indicano il giorno dell'anno durante il quale si è riscontrato il giorno tipo: a tale scopo l'asse delle ascisse è stato suddiviso in 365 unità; sulla sinistra si trovano quindi i giorni di gennaio mentre a destra quelli di dicembre.**

## 5.10. Gestione dei dati

Al fine di poter raccogliere i dati in maniera strutturata in un sistema informativo centralizzato i risultati delle misure devono essere forniti in una forma adeguata. Più precisamente dovranno essere inseriti in un foglio excel tenuto separatamente per ogni punto di misura e il cui nome "**DATI\_FONOMETRICI\_Strade\_Nomevalico\_#.xls**" indica esplicitamente il corridoio di transito (valico alpino), dove "#" sta per il numero progressivo della misura, come ad es.:

DATI\_FONOMETRICI\_Strade\_Courmayeur SS26 Valle d'Aosta\_1.xls.

INFORMAZIONI GENERALI SINGOLO PUNTO DI MISURA	
Asse	
Comune	
Nome strada	
Proprietario infrastruttura	
Punto di riferimento (km)	
Posizione della Centralina: coordinata x	
Posizione della Centralina: coordinata y	
Lato stradale (est, ovest)	
Descrizione punto di misura	
Numero corsie per senso di marcia	
Velocità massima consentita	
Tipologia manto stradale (AC 6, AC 8, ..., AMR 4, ACMR 6, ... SMA 6, SMA 8, ..., MA, OB, ...)	
Categoria manto stradale (asfalto drenante, asfalto colato, beton, ...)	
Anno posa manto stradale	
Pendenza (%)	
Dettagli profilo (in trincea, in rilevato, a raso)	
Distanza (d) del microfono dal centro della strada (in metri)	
Altezza relativa del microfono rispetto all'infrastruttura (in metri)	
Presenza di ostacoli nel percorso di propagazione	
Strumento di misura rumore	
Piano / Foto	

**Promemoria:**

schede di scrittura

schede da incollare dati

**Figura 13: Foglio excel dedicato alle informazioni generali del singolo punto di misura.**

Il documento excel si suddivide in 4 fogli (sheets).

Il primo foglio "INFORMAZIONI" (v. figura 13) è dedicato alle informazioni generali del singolo punto di misura. Esso presenta le esigenze minime precisate al capoverso 9 della linea guida.

Il secondo foglio "DATI\_DI\_BASE" deve essere compilato con i dati relativi al rumore previsti dal capoverso 10 della linea guida e normalizzati a 20 m di distanza tra centro strada e microfono e a 4 m di altezza, i dati dei conteggi del traffico (numero di veicoli e velocità per corsia e categoria di

veicoli) e i dati meteo (temperatura dell'aria e asfalto). Nell'ultima colonna della tabella si devono indicare i dati "anomali" (con una "x").

Le corsie (C) sono numerate in ordine crescente da ovest a est; ossia nel caso di 4 corsie: la 1 è la corsia normale verso Sud, la 2 è corsia di sorpasso verso Sud, la 3 è la corsia sorpasso verso Nord e la 4 è corsia di normale verso Nord.

Nei 2 restanti fogli (v. Capitolo 6) i risultati delle misure sono riassunti in forma tabellare ("SOMMARIO\_T") e grafica ("SOMMARIO\_G").

### 5.11. Schema riassuntivo modalità di misura

Le principali modalità operative relative alla misura del rumore stradale sono riassunte nella tabella 11.

Tipologia rilievo	Durata in giorni	Posizione	Condizioni	Intervallo registrazione dati	Esigenze per il campionamento	Eventi anomali
Dati rumore	7-14	h = 4 m, d = 20 m	Campo libero	30 min	Costante di tempo FAST	A cura dei tecnici
Dati meteo	7-14	In prossimità della centralina fonometrica	-	30 min	Secondo le caratteristiche delle centraline	
Dati traffico	7-14	In prossimità della centralina fonometrica	-	30 min	Secondo le caratteristiche delle centraline	

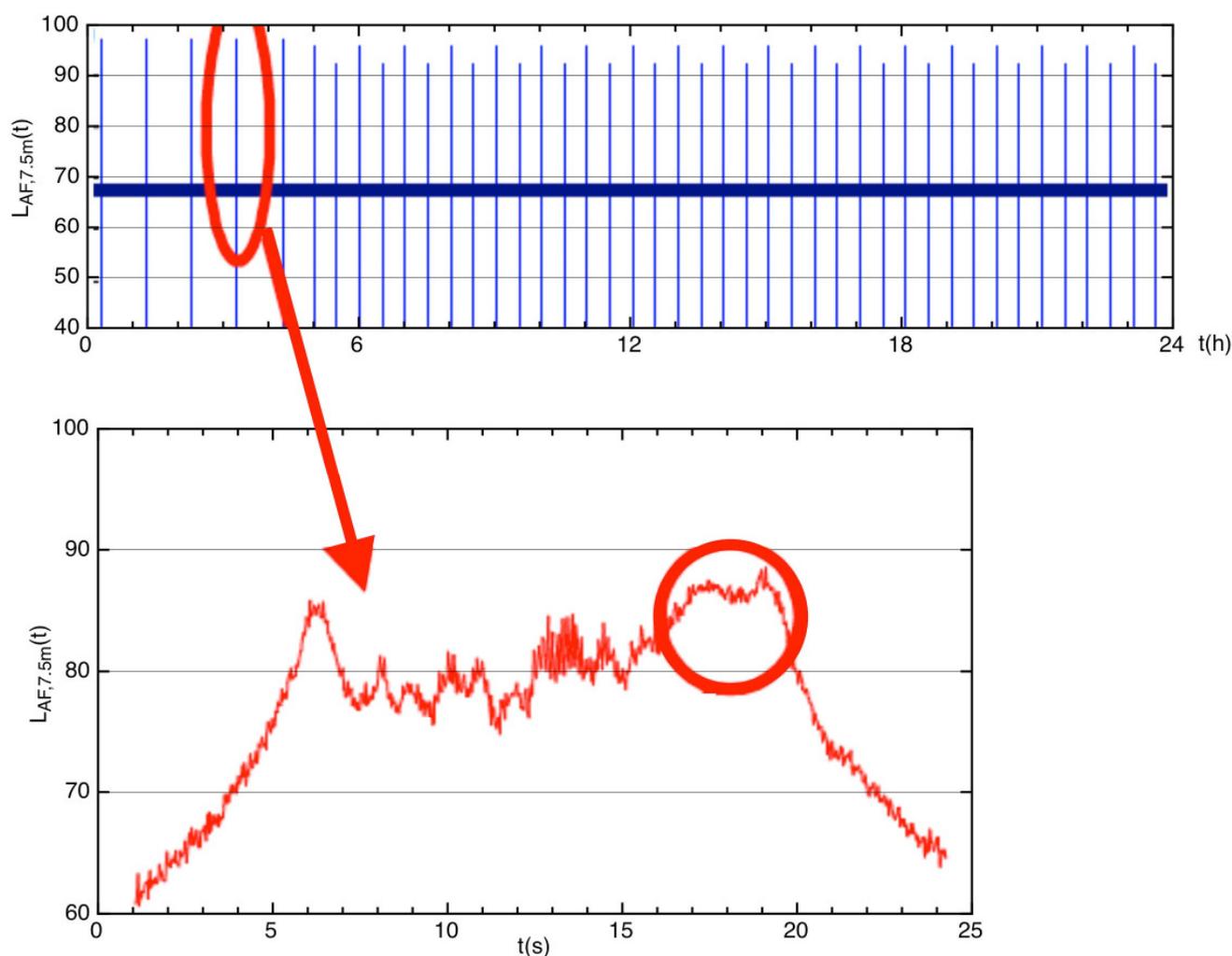
**Tabella 11 Riassunto delle modalità di misura del rumore stradale e delle grandezze correlate (meteo, traffico).**

## 6. Commento alle linee guida per il monitoraggio del rumore ferroviario

In analogia al rumore stradale, anche le linee guida per il monitoraggio del rumore ferroviario sono strutturate in 10 capitoli principali, ognuno dei quali si compone di più cifre. Di seguito sono commentati i diversi capitoli, dove per aspetti comuni si rimanda al corrispondente capitolo della linea guida per il monitoraggio del rumore stradale (v. capitolo 5).

### 6.1. Scopo delle linee guida

Come nel caso del rumore stradale, le linee guida per il monitoraggio del rumore ferroviario pongono al centro la determinazione dell'emissione acustica. Esistono tuttavia delle importanti differenze rispetto al rumore di un asse stradale che hanno delle ripercussioni sulle modalità di caratterizzare l'emissione. Il rumore stradale è caratterizzato da un segnale più continuo rispetto a quello ferroviario che si compone di una serie di eventi (v. figura 14, grafico in alto), all'interno dei quali (v. figura 14, grafico in basso) il livello sonoro può ancora variare a seguito del diverso rumore dei vagoni che compongono un convoglio ferroviario.



**Figura 14: Esempi di monitoraggio lungo un asse ferroviario: il livello sonoro  $L_{Aeq}$  calcolato su tutti i treni passati durante 24 h è di ca. 67 dB(A) (v. grafico superiore); valutato sul singolo passaggio il livello  $L_{Aeq}$  è di ca. 80 dB(A).**

Il livello di emissione sonora può essere calcolato per ogni pezzo di storia utilizzando i tempi dei passaggi. Nella figura 15 sono illustrate alcune nozioni ricorrenti nella linea guida. Il livello sonoro massimo  $L_{AF,max}$  è il valore massimo del livello di pressione sonora ponderato A misurato con costante di tempo FAST durante un passaggio.

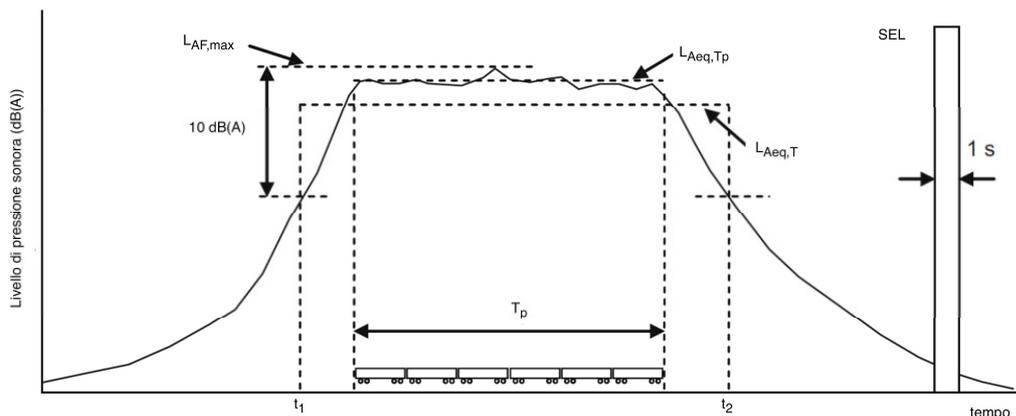
Il livello di esposizione sonora (SEL) è calcolato integrando il quadrato della pressione sonora e normalizzando su 1 s

$$SEL = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{1s} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right).$$

Il SEL rappresenta il livello sonoro che si avrebbe se tutta l'energia sonora venisse emessa in 1 s.

Il livello di esposizione durante il passaggio del treno (Transit exposure level, TEL) è ancorato nella norma ISO 3095 e si ricava dal livello sonoro misurato a 7.5 m dall'asse del binario e a un'altezza di 1.2 m con lo stesso integrale del SEL (cioè sull'intero passaggio incluse le code), ma normalizzato sul tempo di passaggio ( $T_p$ ):

$$TEL = SEL - 10 \cdot \log(T_p).$$



**Figura 15: Nozioni relative al rumore generato dal passaggio di un convoglio ferroviario della durata  $T_p = v/L$  ( $v =$  velocità e  $L =$  lunghezza del treno). L'intervallo di tempo ( $t_2-t_1$ ) rappresenta la durata dell'evento, cioè il tempo durante il quale  $L_{AF} \geq L_{AF,max} - 10 \text{ dB(A)}$  e può essere calcolato nel modo seguente:  $t_2-t_1 = T_p + 0.06 \cdot d$ , dove  $d$  è la distanza dell'osservatore.**

Il valore del TEL dipende fortemente dalla velocità del convoglio ferroviario. Al fine di poter confrontare il valore di emissione di diversi treni e di punti di misura caratterizzati da una diversa velocità di passaggio, è necessario normalizzare i valori a una velocità unitaria di riferimento. Normalmente tale velocità è posta a 80 km/h e il rispettivo valore del TEL viene indicato con l'abbreviazione TEL 80. Visto che i treni passeggeri viaggiano a velocità molto maggiori viene anche utilizzato il TEL 120 (ossia il valore del TEL riferito a una velocità di 120 km/h).

Diversi fattori concorrono a determinare la dipendenza dalla velocità. Le seguenti formule di conversione vengono utilizzate a questo scopo:

$$TEL_{80} = TEL - 30 \cdot \log(v/80)$$

$$TEL_{120} = TEL - 30 \cdot \log(v/120),$$

dove  $v$  è la velocità effettiva di percorrenza.

## **6.2. Localizzazione dei punti monitoraggio**

Come nel caso del rumore stradale, si distinguono 2 aspetti fondamentali: la scelta dei luoghi di monitoraggio lungo l'infrastruttura e le esigenze (geometriche) da rispettare nella posa dei microfoni.

### **6.2.1. Scelta del luogo di misura lungo la ferrovia**

Una condizione fondamentale per l'ottenimento di dati *grezzi di qualità* è determinata dall'*ambiente acustico* nell'area di misura. In particolare nell'area triangolare compresa tra il binario e il microfono che si estende lungo il binario a una distanza doppia rispetto alla distanza del microfono da ciascuno dei lati, il sito delle prove dovrebbe essere tale da consentire la libera propagazione del suono. Per raggiungere tale risultato quest'area deve essere libera da materiale fonoassorbente (ad esempio, neve, vegetazione alta) o copertura riflettente (ad esempio, acqua, ghiaccio, asfalto o cemento). Inoltre, un'area circostante i microfoni con un raggio pari ad almeno 3 volte la distanza di misurazione dovrà essere libera da oggetti riflettenti di grandi dimensioni quali barriere, colline, rocce, ponti o edifici.

Sempre per garantire una buona qualità dei dati grezzi occorre accertarsi che il rumore proveniente da altre fonti (ad esempio, altri veicoli o stabilimenti industriali e provocato dal vento) non influenzi in modo significativo le misurazioni. Il valore massimo di  $L_{Aeq,T=20s}$  del rumore di fondo in corrispondenza della postazione microfonica deve essere almeno 10 dB(A) inferiore ai valori di  $L_{AFmax}$ .

Al fine di ottenere dei dati *validi, rappresentativi e riproducibili*, i punti di misura devono essere scelti ponendo attenzione ai seguenti criteri:

- velocità di percorrenza,
- tipo di rotaia,
- tipo di traversina.

Inoltre per garantire una buona qualità dei dati grezzi nella scelta del luogo di misura si dovrà porre attenzione ai seguenti aspetti:

- la velocità dei convogli è in buona approssimazione costante,
- la distanza da opere strutturali come ponti è superiore ai 100 m;
- la distanza da semafori è superiore a 1000 m;
- qualsiasi curvatura dei binari deve avere un raggio di almeno 1'500 m;
- localmente non ci devono essere scambi;
- nella sezione di misura non ci devono essere giunti di rotaia (rotaia saldata), difetti visibili sulla superficie (come bruciature della rotaia, corrosione a fori o sporgenze causati dalla compressione di materiale esterno tra la ruota e la rotaia): non dovrebbe essere presente alcun rumore d'impatto percepibile dovuto a saldature o traversine allentate.

### **6.2.2. Ubicazione del microfono a lato della ferrovia**

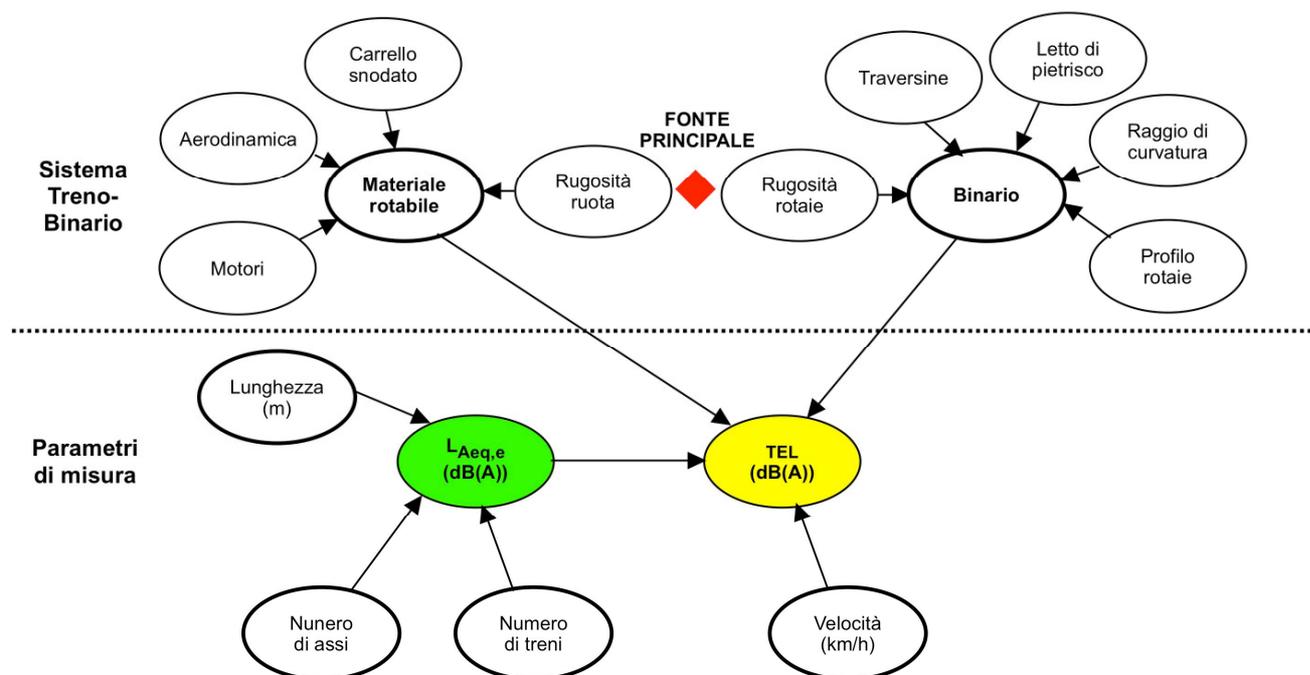
Come stabilito dalla norma ISO 3095 [12], il microfono deve essere posizionato ad una distanza di 7.5 m dal centro del binario e ad un'altezza di 1.2 m al di sopra del livello superiore dei binari.

### 6.3. Durata e frequenza delle misure

Ai fini della caratterizzazione dell'emissione acustica della sorgente la misura deve essere di durata settimanale (minimo 4-5 giorni per ovviare ad eventuali eventi straordinari, correlati ad esempio alla meteorologia), e ripetuta durante l'anno in modo da garantire un monitoraggio a stagione (4 rilievi annuali).

### 6.4. Dati da acquisire

È necessario in primo luogo acquisire i dati relativi alle caratteristiche dell'infrastruttura oggetto di monitoraggio in corrispondenza del punto di rilievo: corridoio di traffico, comune, coordinate, lato della misura (Est o Ovest) e descrizione del luogo. Altre informazioni riguardano la ferrovia vera e propria: il tipo di binario, il tipo di traversine e la velocità lungo il tratto di misura. Si tratta di aspetti che influenzano direttamente l'emissione acustica (v. figura 17).



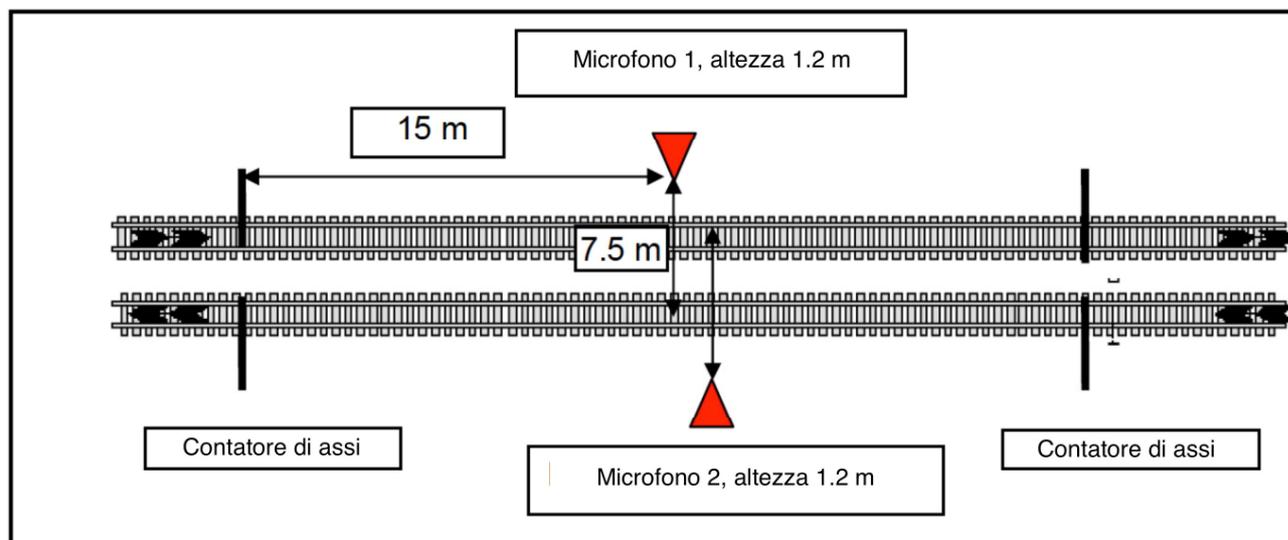
**Figura 16: Sistema treno - rotaia e parametri del monitoraggio [7].**

Molto importante è il tipo di treno. Durante il periodo di monitoraggio occorre rilevare le frequenze dei treni per tipo, mentre al di fuori di questi periodi saranno sufficienti delle informazioni relative alle frequenze medie, suddivisi per i diversi periodi della giornata (day, evening, night).

Per quanto attiene alla velocità, considerato che essa può variare da treno a treno, nel limite del possibile è importante misurarla direttamente. Nota la velocità, la lunghezza dei convogli può essere calcolata sulla base del tempo di passaggio  $T_p$ . Un altro parametro importante, perché strettamente correlato alle emissioni foniche, è rappresentato dal numero di assi dei convogli. Tutti questi parametri – compreso il tipo di treno – possono essere determinati utilizzando dei contattori di asse.

La situazione di un luogo di misura completamente attrezzato è illustrata nella figura 17. I costi<sup>5</sup> per la realizzazione di una simile stazione di misura si aggirano attorno ai 120'000.- CHF, di cui ca. la metà sono da attribuire ai costi di costruzione lungo i binari (v. in particolare messa in sicurezza).

Quale alternativa meno onerosa, ma anche meno completa, per l'identificazione dei convogli è possibile richiedere ai gestori del tratto ferroviario oggetto del monitoraggio i tabulati con i transiti.



**Figura 17: Situazione di un luogo di misura del rumore ferroviario con contatori di assi [7]**

La misura del rumore viene avviata al superamento di una soglia prestabilita e avviene con costante di tempo FAST in maniera da poter determinare il profilo temporale  $L_{AF}(t)$  dei singoli transiti, dal qual ricavare gli istanti  $t_1$  e  $t_2$  (hh:mm:ss) d'inizio rispettivamente di fine dell'evento, la durata del passaggio, il livello sonoro  $L_{Aeq}$ , il livello di esposizione sonora SEL e calcolare il "transit exposure level" (TEL).

Le centraline meteorologiche – ubicate per quanto possibile in prossimità della stazione fonometrica – devono nel limite del possibile permettere l'acquisizione dei dati (temperatura dell'aria e precipitazioni) durante il passaggio (su base semioraria). Sul binario non devono essere presenti ghiaccio, brina o altri prodotti derivati dal congelamento dell'acqua.

### **6.5. Calcolo dei descrittori acustici**

A partire dei livelli di esposizione sonora dei singoli eventi ( $SEL_i$ ) si calcolano i descrittori acustici  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  e  $L_{den}$  come illustrato al capitolo 5 della linea guida. Tali indicatori – essendo determinati dalla totalità dei passaggi – descrivono in maniera complessiva l'impatto acustico lungo un asse ferroviario. Essi permettono anche di raffrontare due diversi corridoi ferroviari e di seguire l'evoluzione nel tempo dell'inquinamento fonico distinguendo per le diverse fasce orarie.

### **6.6. Caratterizzazione delle rotaie**

Come illustrato schematicamente nella figura 16, l'emissione sonora di un convoglio in transito è determinata in larga parte dal rumore di rotolamento prodotto dall'interazione ruota/rotaia in funzione della velocità. Il rumore di rotolamento a sua volta è prodotto dalla **rugosità** combinata della ruota e

<sup>5</sup> Comunicazione privata Matthias Brechbühl

della rotaia e dal comportamento dinamico del binario e della sala montata. Per questo motivo è raccomandabile eseguire una misura della rugosità delle rotaie in prossimità del punto di misura. La rugosità può essere descritta da un unico indicatore  $L_{ACA}$  (in dB) [10] che considera la rilevanza delle diverse lunghezze d'onda nella generazione del rumore ed è quindi strettamente correlato all'emissione sonora. La determinazione di questo indicatore è un'importante premessa per confrontare le misure svolte in diversi luoghi.

### 6.7. Specifiche minime per la strumentazione di misura

Per i fonometri valgono le stesse esigenze espone più dettagliatamente per il monitoraggio del rumore stradale. In particolare la gamma dinamica deve essere compresa tra 40 dB(A) e 110 dB(A) e le risposte in frequenza devono consentire la misura in un range di frequenza tra 20 Hz e 10 kHz.

Per un'analisi del rumore generato dal passaggio dei convogli la misura con la costante di tempo FAST (125 ms).

Le centraline meteorologiche devono permettere l'acquisizione dei dati su base semioraria.

Il conta-assi – se impiegato – deve consentire il rilevamento e la registrazione dei parametri della tabella 12. Per **singolo passaggio** si dovrà poter disporre delle seguenti informazioni:

- velocità del convoglio;
- durata di passaggio del convoglio;
- numero di assi del convoglio;
- tipo di treno.

Questi dati devono essere completati con quelli necessari a descrivere **l'insieme dei passaggi**:

- traffico ferroviario in entrambe le direzioni nei diversi periodi della giornata (giorno, sera e notte);
- velocità media;
- durata media del passaggio.

Parametro	Indicazioni sul parametro	Osservazione
Data	(dd:mm:yyyy)	Data del passaggio
Tempo	(hh:mm:ss)	Orario del passaggio
Velocità	(km/h)	
Durata del passaggio	(s)	
Lunghezza treno	(m)	Calcolata
Numero di assi		
Tipo di treno	Treno passeggeri Treno merci Treno di servizio Non definito	Determinazione sulla base del numero di assi per sala montata.

**Tabella 12 Parametri rilevabili con conta-assi.**

### 6.8. Procedure di calibrazione

Le calibrazioni devono essere fatte in maniera analoga a quanto esposto per il rumore stradale a distanze di tempo regolare (per es. ogni 24 h) e perlomeno all'inizio di ogni campagna di misura. I risultati delle calibrazioni permetteranno di scartare i dati in caso di esiti negativi e rappresentano – assieme alla scelta luogo e al set-up della misura – un'importante base per l'ottenimento di dati grezzi di qualità.

Al fine di garantire un'elevata confrontabilità dei dati misurati dai diversi enti toccati dai corridoi dal rumore ferroviario è raccomandabile organizzare periodicamente (ogni 2 anni) delle campagne comparative, durante le quali si potranno svolgere delle calibrazioni ad anello con *misure in parallelo e calibrazione con uno stesso segnale* (cfr. 5.8).

### **6.9. Validazione dei dati acquisiti per i livelli sonori**

Gli eventi sonori non attribuibili al traffico ferroviario oppure caratterizzati da fenomeni accidentali potranno essere individuati sulla base dell'orario in cui si è verificato l'evento (v. concomitanza con il passaggio di un convoglio) e dall'esame dei profili temporali.

I valori di  $L_{Aeq}$  corrispondenti a transiti di convogli ferroviari invalidati da eventi eccezionali devono essere sostituiti dal valore medio aritmetico di  $L_{Aeq}$  calcolato su tutti i restanti transiti. Tuttavia, ai fini della validità del valore di  $L_{Aeq}$  nel periodo di riferimento (day/evening/night) il numero di transiti di convogli ferroviari invalidati da altri fenomeni rumorosi non deve superare il 10% del numero di transiti.

Dovranno essere esclusi i livelli sonori misurati con influenza di eventi atmosferici rumorosi quali temporali, pioggia battente, forte vento (con velocità superiore ai 5 m/s) o valutarne il contributo alla rumorosità al fine di ottenere correttamente quello della sorgente indagata.

### **6.10. Gestione dei dati**

I dati misurati devono essere raccolti in una forma adeguata per consentire lo scambio di dati e il confronto degli stessi tra gli enti preposti al monitoraggio. Più precisamente dovranno essere inseriti in un foglio excel tenuto separatamente per ogni punto di misura e ogni passaggio e il cui nome "**DATI\_FONOMETRICI\_BASE\_Ferrovie\_Nomevalico\_#.xls**" indica esplicitamente il corridoio di transito (valico alpino), dove "#" sta per il numero progressivo della misura, come ad es.:

DATI\_FONOMETRICI\_BASE\_Ferrovie\_Frejus\_1.xls.

Il documento excel si suddivide in 2 fogli (sheets). Il primo foglio "INFORMAZIONI" (v. figura 18) è dedicato alle informazioni generali del singolo punto di misura. Esso completa le esigenze minime precisate al capoverso 9 della linea guida. Nel secondo foglio "DATI\_DI\_BASE" vengono nelle celle bianche inserite le informazioni sul passaggio del treno (data, ora, tipo di treno, velocità, numero di assi e lunghezza del treno) mentre nelle celle gialle vengono copiati i dati misurati ( $L_{AF}$  (dB(A))). Per un esempio si rimanda al capitolo 7.1.

Per un sommario dell'intera campagna di misura i valori calcolati (per  $T_p$ , SEL, TEL e TEL 80) con questo file excel dovranno essere inseriti nel file sommario:

**"DATI\_FONOMETRICI\_SOMMARIO\_Ferrovia\_Nomevalico\_#.xls "**,

che dovrà essere tenuto separatamente per ogni campagna di misura. Questo file si compone pure di più fogli. Nel primo sono riprese le informazioni generali del punto di misura, mentre nel secondo ("RISULTATI") nelle celle bianche sono inserite i risultati di ogni singola misura, come illustrato nella figura 19.

Nel terzo foglio ("SOMMARIO") sono calcolati i descrittori acustici  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  e  $L_{den}$  e rappresentati sia in forma tabellare che grafica.

INFORMAZIONI GENERALI SINGOLO PUNTO DI MISURA	
Asse	
Comune	
Nome ferrovia	
Proprietario infrastruttura	
Punto di riferimento (km)	
Posizione della Centralina: coordinata x	
Posizione della Centralina: coordinata y	
Lato binario (est, ovest)	
Descrizione punto di misura	
Numero di binari	
Velocità massima consentita	
Materiale traversine	
Letto del binario	
Rugosità rotaia LACA (dB)	
Pendenza (%)	
Dettagli profilo (in trincea, in rilevato, a raso)	
Distanza (d) del microfono dal centro del binario (in metri)	
Altezza relativa del microfono rispetto all'infrastruttura (in metri)	
Presenza di ostacoli nel percorso di propagazione	
Strumento di misura rumore	
Piano / Foto	

**Promemoria:**

schede di scrittura

schede da incollare dati

**Figura 18: Foglio excel dedicato alle informazioni generali del singolo punto di misura del rumore della ferrovia.**

DA COMPILARE CON I DATI MISURATI CON COSTANTE DI TEMPO **FAST** NORMALIZZATI A 7.5 M DI DISTANZA DAL CENTRO DEI BINARI E A 1.2 M DI ALTEZZA (MISURATA DAL LIVELLO SUPERIORE DEI BINARI) E IN CONDIZIONI DI CAMPO LIBERO. DA ESCLUDERE DATI ANOMALI

N. Passaggio	Data (gg.mm.aaaa)	Ora passaggio (hh:mm:ss)	Tipo di treno	Durata passaggio Tp (s)	SEL (dB(A))	TEL (dB(A))	TEL 80 (dB(A))
1	16.10.2010	09:28:00	Treno passeggeri	5.75	81.2	62.1	65.9
2	17.10.2010	07:00:00		7.00	81.2	62.1	65.9
3	18.10.2010	19:00:00		6.50	81.2	62.1	65.9
4	20.10.2010	23:00:00		7.50	81.2	62.1	65.9
5	21.10.2010	23:30:00		5.75	81.2	62.1	65.9
6							
7							
8							

**Figura 19: Foglio excel dedicato al riassunto dei risultati ottenuti per i singoli passaggi.**

### 6.11. Schema riassuntivo modalità di misura

Le principali modalità operative relative alla misura del rumore ferroviario sono riassunte nella tabella 13.

Tipologia rilievo	Durata in giorni	Posizione	Condizioni	Esigenze per il campionamento	Eventi anomali
Dati rumore	7-14	h = 7.5 m, d = 1.2 m	Campo libero	Costante di tempo FAST	A cura dei tecnici
Dati meteo	7-14	In prossimità della centralina fonometrica	-	Secondo le caratteristiche delle centraline	

**Tabella 13 Riassunto delle modalità di misura del rumore ferroviario.**

## 7. Applicazione

### 7.1. Strumenti di supporto

Di seguito sono illustrati alcuni esempi di utilizzo degli strumenti di supporto.

Il foglio "DATI\_DI\_BASE" del file "DATI\_FONOMETRICI\_Strade\_Nomevalico\_#.xls" è stato riempito con i dati misurati a Camignolo (asse del San Gottardo) durante le prime due settimane del mese di settembre 2011. Per i dati del rumore sono stati presi quelli in direzione Sud e sono stati normalizzati a 10 m di distanza tra ciglio strada e microfono e a 4 m di altezza (le misure avvengono a 6.5 m di distanza e a 3.2 m di altezza).

La figura 20 mostra i contenuti del terzo foglio ("SOMMARIO\_T") del file excel. I risultati delle misure sono riassunti per mezzo di descrittori acustici:  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  e  $L_{den}$ . Per gli stessi periodi sono pure riportati il numero di veicoli leggeri (VL) e pesanti (VP) transitati con le rispettive velocità.

Data	Day (07-19)					Evening (19-23)					Night (23-07)					Den				
	Lday	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Velocità media veicoli leggeri	Velocità media veicoli pesanti	Levening	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Velocità media veicoli leggeri	Velocità media veicoli pesanti	Lnight	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Velocità media veicoli leggeri	Velocità media veicoli pesanti	Lden	Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Velocità media veicoli leggeri	Velocità media veicoli pesanti
(ggrmm/aaaa)	dB(A)	Numero	Numero	km/h	km/h	dB(A)	Numero	Numero	km/h	km/h	dB(A)	Numero	Numero	km/h	km/h	dB(A)	Numero	Numero	km/h	km/h
01.09.2011	81.3	41838	3939	114	94	78.7	7419	373	121	92	74.6	5548	452	121	98	78.2	54903	4779	118	94
02.09.2011	81.1	45495	3529	116	97	79.8	8927	265	120	97	75.5	7071	434	121	98	78.1	62404	4529	118	97
03.09.2011	81.0	50804	1533	116	97	78.6	8591	102	113	99	77.0	8910	388	120	96	78.0	68305	2003	117	97
04.09.2011	80.4	36908	317	110	95	78.8	7516	44	120	105	75.0	6117	71	115	96	77.4	50541	452	113	97
05.09.2011	81.4	39506	3516	114	95	77.7	5711	439	121	93	75.2	5825	524	115	95	78.4	51069	4479	116	95
06.09.2011	80.9	38508	4580	115	94	77.9	5992	393	121	91	74.2	5097	518	120	97	77.9	49597	5491	118	94
07.09.2011	81.0	40341	4476	115	95	78.3	6559	396	121	93	74.4	5036	464	122	99	78.0	52306	5339	119	96
08.09.2011	80.9	42986	4323	115	94	78.6	7642	419	120	95	74.4	5664	515	121	99	77.9	55472	3257	118	96
09.09.2011	80.9	45873	3764	115	95	79.5	10445	286	120	100	78.4	7155	478	121	96	77.9	63473	4528	118	96
10.09.2011	80.8	49232	1610	116	94	78.4	8438	91	120	96	76.4	8534	381	121	97	77.7	66304	2082	119	95
11.09.2011	79.8	40415	296	120	106	79.0	8261	72	119	99	74.8	6527	79	121	100	78.8	55233	447	120	103
12.09.2011	80.7	39010	3814	116	97	77.2	5439	357	122	96	74.5	5690	554	119	97	77.7	50139	4725	118	97
13.09.2011	80.8	37448	4339	116	96	77.8	5578	388	122	96	73.8	4657	478	124	95	77.7	47683	5005	119	95
14.09.2011	81.1	39156	4539	115	94	77.9	5821	364	122	100	74.2	4886	508	121	98	78.1	49663	5411	118	95

Figura 20: Foglio excel "SOMMARIO\_T" con il riassunto in forma tabellare dei valori misurati.

Nel 4 foglio ("SOMMARIO\_G") gli stessi dati sono rappresentati in forma grafica.

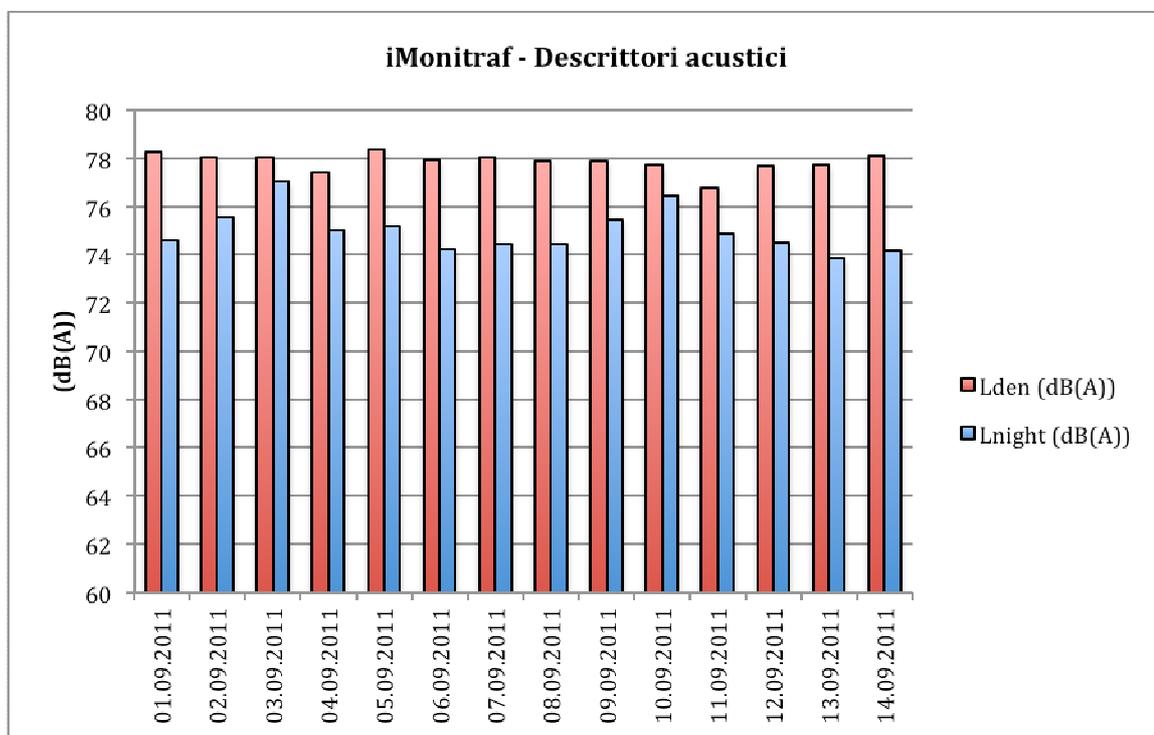
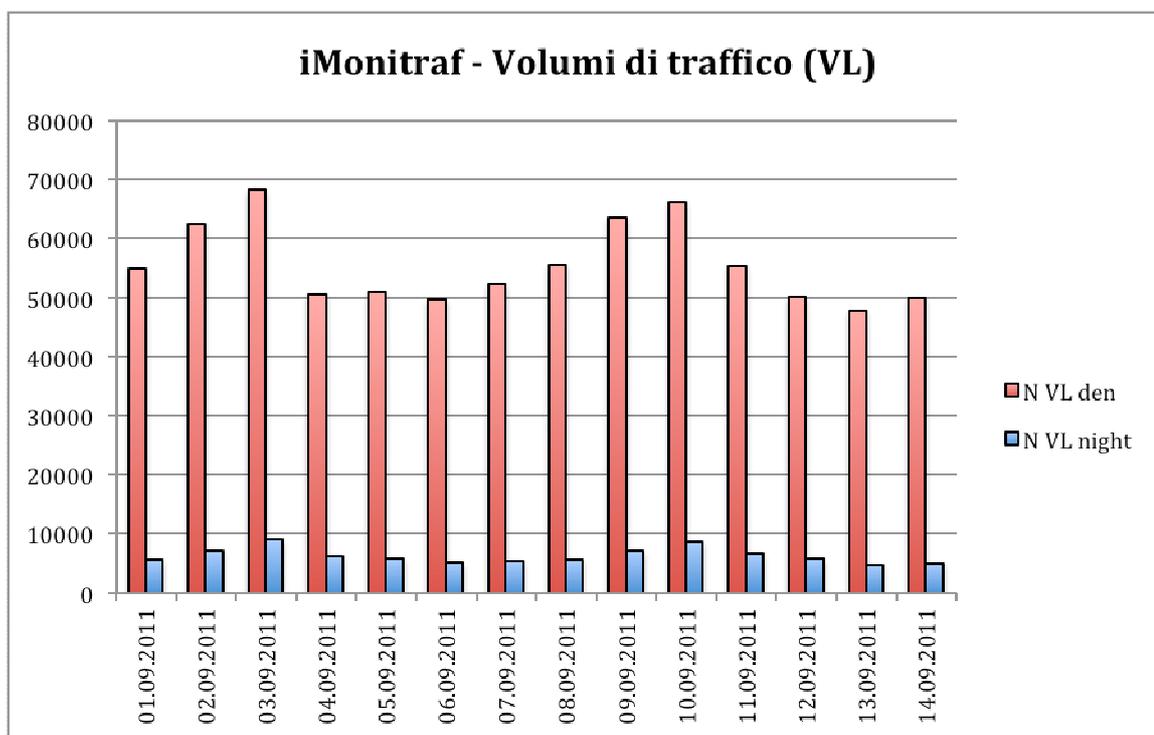


Figura 21: Grafico estratto dal foglio excel "SOMMARIO\_G" con i descrittori acustici  $L_{den}$  e  $L_{night}$ . I valori massimi di  $L_{night}$  si riferiscono alle giornate di sabato.

Nella figura 21 è illustrato a titolo di esempio il grafico dei descrittori acustici  $L_{den}$  e  $L_{night}$  misurati durante le prime 2 settimane di settembre (2011) a Camignolo. Un simile grafico permette delle osservazioni interessanti sul rumore. Esso evidenzia ad esempio come  $L_{den}$  sia pressoché lo stesso ad eccezione della domenica (cfr. 4 e 11 settembre 2011), quando si registrano i valori più bassi (ca. -1.5 dB(A)). Di notte ( $L_{night}$ ) si osservano invece più variazioni nei dati con i valori più elevati registrati al sabato (ca. +2.0 dB(A)). Questo fenomeno è da ricondurre al maggior traffico notturno (+50%) causato dalle discoteche (v. figura 22).



**Figura 22: Grafico estratto dal foglio excel "SOMMARIO\_G" con i volumi di traffico giornalieri (den) e notturni (night).**

Per illustrare il file "DATI\_FONOMETRICI\_BASE\_Ferrovia\_Nomevalico\_#.xls" il suo foglio "DATI\_DI\_BASE" è stato riempito con i dati misurati a Caslano lungo la tratta Ponte Tresa - Lugano (16 ottobre 2010, 09:28). Come illustrato nella figura 23, a partire dai dati misurati (copiati nelle celle gialle) il foglio calcola automaticamente la durata del passaggio ( $T_p$ ), il livello di esposizione sonora (SEL) e il livello di esposizione durante il passaggio del treno (TEL e TEL 80).

I livelli sonori ( $L_{AF}$ ) misurati durante il passaggio sono pure rappresentati graficamente assieme a una linea orizzontale al di sopra della quale si trovano i dati del passaggio utilizzati per il calcolo dei livelli di esposizione. L'altezza di questa linea è determinata sottraendo 10 dB(A) dal valore massimo della media scivolata calcolata su 5 valori (consecutivi).

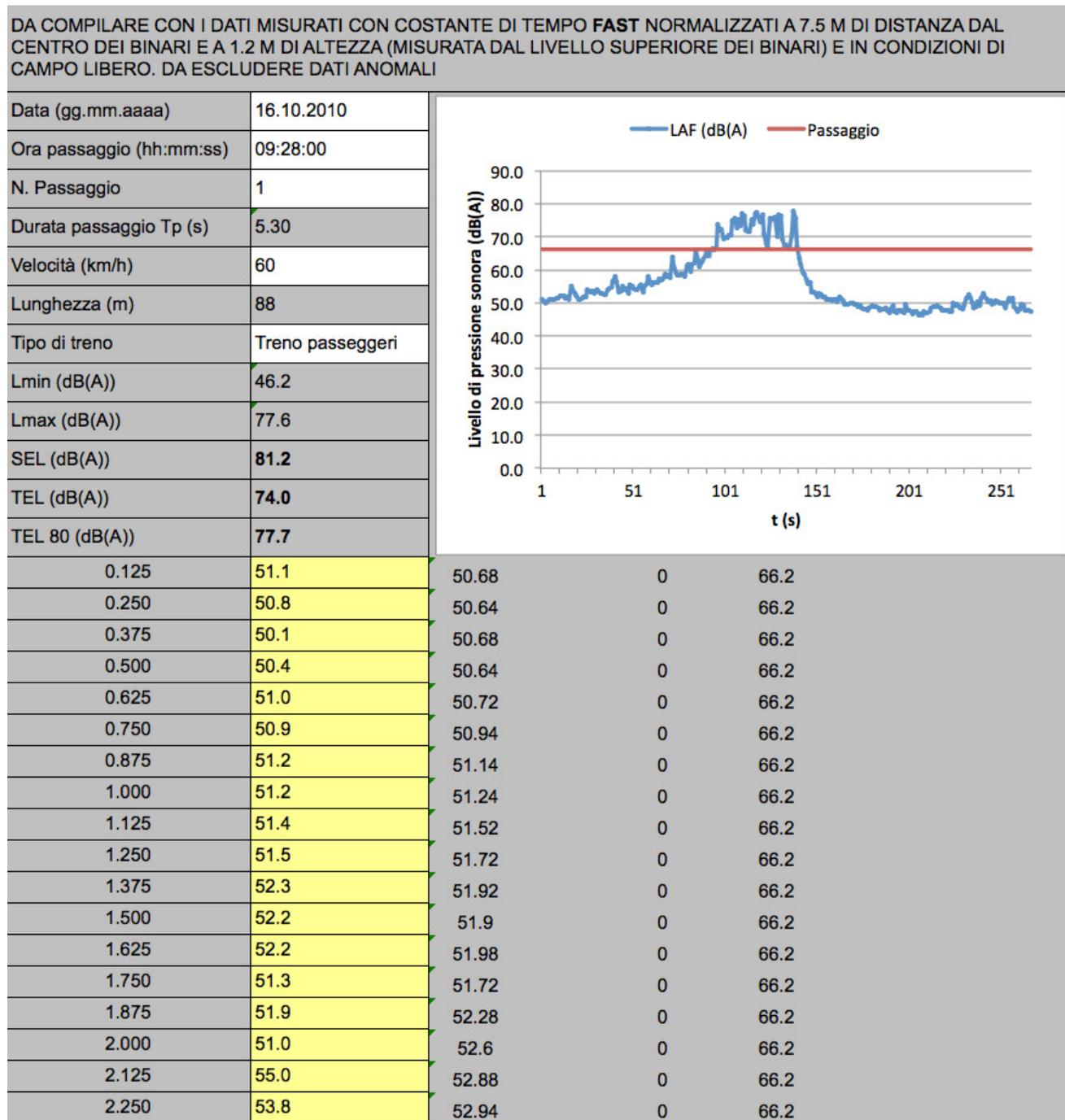


Figura 23: Foglio excel "DATI\_DI\_BASE" con il riassunto in forma tabellare e grafica dei valori misurati durante un evento.

## 7.2. Esempi di applicazione

In questo capitolo si vuole invece mostrare il potenziale di un monitoraggio eseguito secondo le presenti linee guida.

In Svizzera il rumore del traffico ferroviario è monitorato dal 2003 in 6 punti fissi. I dati ottenuti con queste centraline assieme a quelli ricavati con una stazione mobile a partire dal 2009 hanno permesso di ottenere alcune importanti conoscenze sulle caratteristiche e l'evoluzione del rumore ferroviario. A titolo di esempio nella figura 24 è illustrata la distribuzione di frequenza dei TEL 80 misurati a Steinen nel 2003 e nel 2010 per treni passeggeri. Essa mostra in maniera esemplare l'evoluzione del materiale rotabile dei treni passeggeri: la quota dei convogli rumorosi è diminuita drasticamente e sempre più numerosi sono i treni con basse emissioni. Nel luogo di misura questa evoluzione è ben osservabile grazie alle rotaie che sono rimaste lisce durante l'intero periodo.

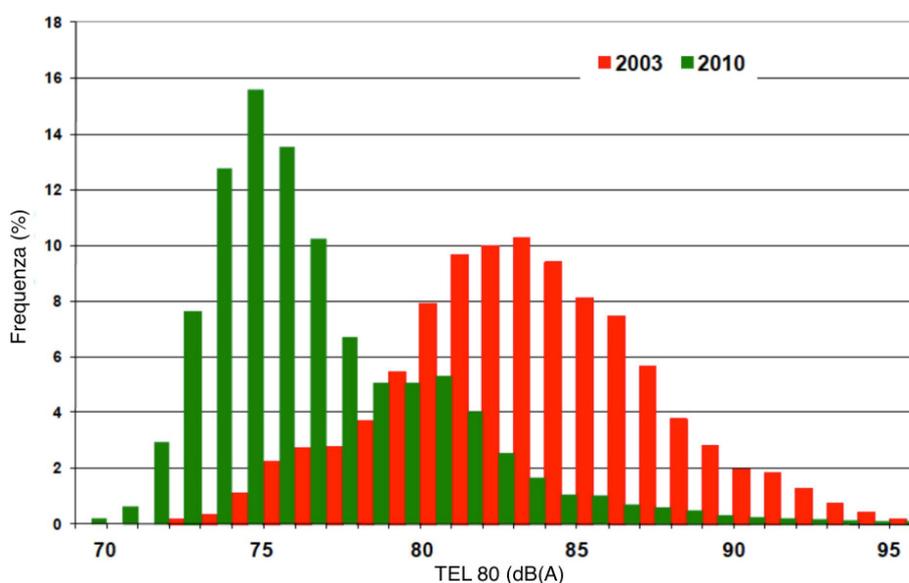


Figura 24: Distribuzione di frequenza del TEL 80 a Steinen per treni passeggeri nel 2003 e 2010 [7].

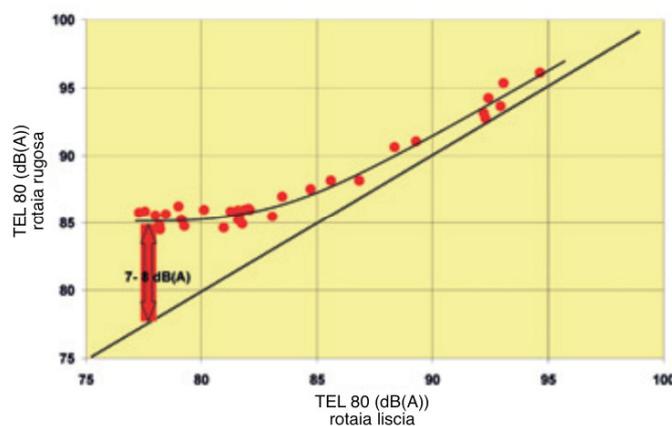
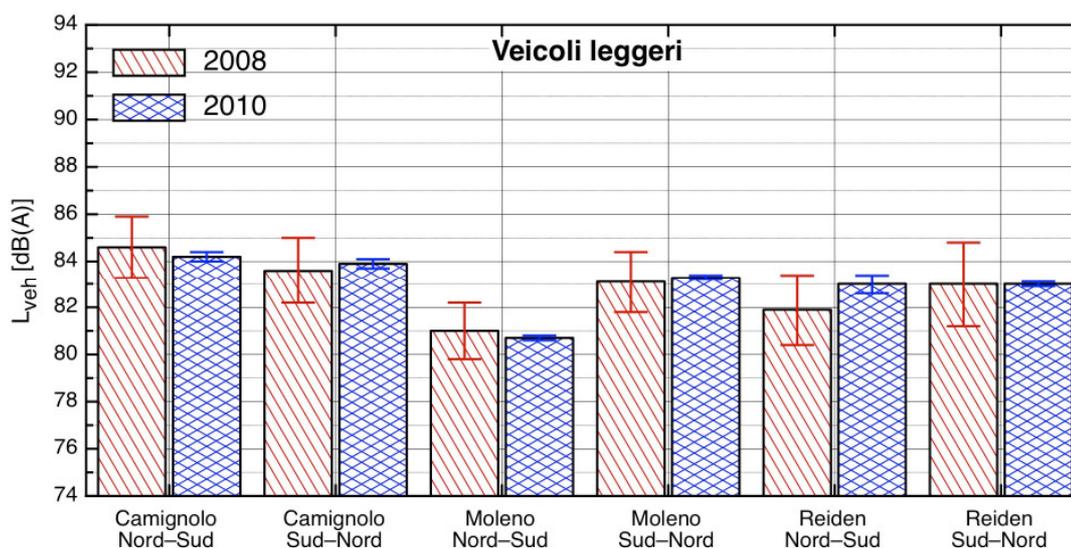


Figura 25: Livello di esposizione durante il passaggio del treno (TEL) normalizzato a 80 km/h per gli stessi treni: il valore ottenuto per una rotaia rugosa ( $L_{A,CA} = 8.7$ ) è rappresentato in funzione di quello misurato per una rotaia liscia ( $L_{A,CA} = 2.3$ ).

Un altro esempio riguarda l'effetto della rugosità della rotaia sul rumore [22]. Esso è stato studiato misurando il rumore prodotto dai treni in prossimità di un binario con rotaie rugose ( $L_{\lambda,CA} = 8.7$ ) e il rumore prodotto dagli stessi treni alcune centinaia di metri più in là dove le rotaie sono state rettificate ( $L_{\lambda,CA} = 2.3$ ). Nella figura 25 i livelli di esposizione durante il passaggio del treno normalizzati a 80 km/h (TEL 80) rilevati in prossimità delle rotaie rugose sono riportati in funzione di quelli misurati in prossimità delle rotaie lisce per gli stessi treni. Si osserva come per convogli rumorosi (livelli di esposizione elevati) tra i TEL 80 misurati nei 2 punti sussista una stretta correlazione: al diminuire del livello di esposizione nel punto con la rotaia liscia diminuisce anche quello in prossimità della rotaia rugosa. Ciò tuttavia avviene fino a una certa soglia a partire dalla quale la curva si appiattisce. Al di sotto di questa soglia l'impiego di materiale rotabile poco rumoroso non avrà più alcun effetto se la rotaia è in cattive condizioni.

Anche una pavimentazione stradale degradata può limitare il potenziale di riduzione di altri provvedimenti di riduzione dell'inquinamento fonico e provocare a parità di traffico maggiori emissioni foniche [20]. Ciò è quanto si è potuto osservare grazie a misure periodiche eseguite secondo il metodo SPB (cfr. capitolo 5.6). Come si può osservare nella figura 26 – dove sono riportati i livelli di rumorosità media  $L_{veh}$  dei singoli veicoli misurati – a Moleno (lungo l'asse del San Gottardo) in senso Nord-Sud il livello di rumorosità medio dei veicoli leggeri è di ca. 2 dB(A) inferiore a quello in senso opposto.



**Figura 26: Evoluzione (2008-2010) dei livelli di rumorosità media ( $L_{veh}$ ) dei veicoli leggeri misurati nelle stazioni fisse di monitoraggio del progetto svizzero MfM-U [20].**

Gli esempi qui esposti illustrano il potenziale di un monitoraggio coordinato lungo i diversi corridoi di traffico separatamente per strada e ferrovia. È tuttavia importante rilevare che un simile monitoraggio permette di seguire l'effetto combinato "strada-ferrovia" sull'inquinamento acustico, che può essere di grande interesse ad esempio nel caso di un trasferimento modale.