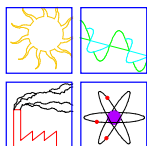


*Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500*

---



**Collana Tecnico-Scientifica**  
*diretta da Giorgio Galli*

Quaderno n. 13

**FEDERICO ROSSI, ANDREA NICOLINI, CINZIA TOSTI**

**MISURE DEL RUMORE PRODOTTO DA UNA  
MACCHINA DI MANOVRA FERROVIARIA  
D.245 E A BORDO DI UN TRENO ETR500**

*Aprile 2001*



Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento da Agenti Fisici

---

## INDICE

Autori.....	pag. 4
Riassunto .....	pag. 6
Abstract.....	pag. 7
Introduzione .....	pag. 8

### **PARTE PRIMA – Valutazione delle emissioni acustiche in cabina di guida di un treno ETR500**

1. Strumentazione di misura .....	pag. 9
2. Modalità di misura.....	pag. 9
3. Risultati delle misure fonometriche .....	pag. 14
4. Conclusioni .....	pag. 32

### **PARTE SECONDA – Valutazione delle emissioni acustiche allo scarico di una macchina di manovra D.245**

1. Strumentazione di misura .....	pag. 35
2. Modalità di misura.....	pag. 37
2.1 Misure intensimetriche.....	pag. 37
2.1 Misure fonometriche .....	pag. 40
3. Risultati delle misure intensimetriche .....	pag. 41
4. Risultati delle misure fonometriche .....	pag. 50

5. Conclusioni .....pag. 63

Elenco dei simboli.....pag. 66

Riferimenti bibliografici.....pag. 67

## **Autori**

### *Federico Rossi*

Nato a Città di Castello (PG) nel 1966, si è laureato in Ingegneria Elettronica nel 1992, Ricercatore di Fisica Tecnica Ambientale dal 1997. E' autore di circa 40 pubblicazioni nel campo delle proprietà termofisiche dei materiali, dell'acustica e della trasmissione del calore. E' docente dei Corsi di Fisica Tecnica e Proprietà Termofisiche dei Materiali presso il Corso di Laurea in Ingegneria dei Materiali dell'Università degli Studi di Perugia, sede di Terni. Svolge la propria attività di ricerca presso i Laboratori di Acustica e Termotecnica dal CIRIAF.

### *Andrea Nicolini*

Nato a Perugia nel 1972, si è laureato in Ingegneria Elettronica nel 1998, Dottorando di Ricerca in Fisica Tecnica Ambientale. Negli a.a. 1999/2000 e 2000/2001 ha svolto e sta svolgendo esercitazioni ai Corsi di Fisica Tecnica e Acustica Applicata della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Perugia e Fisica Tecnica del Corso di Laurea in Ingegneria dei Materiali a Terni.

### *Cinzia Tosti*

Nata a Firenze nel 1969, si è laureata in Ingegneria Elettronica nel 2000, è Titolare di Borsa di Studio in "Controllo Attivo del Rumore" presso l'Università degli Studi di Perugia e collabora con il CIRIAF dal 2000.

*Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500*

---

Dall'a.a. 2000/2001 svolge esercitazioni al Corso di Acustica Applicata della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Perugia

## **Riassunto**

*Nel presente lavoro è illustrata la metodologia utilizzata per caratterizzare i livelli di rumore prodotti da veicoli ferroviari; più precisamente, è stato valutato il campo acustico presente in cabina di guida di un treno ETR500 e le emissioni acustiche delle macchine di manovra D.245 verso l'ambiente esterno, con particolare riferimento alle emissioni del condotto di scarico. Le misure sono state effettuate per differenti velocità di rotazione del motore e per differenti condizioni di carico delle macchine; mediante misure di intensità sono state determinate potenza acustica e direttività nelle diverse condizioni di esercizio.*

*L'importanza della caratterizzazione del campo acustico all'interno della cabina di guida del treno ETR500 è accresciuta dalle recenti Normative in materia di sicurezza sul lavoro (626/94 e 277/91), che impongono limiti sulla dose di rumore a cui sono sottoposti i lavoratori.*

*I limiti stabiliti dalla legge (L. 447/95) sui massimi livelli di rumore ambientale rendono necessario valutare le emissioni acustiche dei motori diesel, prodotte dalle macchine di manovra ferroviarie, che sono causa di notevole disturbo: infatti le operazioni di manovra, eseguite anche durante le ore notturne, vengono effettuate all'interno delle stazioni ferroviarie, ubicate, in genere, nei centri abitati. Inoltre il rumore delle macchine di manovra è caratterizzato da valori elevati delle componenti a bassa frequenza, per le quali risulta spesso inefficace l'isolamento acustico degli edifici.*

## **Abstract**

*In the present work the methodology to characterize the produced railway vehicles noise levels is illustrated; in fact, the acoustic field in driving cabin of a train ETR500 and the acoustic emissions of D.245 maneuver machines towards external environment with particular reference to the exhaust emissions have been estimated. The measurements have been carried out for different engine speed and for different machine operation conditions; by intensity measures, acoustic power and directivity have been determined in various machine conditions. The importance of characterization of the acoustic field in driving cabin of train ETR500 has increased from the recent Norms about job security (626/94 and 277/91); these Norms impose limits on noise dose which the workers are subordinated. The limits on the maximum levels of environmental noise (established from the 447/95 law) oblige to estimate the diesel engine acoustic emissions, produced by the railway maneuver machines, that are remarkable cause of disturbance: in fact, the maneuver works, executed during the nocturnal hours, are carried out near railway stations, located near the towns. Moreover the maneuver machines are characterized from high noise levels to low frequency components, for which acoustic insulation of the buildings is often ineffective.*

## **Introduzione**

In data 29 Giugno 2000 è stata effettuata una campagna di misure fonometriche volta a valutare il campo acustico nella cabina di guida del treno ETR 500, in diverse condizioni operative.

Le misure sono state effettuate durante una Corsa Prova nella tratta ad alta velocità Arezzo – Orte, in presenza del tecnico competente Ing. Federico Rossi e degli operatori Ing. Andrea Nicolini e Ing. Cinzia Tosti.

In data 17 Novembre 2000 è stata effettuata una campagna di misure intensimetriche e fonometriche volta a valutare le emissioni acustiche delle macchine di manovra D.245 serie 2000 verso l'ambiente esterno, con particolare riferimento al condotto di scarico. Le misure sono state effettuate presso il deposito ferroviario della ITF di Siena, in presenza dei tecnici competenti Ing. Federico Rossi, Ing. Stefania Primieri e degli operatori Ing. Andrea Nicolini e Ing. Cinzia Tosti.

## **PARTE PRIMA – Valutazione delle emissioni acustiche in cabina di guida di un treno ETR500**

### **1. Strumentazione di misura**

Le misure sono state effettuate con un fonometro Bruel & Kjaer, modello 2260 Investigator BZ7206 matricola n° 2124600, conforme alla classe 1 delle norme EN 60651 e EN 60804. Il fonometro è equipaggiato con un microfono Bruel & Kjaer 4189, che soddisfa le norme EN 61094-1, EN 61094-2, EN 61094-3, EN 61094-4. Per la calibrazione del fonometro si è utilizzato un calibratore Bruel & Kjaer 4231 matricola n° 1859067, conforme alle norme CEI 29-4 (IEC 942).

La strumentazione fonometrica è stata tarata nelle seguenti date:

- Fonometro: 20/04/99, certificato SIT n° 9250-F (centro SIT n° 71/E);
- Calibratore: 19/04/99, certificato SIT n° 9250-C (centro SIT n° 71/E).

Il segnale di rumore percepito dal macchinista in cabina di pilotaggio è stato inoltre registrato su DAT (SONY TCD-D7) utilizzando un microfono di misura RION UC-53A ed un preamplificatore MESA mod. R31S.

### **2. Modalità di misura**

La calibrazione è stata effettuata, sia per il fonometro che per il

DAT, registrando un segnale di calibrazione sulla prima traccia del nastro mediante lo stesso calibratore descritto precedentemente. Il segnale di calibrazione utilizzato consiste in un tono puro di frequenza 1000 Hz a 94 dB.

Sia il microfono collegato al DAT per la registrazione del livello sonoro, sia quello utilizzato dal fonometro sono stati posizionati in corrispondenza della posizione occupata da un macchinista.

Inizialmente, sono state effettuate una serie di misure a treno fermo, per valutare il livello di rumore avvertito dal macchinista nelle seguenti condizioni di funzionamento:

- a) Chopper ausiliari accesi (situazione di minima rumorosità) – durata 30 secondi;
- b) Compressori inseriti – durata 30 secondi;
- c) Prova di trazione da fermo – durata 30 secondi;
- d) Condizionatore e chopper accesi (rumore di base) – durata 22 secondi.

Contemporaneamente, sono state registrate quattro tracce su DAT corrispondenti alle situazioni suddette.

Successivamente, l'ETR 500 è stato messo in movimento per percorrere la tratta Arezzo-Orte, durante la quale sono state eseguite cinque misure fonometriche della durata di dieci minuti ciascuna.

Durante la tratta, sono state registrate due tracce su DAT, tra le quali è stata inserita una pausa dovuta al fatto che il treno è stato fermo ad un bivio di interconnessione per circa cinque minuti.

Infine, alla Stazione di Orte, è stata effettuata un'ultima misura a

macchina calda nelle condizioni di massima rumorosità a treno fermo.

L'associazione tra gli eventi e l'orario delle misure fonometriche è riportata in tabella 1:

**Tabella 1:** associazione tra gli eventi e l'orario delle misure fonometriche

<b>ORARIO FONOMETRO</b>	<b>EVENTI</b>
	Calibrazione DAT
10:03:44-10:04:13	ETR fermo Misura 1 (Chopper on)
10:06:57-10:07:26	ETR fermo Misura 2 (Compressori on)
10:08:22-10:08:51	ETR fermo Misura 3 (Prova di trazione)
10:12:03-10:12:24	ETR fermo Misura 4 (Condizionatore e chopper on)
11:12:10	PARTENZA
11:12:50	Inizio misura 5
11:16:10	80 Km/h

*Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500*

---

11:17:10	Galleria (120 Km/h)
11:18:25	Località Olmo (100 Km/h)
11:19:25	Rallentamento per semaforo
11:19:55	Fischi
11:21:10	Quasi fermi al semaforo
11:21:58	Fermi ad un bivio Interconnessione + speaker
11:22:49 – 11:28:04	Pausa misure
11:28:04	Partenza dal bivio (Inizio misura 6)
11:29:10	Fermi
11:29:25	Partenza
11:31:00	Fischi (80 Km/h)
11:31:55	Fischi (140 Km/h)
11:32:40	160 Km/h
11:33:30	Incrociato altro treno
11:33:55	200 Km/h
11:34:25	Galleria (220 Km/h)
11:36:10	Galleria (230 Km/h)
11:37:50	240 Km/h

---

*Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500*

---

11:37:53	Galleria (fischio)
11:38:03 – 11:38:23	Pausa misure
11:38:23	Inizio misura 7
11:39:10	250 Km/h
	Calibrazione DAT
11:40:25	250 Km/h
11:42:10	Galleria (250 Km/h)
11:43:10	2 gallerie (250 Km/h)
11:44:10	Frenata lenta
11:45:30	220 Km/h
11:46:10	Frenata
11:47:30	Fine frenata (fermi)
11:47:55	Partenza
11:48:22 – 11:48:33	Pausa misure
11:48:33	Inizio misura 8
11:49:10	90 Km/h
11:50:40	Galleria (160 Km/h)
11:52:10	210 Km/h
11:53:40	250 Km/h
11:54:25	250 Km/h
11:54:55	250 Km/h
11:56:10	250 Km/h
11:56:25	Entrata galleria (250 Km/h)

---

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500

---

11:58:20	Uscita galleria (250 Km/h)
11:58:32 – 11:58:37	Pausa misure
11:58:37	Inizio misura 9
11:59:40	Apertura porta
12:00:31	Apertura porta
12:00:40	Incrociato altro treno
12:02:55	Rallentamento
12:04:10	100 km/h
12:05:25	Immissione linea a bassa velocità
12:08:10	80 km/h
12:08:36	Fine misure
12:08:55	30 km/h
12:10:10	Ingresso Stazione Orte
12:15:20-12:15:29	ETR fermo caldo Misura 10 (max rumore)

### 3. Risultati delle misure fonometriche

In tabella 2 sono riportati i valori medi del LAeq e del LLeq per ciascuna misura effettuata.

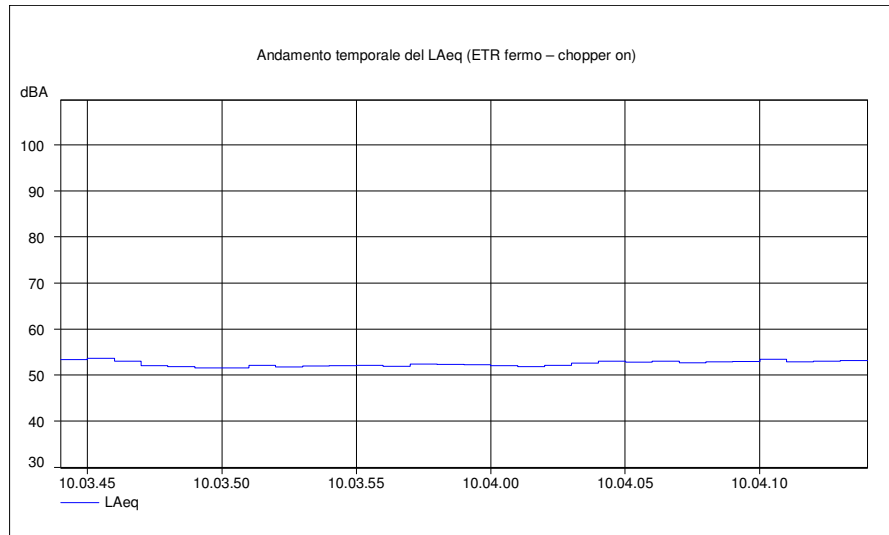
Inoltre, le misure con ETR in movimento sono state unite fra loro in

modo da poter valutare lo spettro medio del LAeq e i livelli statistici riferiti all'intera tratta percorsa.

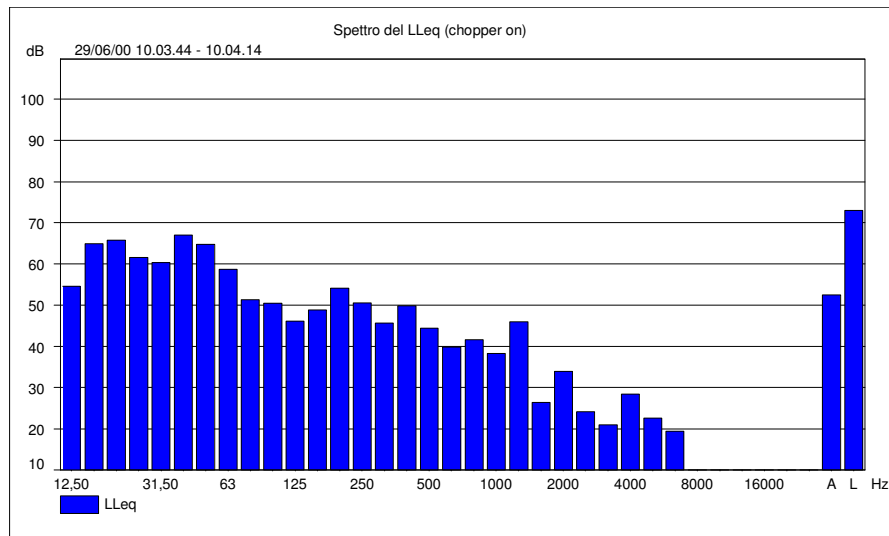
Nelle figure 1, 2, ....., 33 sono rappresentati rispettivamente l'andamento temporale del LAeq, lo spettro medio del LAeq e i livelli statistici ottenuti per ciascuna misura.

**Tabella 2:** *livelli medi di rumore misurati*

MISURA	LAeq (dBA)	LLeq (dB)
1 – ETR fermo (chopper on)	52.5	73.0
2 – ETR fermo (compressori on)	50.5	73.7
3 – ETR fermo (prova di trazione)	57.8	75.1
4 – ETR fermo (condizionatore e chopper on)	61.7	73.5
5 – ETR in movimento	80.1	93.6
6 – ETR in movimento	82.8	95.0
7 – ETR in movimento	80.9	98.4
8 – ETR in movimento	81.4	97.3
9 – ETR in movimento	82.7	98.5
ETR in movimento (unione misure 5, 6, 7, 8 e 9)	81.7	96.9
10 – ETR fermo a caldo	64.9	78.6



**Fig. 1:** andamento temporale del LAeq (ETR fermo - chopper on)



**Fig. 2:** spettro del LLeq (chopper on)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500

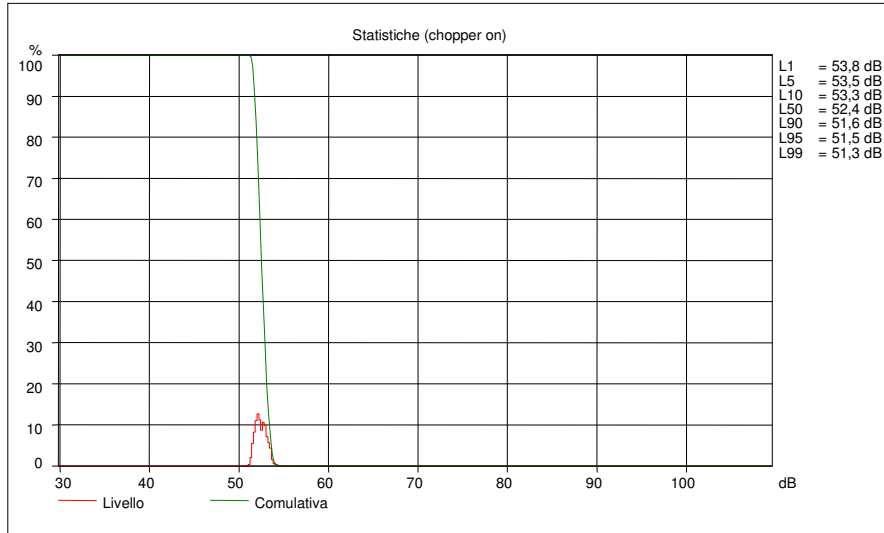


Fig. 3: statistiche (chopper on)

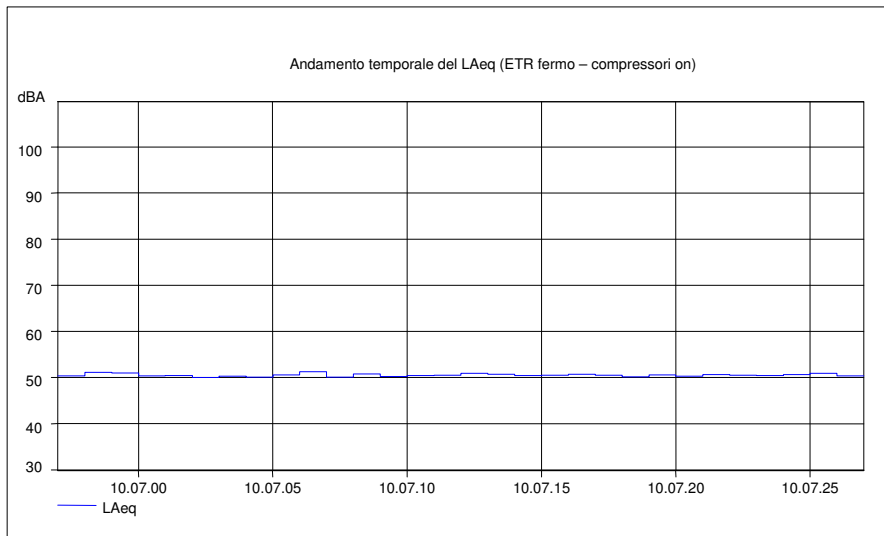


Fig. 4: andamento temporale del LAeq (ETR fermo - compressori on)

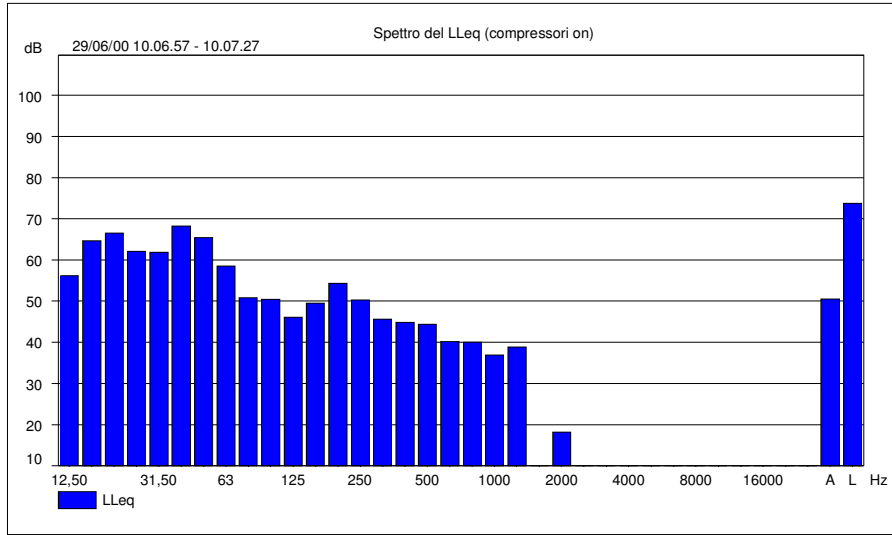


Fig. 5: spettro del LLeq (compressori on)

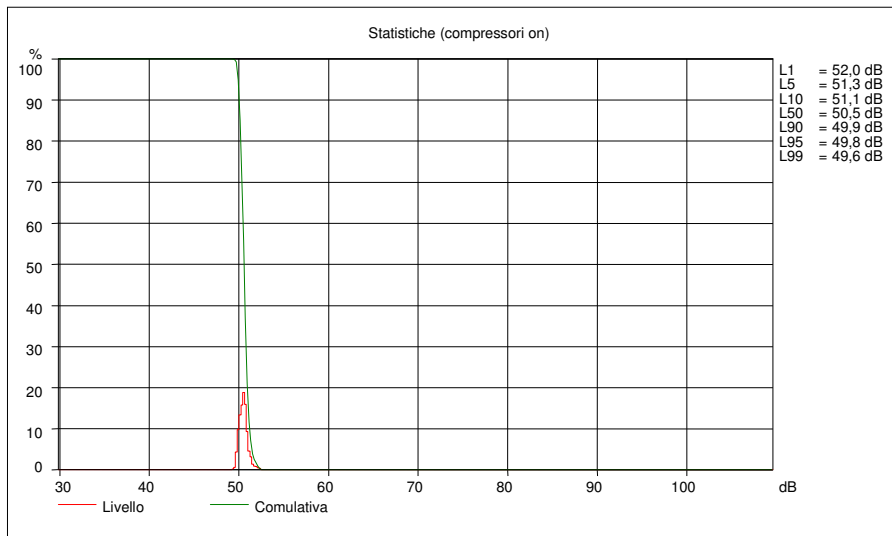
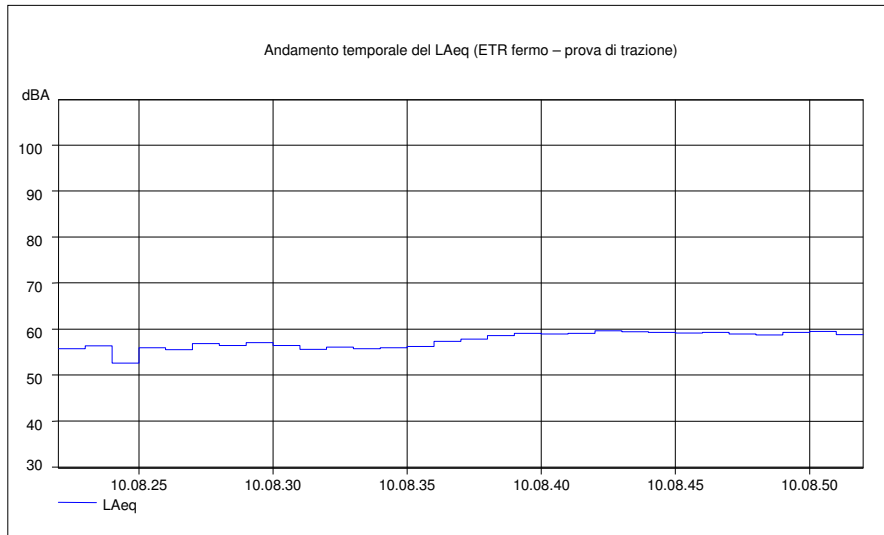
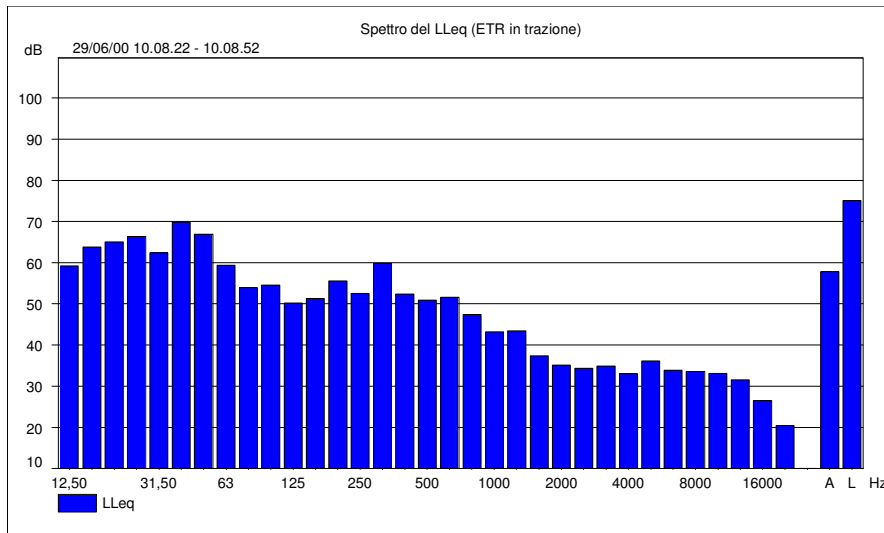


Fig. 6: statistiche (compressori on)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500

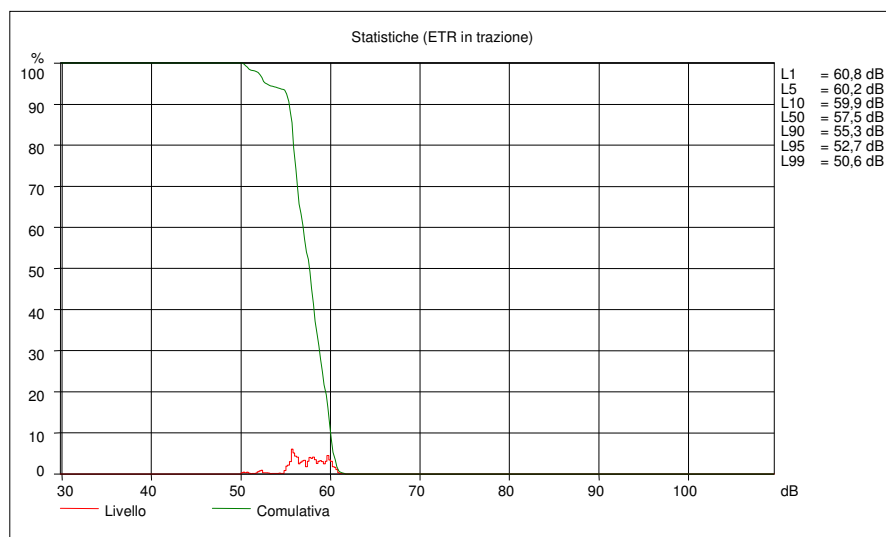


**Fig. 7:** andamento temporale del LAeq (ETR fermo – prova di trazione)

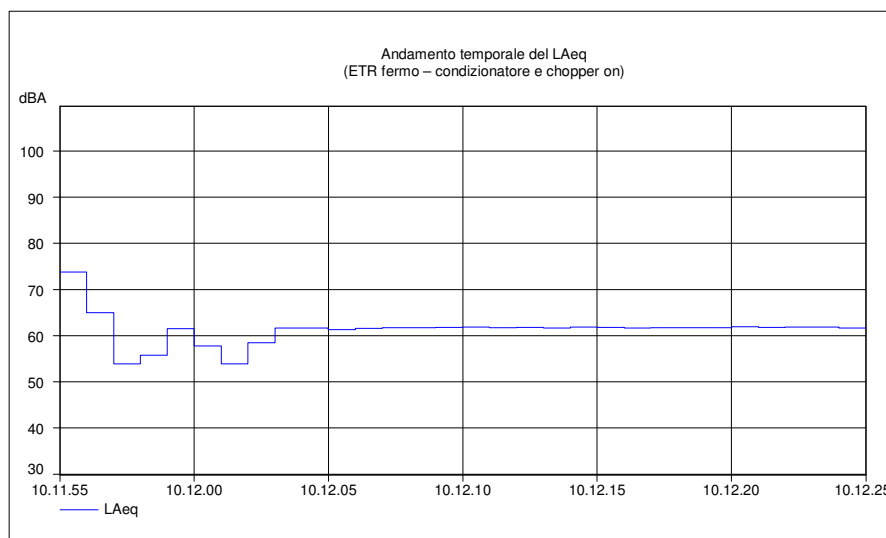


**Fig. 8:** spettro del LLeq (ETR in trazione)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500



**Fig. 9:** statistiche (ETR in trazione)



**Fig. 10:** andamento temporale del LAeq (condizionatore e chopper on)

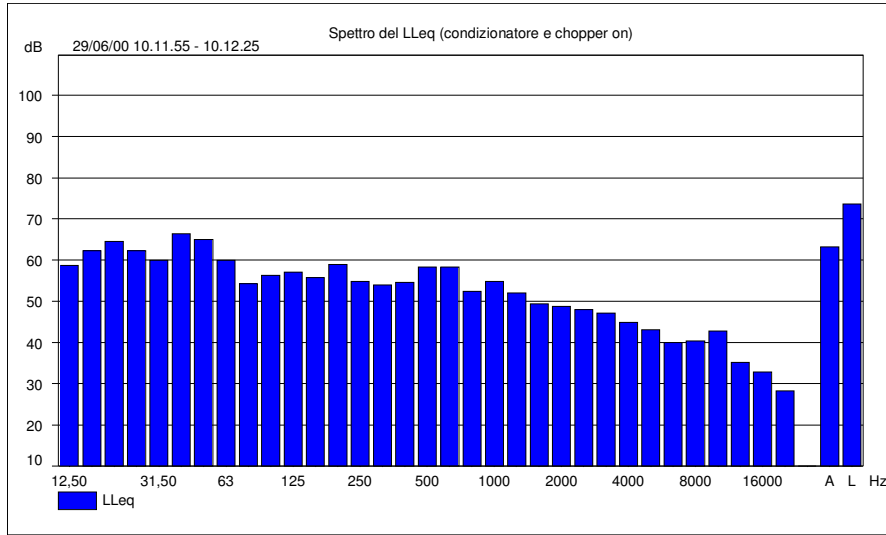


Fig. 11: spettro del LLeq (condizionatore e chopper on)

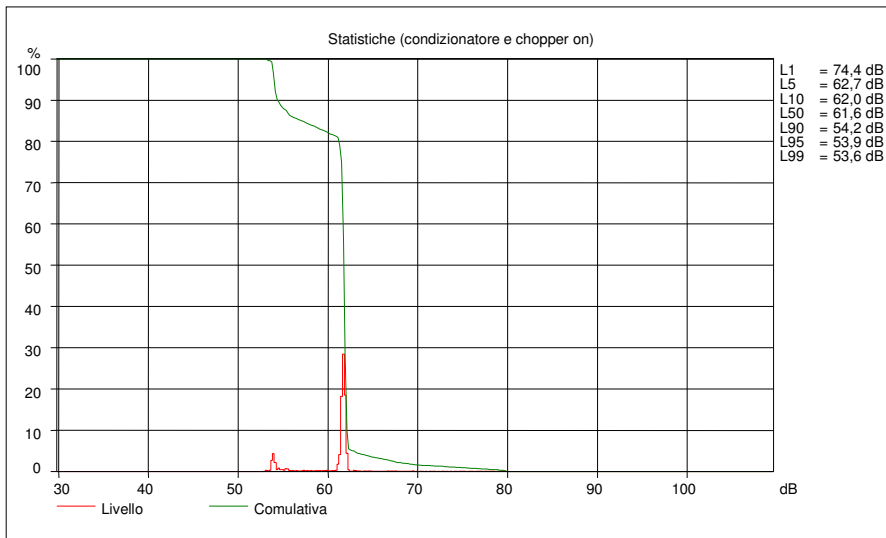
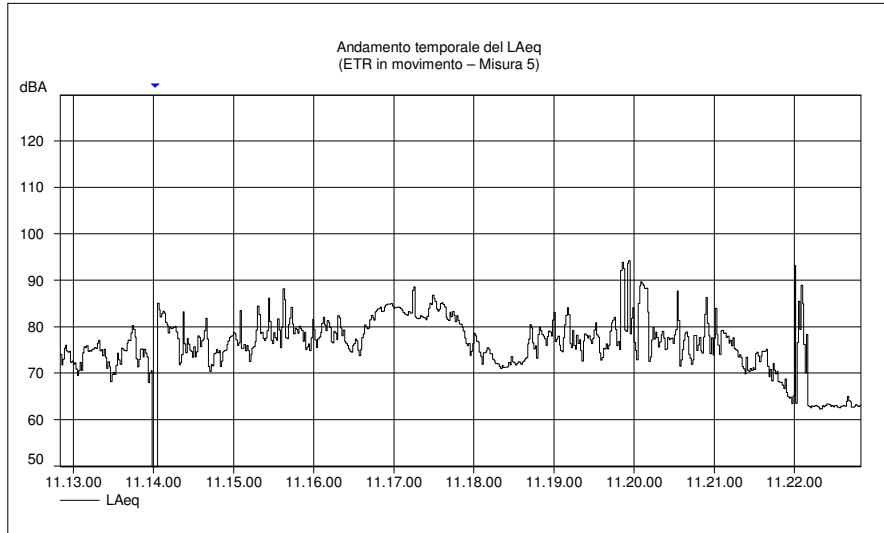
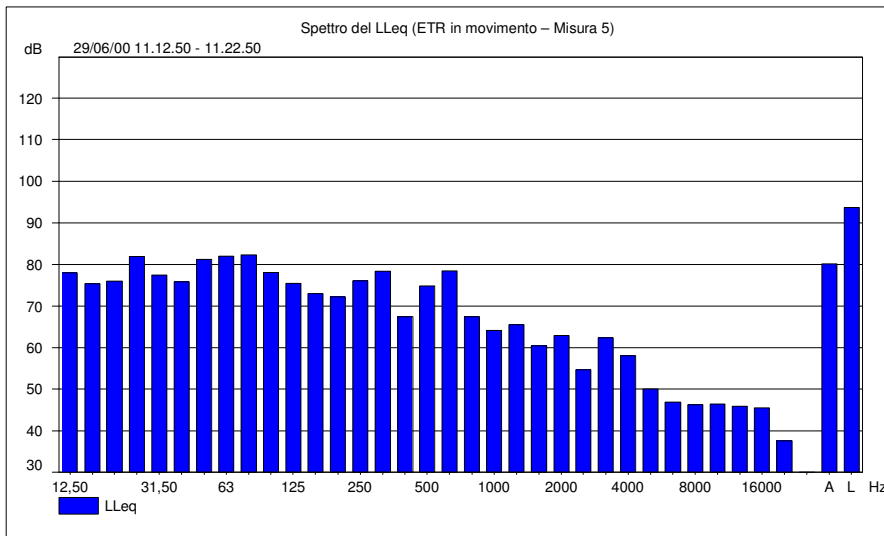


Fig. 12: statistiche (condizionatore e chopper on)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500

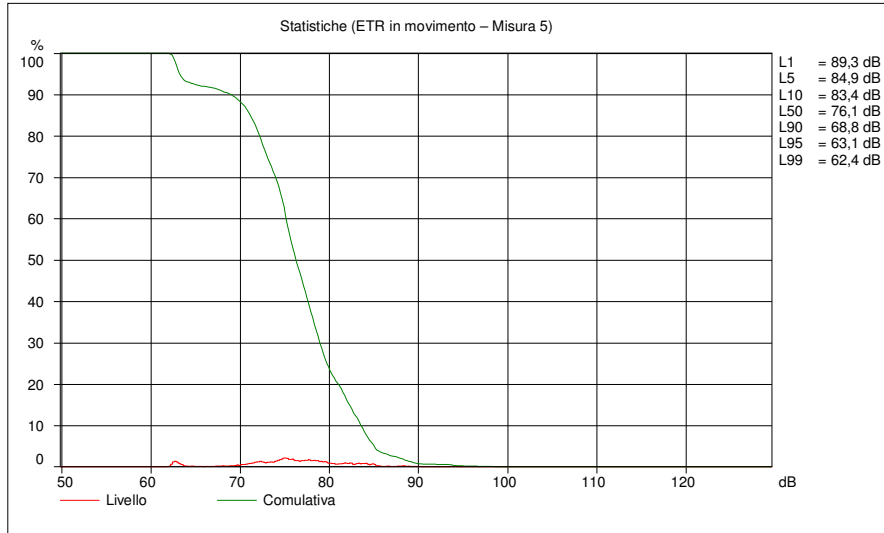


**Fig. 13:** andamento temporale del LAeq (ETR in movimento – misura 5)

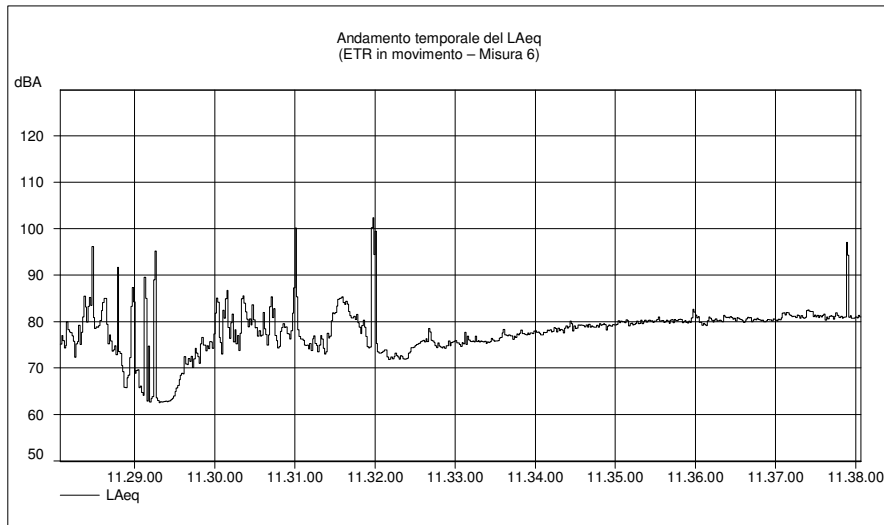


**Fig. 14:** spettro del LLeq (ETR in movimento – misura 5)

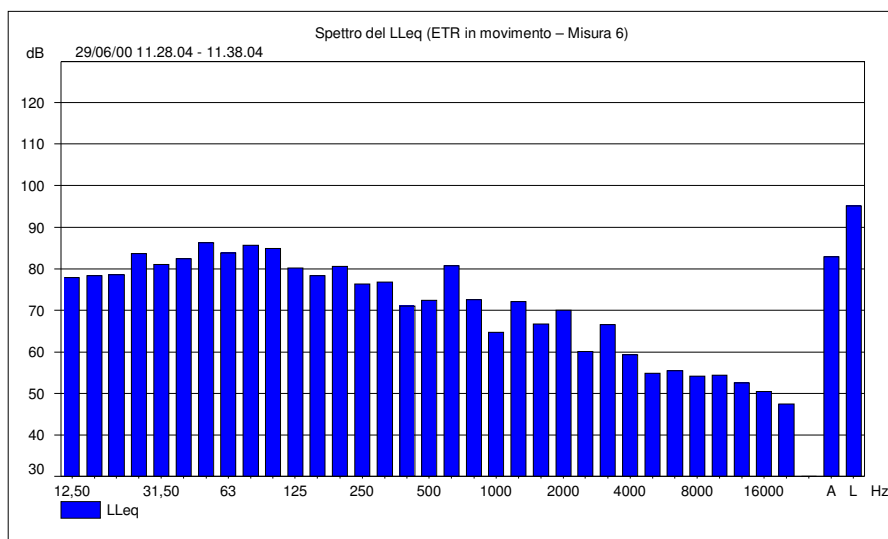
Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500



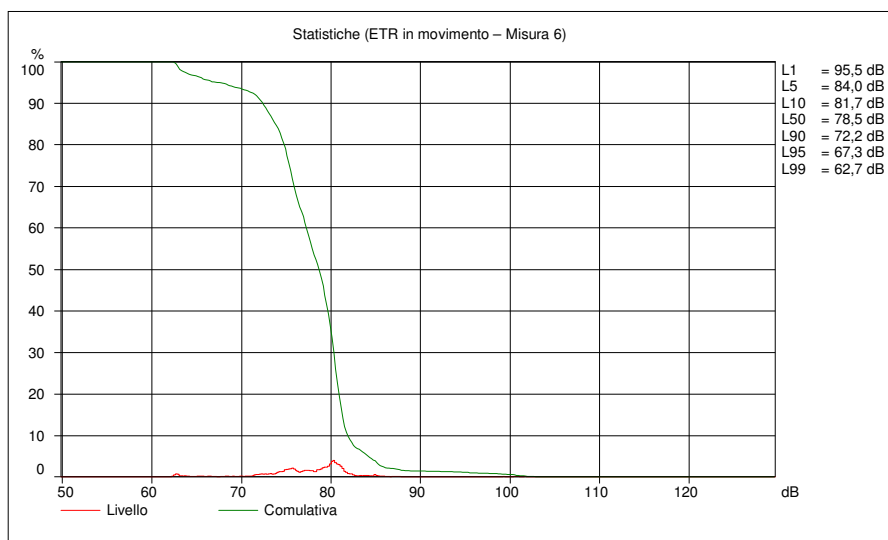
**Fig. 15:** statistiche (ETR in movimento – misura 5)



**Fig. 16:** andamento temporale del LAeq (ETR in movimento – misura 6)

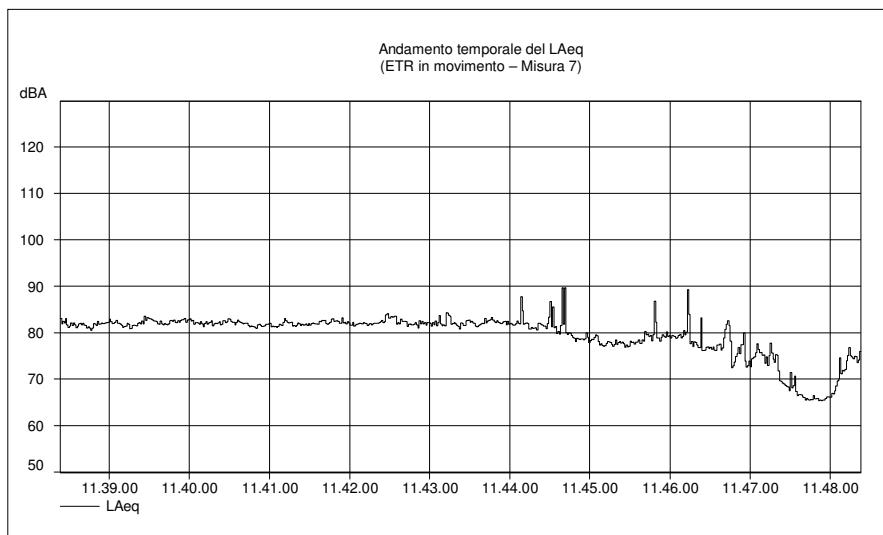


**Fig. 17:** spettro del LLeq (ETR in movimento – misura 6)

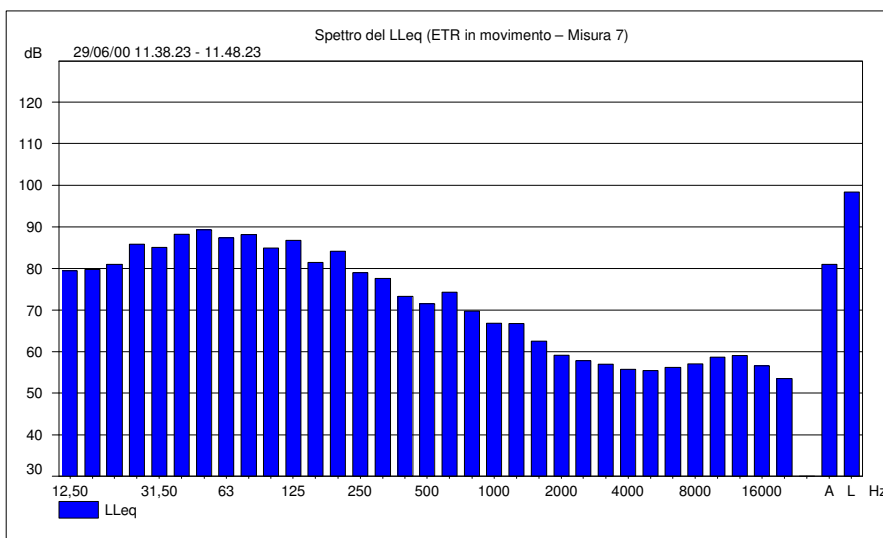


**Fig. 18:** statistiche (ETR in movimento – misura 6)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500

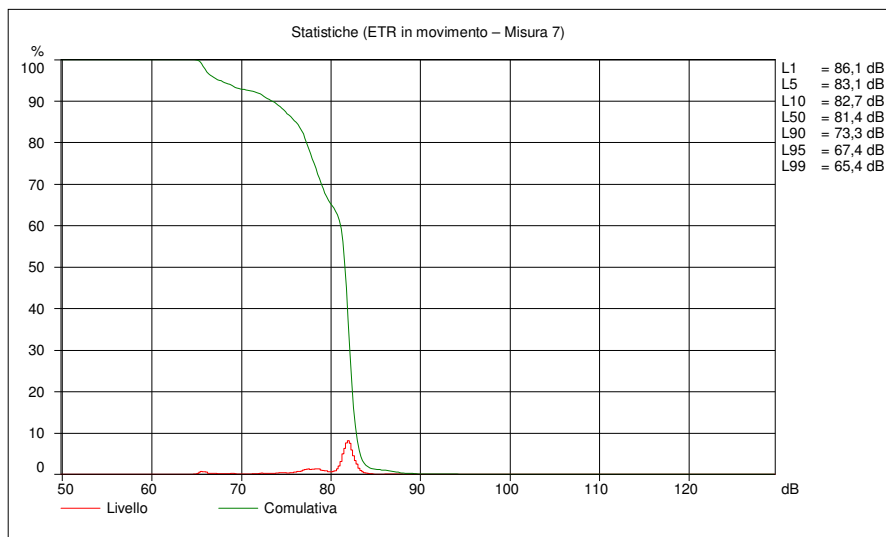


**Fig. 19:** andamento temporale del LAeq (ETR in movimento - misura 7)

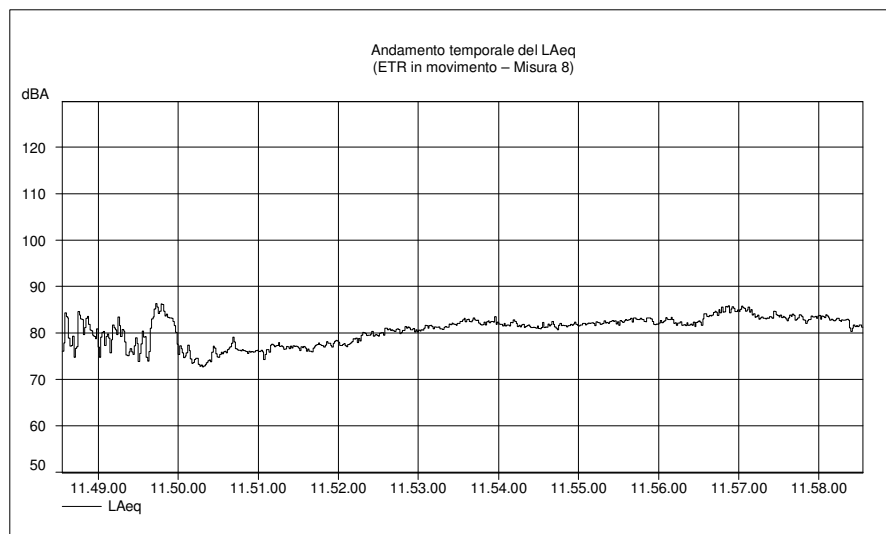


**Fig. 20:** spettro del LLeq (ETR in movimento - misura 7)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500



**Fig. 21:** statistiche (ETR in movimento - misura 7)



**Fig. 22:** andamento temporale del LAeq (ETR in movimento - misura 8)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500

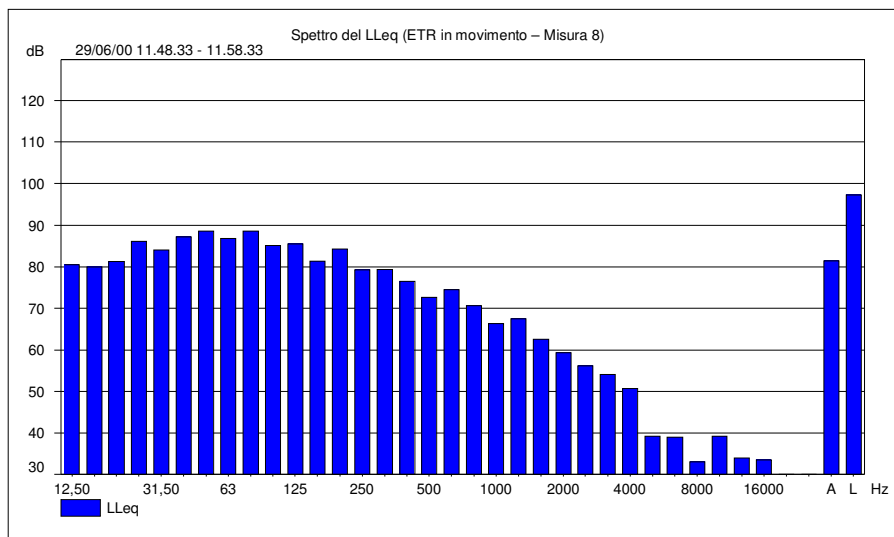


Fig. 23: spettro del LLeq (ETR in movimento – misura 8)

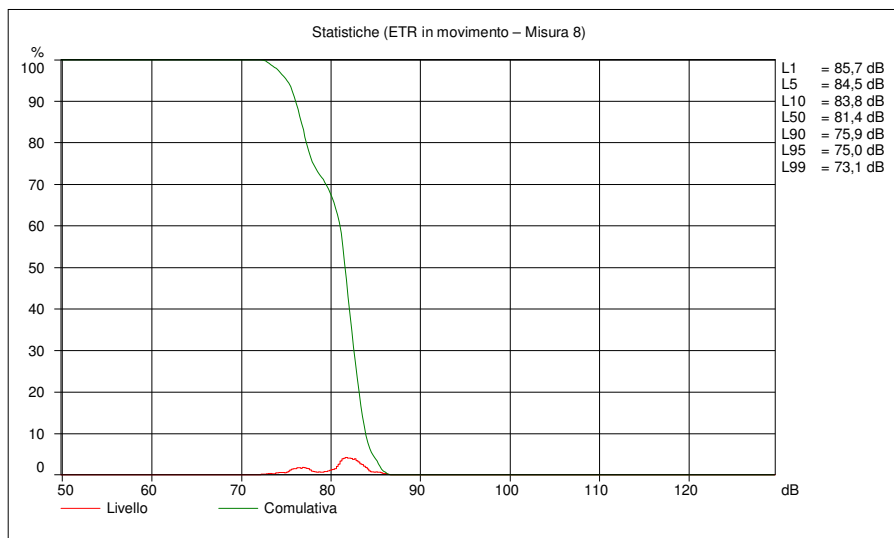
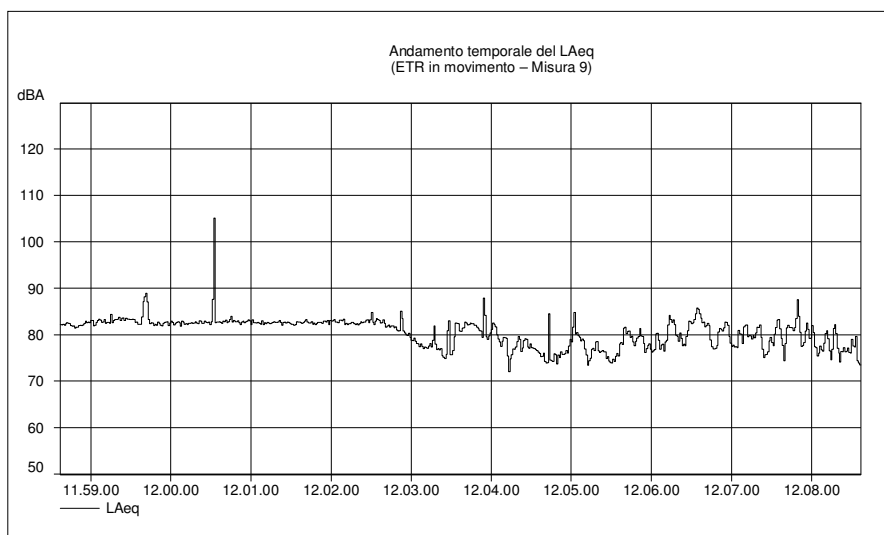
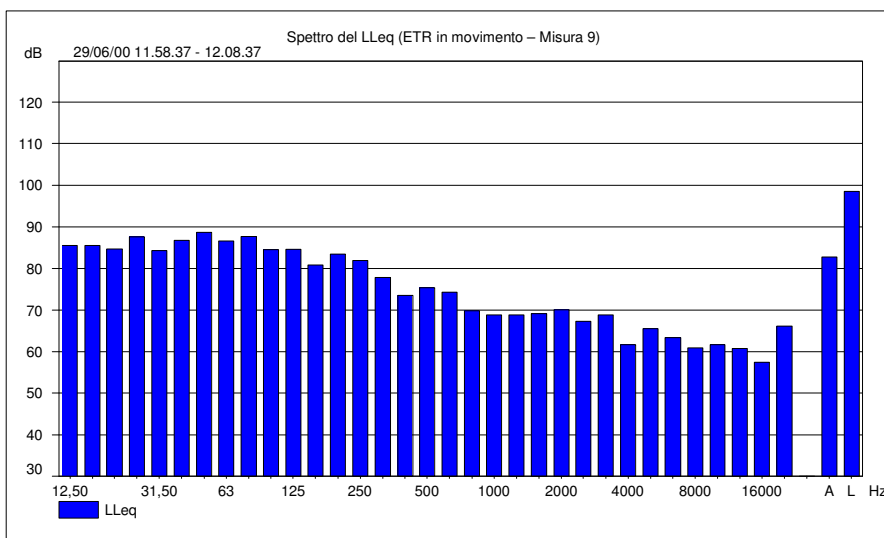


Fig. 24: statistiche (ETR in movimento – misura 8)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500

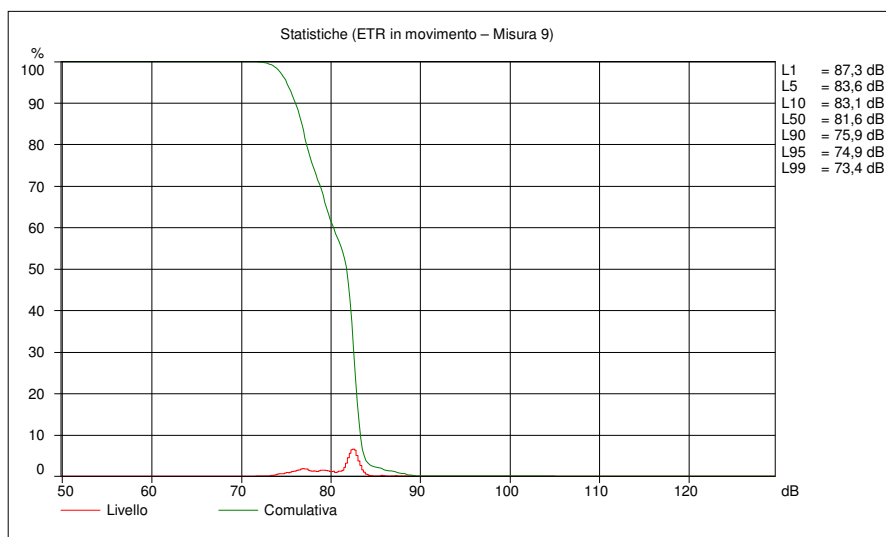


**Fig. 25:** andamento temporale del LAeq (ETR in movimento - misura 9)

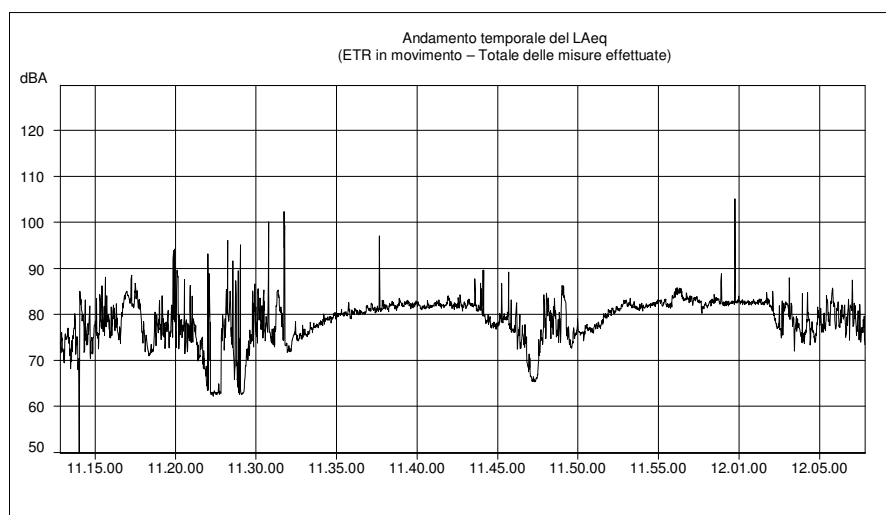


**Fig. 26:** spettro del LLeq (ETR in movimento - misura 9)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500



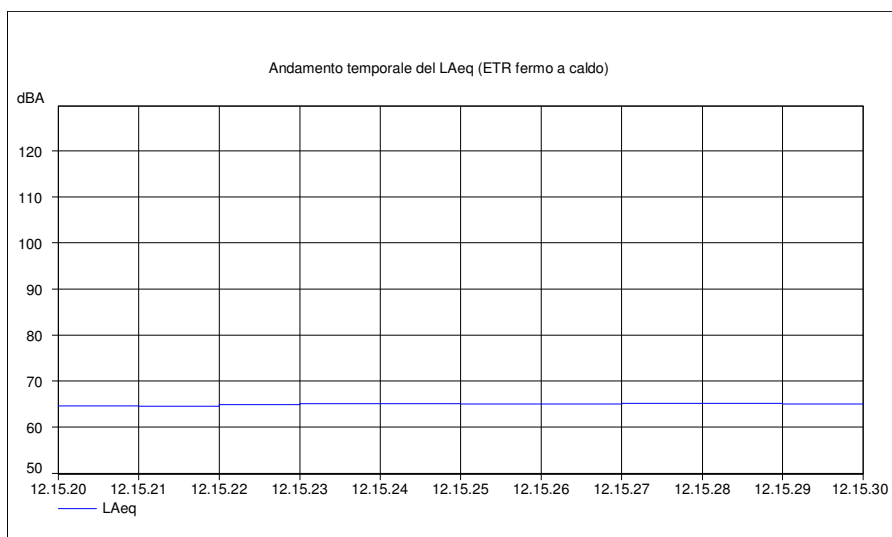
**Fig. 27:** statistiche (ETR in movimento - misura 9)



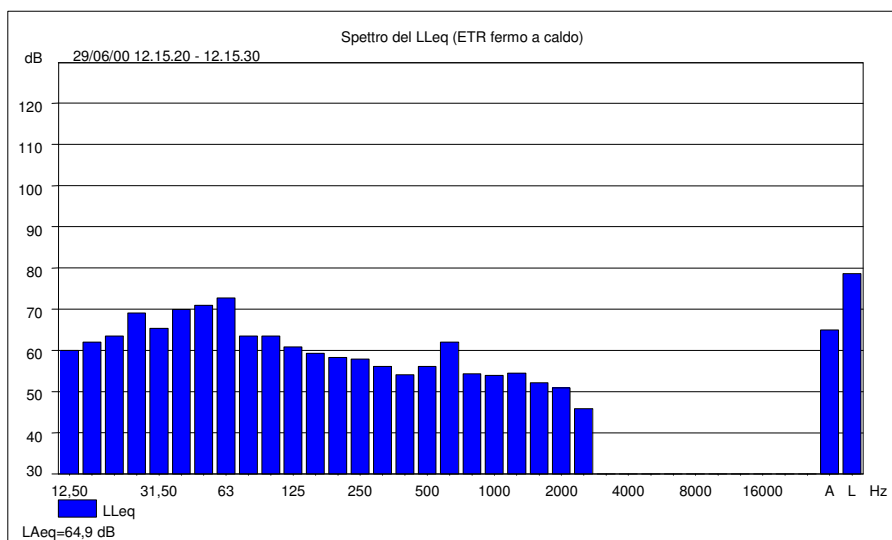
**Fig. 28:** andamento temporale LAeq (ETR in movimento - totale misure)



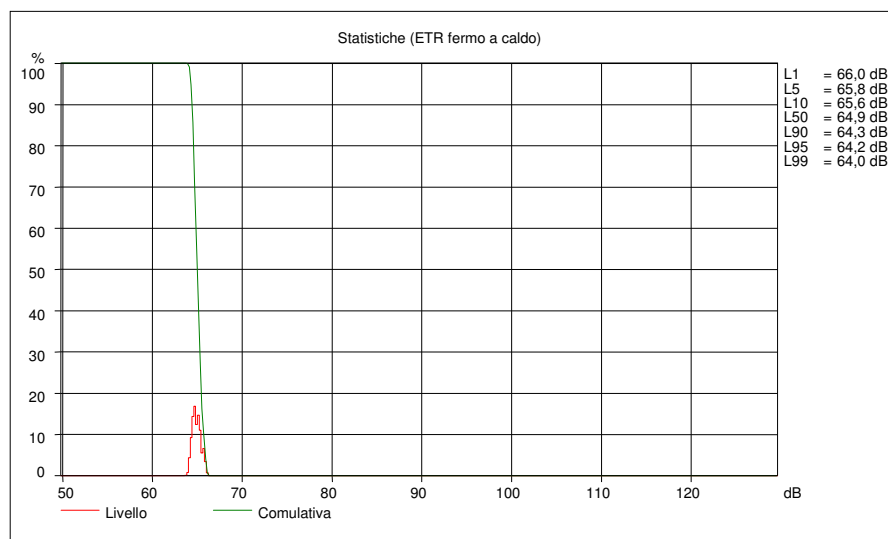
Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500



**Fig. 31:** andamento temporale del LAeq (ETR fermo a caldo)



**Fig. 32:** spettro del LLeq (ETR fermo a caldo)



**Fig. 33:** statistiche (ETR fermo a caldo)

#### 4. Conclusioni

Analizzando la tabella 2, riportata per comodità anche nel presente paragrafo, si nota come, nel caso di treno fermo, la situazione di minima emissione, in termini di livello ponderato A, è quella in cui sono accesi i soli compressori.

L'accensione dei chopper produce un incremento del livello equivalente di rumore di 2 dBA, mentre la prova di trazione a fermo produce un livello di rumore maggiore di circa 7 dBA rispetto al caso dei compressori.

**Tabella 2:** livelli medi di rumore misurati

MISURA	LAeq (dBA)	LLeq (dB)
1 – ETR fermo (chopper on)	52.5	73.0
2 – ETR fermo (compressori on)	50.5	73.7
3 – ETR fermo (prova di trazione)	57.8	75.1
4 – ETR fermo (condizionatore e chopper on)	61.7	73.5
5 – ETR in movimento	80.1	93.6
6 – ETR in movimento	82.8	95.0
7 – ETR in movimento	80.9	98.4
8 – ETR in movimento	81.4	97.3
9 – ETR in movimento	82.7	98.5
ETR in movimento (unione misure 5, 6, 7, 8 e 9)	81.7	96.9
10 – ETR fermo a caldo	64.9	78.6

Nel caso di massima rumorosità a fermo (condizionatore e chopper accesi), il LAeq raggiunge 61.7 dBA (oltre 10 dBA rispetto al caso di minima rumorosità).

Si osserva come la misura a fermo effettuata in condizioni di massima rumorosità a caldo (al termine della corsa prova) fornisca un livello superiore di circa 3 dBA rispetto alla misura effettuata, nelle stesse condizioni, alla partenza.

Il livello equivalente ponderato A corrispondente all'intera corsa

prova è di 81.7 dBA, notevolmente superiore (circa 30 dBA) rispetto al caso di treno fermo.

Per valutare la dose di rumore giornaliera a cui è sottoposto un conducente che lavora per otto ore con un tipo di rumorosità avente la successione degli eventi di tabella 1, è stata effettuata la media energetica dei livelli di rumore misurati (riportati in tabella 2):

$$L_1 = 10 \cdot \log \left( \frac{\sum_{i=1}^{10} T_i \cdot 10^{L_i/10}}{\sum_{i=1}^{10} T_i} \right) = 81.5 \text{ dBA} \quad (1)$$

dove

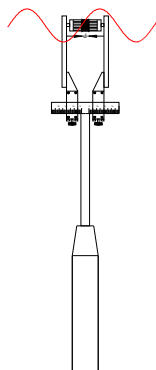
$L_i$  livello equivalente ponderato A relativo alla  $i$ -esima misura;

$T_i$  durata della  $i$ -esima misura.

## **PARTE SECONDA – Valutazione delle emissioni acustiche allo scarico di una macchina di manovra ferroviaria D.245**

### **1. Strumentazione di misura**

Lo strumento che consente la misura dell'intensità acustica e della pressione sonora è la sonda intensimetrica, modello AKSUD F.83 FIGANIERES, tipo 9919, numero di serie 70533, con preamplificatore AKSUD F.83 FIGANIERES, tipo 1129, numero di serie 01802.



**Fig. 34:** *sonda intensimetrica*

La sonda intensimetrica (trasduttore) è corredata da un sistema di elaborazione (Sistema Aria bicanale in tempo reale). Tale sistema intensimetrico utilizza i seguenti codici di calcolo:

- INTAC01 (ISO 9614) per la misura dell'intensità acustica;
- dBLW (ISO 3744) per la misura della potenza acustica;
- dBTRIG per misure fonometriche ambientali con funzione audio per la registrazione analogica tipo compact disk.

Il sistema consente la riproduzione analogica per riascolto e analisi in frequenza, l'elaborazione dei dati e l'analisi statistica. Sono possibili le seguenti elaborazioni: FFT, funzioni di trasferimento (modulo e fase), acquisizione bicanale in tempo reale, cross-correlazione, analisi statistiche, analisi in terzi d'ottava, livello equivalente e calcolo delle principali grandezze fonometriche.

Le misure fonometriche sono state effettuate con un fonometro Bruel & Kjaer, modello 2260 Investigator BZ7206 matricola n° 2124600, conforme alla classe 1 delle norme EN 60651 e EN 60804. Il fonometro è equipaggiato con un microfono Bruel & Kjaer 4189, che soddisfa le norme EN 61094-1, EN 61094-2, EN 61094-3, EN 61094-4. Per la calibrazione del fonometro si è utilizzato un calibratore Bruel & Kjaer 4231 matricola n° 1859067, conforme alle norme CEI 29-4 (IEC 942).

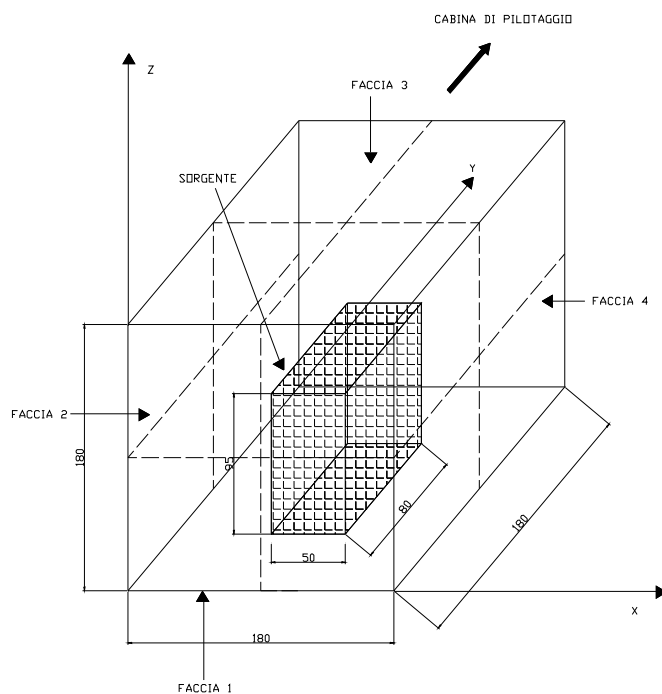
La strumentazione fonometrica è stata tarata nelle seguenti date:

- Fonometro: 20/04/99, certificato SIT n° 9250-F (centro SIT n° 71/E);
- Calibratore: 19/04/99, certificato SIT n° 9250-C (centro SIT n° 71/E).

## 2. Modalità di misura

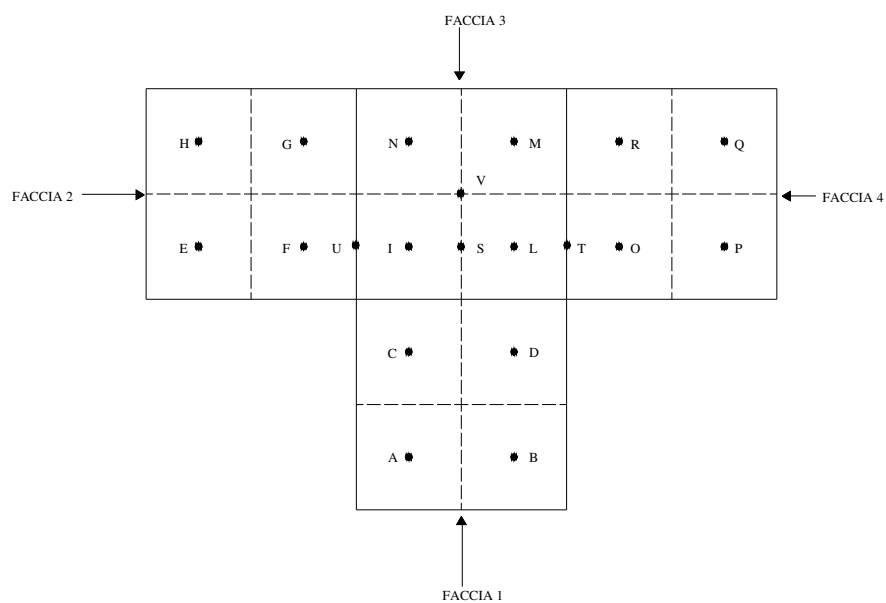
### 2.1 Misure intensimetriche

Sono state effettuate due serie di misure, a treno fermo, per due diverse velocità di rotazione del motore, 600 e 900 giri. Ogni serie comprende 20 punti di misura. I punti sono posizionati, come mostrato nelle figure 35 e 36, sopra una griglia costruita attorno alla sorgente di rumore (condotto di scarico).



**Fig. 35:** superficie di misura costruita attorno alla sorgente di rumore

---



**Fig. 36:** *griglia dei punti di misura*

Nella tabella 3 sono riportate le coordinate dei 20 punti di misura; è utilizzato il sistema di riferimento mostrato in figura 35 e le grandezze sono espresse in cm.

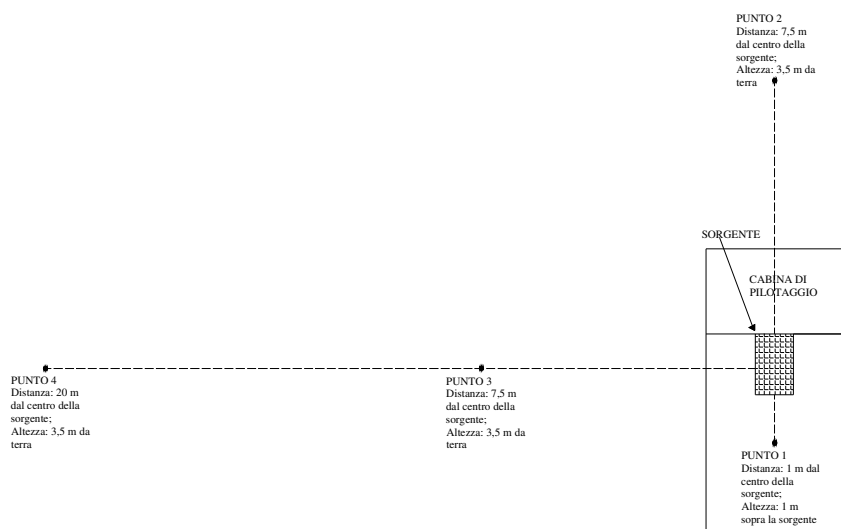
**Tabella 3:** coordinate dei punti di misura

PUNTO	x (cm)	y (cm)	z (cm)
A	45	0	45
B	135	0	45
C	45	0	135
D	135	0	135
E	0	45	45
F	0	45	135
G	0	135	135
H	0	135	45
I	45	45	180
L	135	45	180
M	135	135	180
N	45	135	180
O	180	45	135
P	180	45	45
Q	180	135	45
R	180	135	135
S	90	45	80
T	180	45	80
U	0	45	80
V	90	90	120

## 2.2 Misure fonometriche

Per il fonometro la calibrazione è stata effettuata mediante il calibratore descritto precedentemente. Il segnale di calibrazione è un tono puro di frequenza 1000 Hz a 94 dB.

Sono state effettuate due serie misure fonometriche, a treno fermo, per due diverse velocità di rotazione del motore, 600 e 900 giri, per valutare il livello di rumore prodotto dal condotto di scarico della macchina di manovra D.245. Ogni serie comprende 4 punti di misura, posizionati come mostrato in figura 37. Essendo il rumore stazionario sono state effettuate misure fonometriche della durata di trenta secondi ciascuna.



**Fig. 37:** *posizionamento dei punti di misura*

### 3. Risultati delle misure intensimetriche

Al fine di determinare l'andamento della pressione acustica in funzione della distanza, nelle figure 38, 39, ..., 49 sono riportati gli andamenti complessivi della pressione acustica stessa in corrispondenza di tre diverse sezioni ( $z=45$  cm,  $z=135$  cm,  $z=180$  cm).

Utilizzando il metodo fornito dalla ISO 9614, è stata calcolata, per ogni frequenza, la potenza complessiva erogata dalla sorgente:

$$P = \sum_{i=1}^N P_i \quad (2)$$

con

$$P_i = I_{ni} \cdot S_i \quad (3)$$

dove:

$I_{ni}$  è l'ampiezza della componente normale dell'intensità sonora misurata in corrispondenza alla posizione  $i$  sulla superficie di misura;

$S_i$  è l'area del segmento di superficie associata con il punto  $i$ .

I valori di potenza acustica calcolati sono riportati nella tabella 4 e sono stati rappresentati sia per 600 che per 900 giri (figure 50, 51).

Infine, utilizzando il metodo fornito dalla ISO 3744, è stato calcola-

to, per ogni frequenza, l'indice di direttività,  $DI_i$ , in Decibel, nella direzione della posizione  $i$  della sonda intensimetrica:

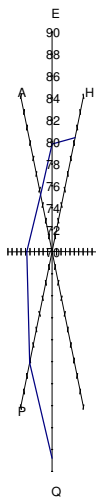
$$DI_i = L_{pi}^* - \bar{L}_p^* \quad (4)$$

dove:

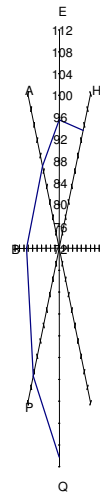
$L_{pi}^*$  è il livello di pressione sonora nella posizione  $i$  della sonda intensimetrica;

$\bar{L}_p^*$  è il livello di pressione sonora mediato sulla superficie di misura.

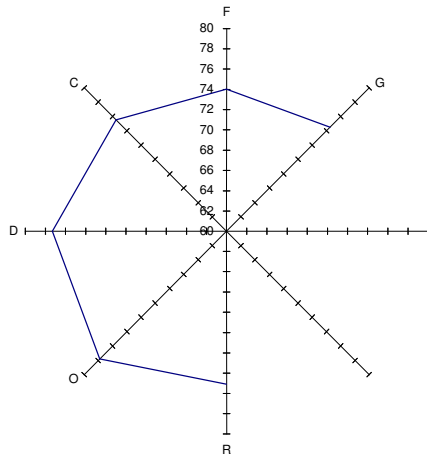
Nelle figure 52, 53, 54, 55 sono riportati i diagrammi di direttività complessivi relativi alla sezione  $z=135$  cm.



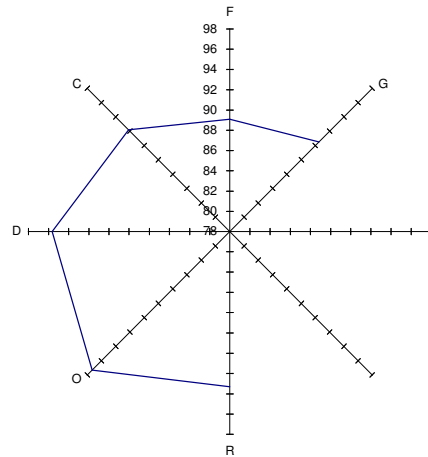
**Fig. 38:** livello di pressione sonora in ponderato A in sezione  $z=0,45$  m (600 giri)



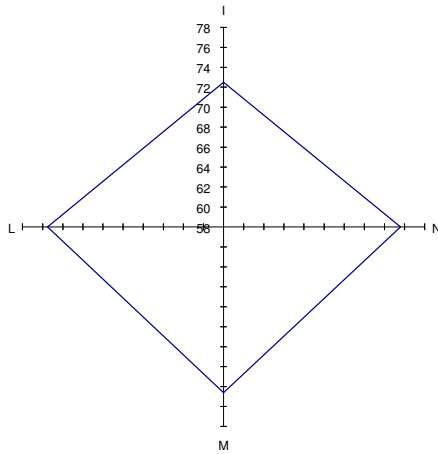
**Fig. 39:** livello di pressione sonora in lineare in sezione  $z=0,45$  m (600 giri)



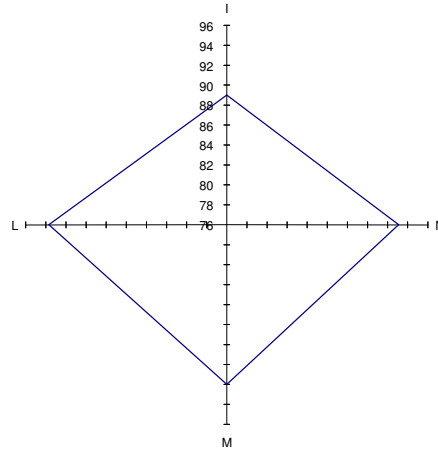
**Fig. 40:** livello di pressione sonora in banda ottava in piano - sezione  $z=1,35$  m (600 giri)



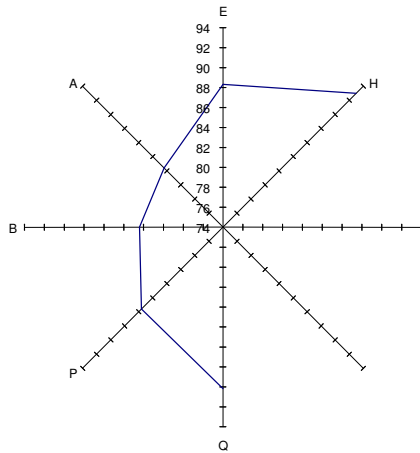
**Fig. 41:** livello di pressione sonora in banda ottava in piano - sezione  $z=1,35$  m (1000 giri)



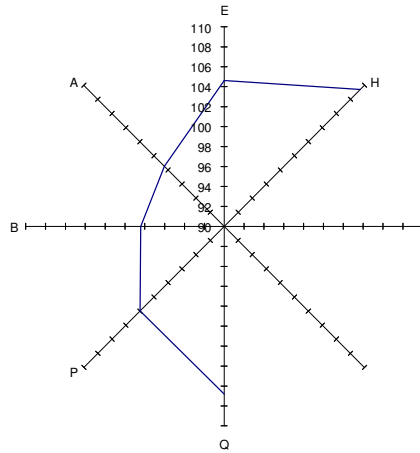
**Fig. 42:** livello di pressione sonora in banda ottava in piano - sezione  $z=1,80$  m (600 giri)



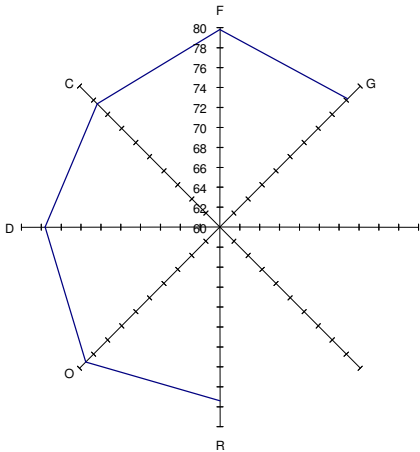
**Fig. 43:** livello di pressione sonora in banda ottava in piano - sezione  $z=1,80$  m (1000 giri)



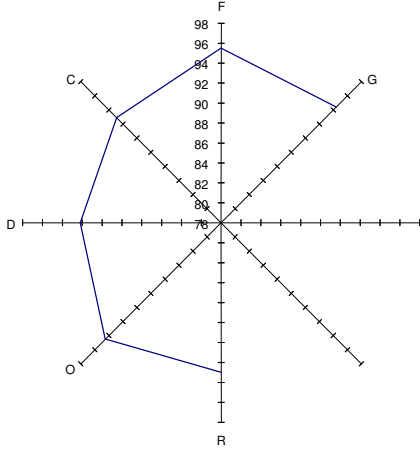
**Fig. 44:** livello di pressione sonora in dB in diverse direzioni (900 giri)



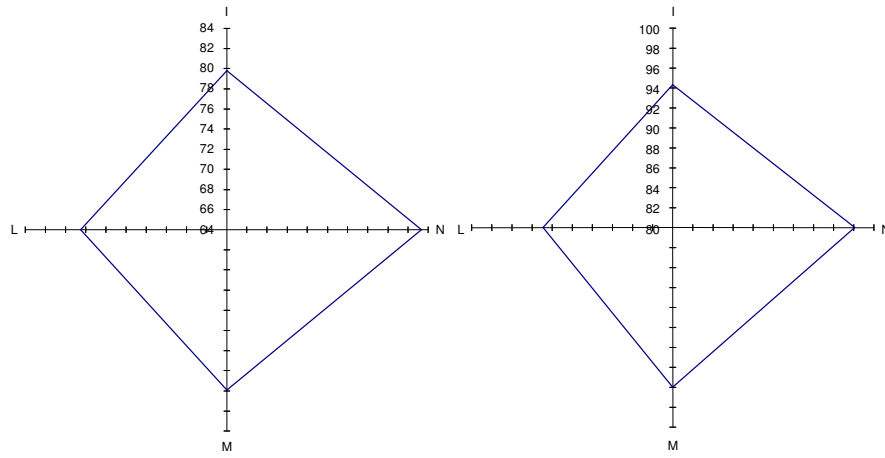
**Fig. 45:** livello di pressione sonora in dB in diverse direzioni (900 giri)



**Fig. 46:** livello di pressione sonora in dB in diverse direzioni (900 giri)



**Fig. 47:** livello di pressione sonora in dB in diverse direzioni (900 giri)



**Fig. 48:** livello di pressione sonora in dB per un livello di esposizione 1,80 ora in lineare - sezione z=1,80 m (900 giri) **Fig. 49:** livello di pressione sonora in dB per un livello di esposizione 1,80 ora in lineare - sezione z=1,80 m (900 giri)

**Tabella 4:** valori di potenza complessiva emessa dalla sorgente

600 giri		900 giri	
Frequenza (Hz)	Potenza (dB)	Frequenza (Hz)	Potenza (dB)
80	104,12	80	99,05
100	95,84	100	97,18
125	89,49	125	100,39
160	77,48	160	79,64
200	68,05	200	80,83
250	68,31	250	76,94
315	73,84	315	69,26
400	74,89	400	76,68
500	72,45	500	77,99
630	73,44	630	77,37
800	63,17	800	74,46
1000	68,71	1000	73,50
1250	67,61	1250	72,98
1600	68,28	1600	77,38
2000	63,93	2000	71,70
2500	62,16	2500	70,34
3150	59,10	3150	67,94
4000	58,39	4000	67,67
5000	55,89	5000	66,40
6300	52,94	6300	64,73
8000	41,28	8000	61,16
A	84,63	A	88,30
lineare	104,89	lineare	103,91

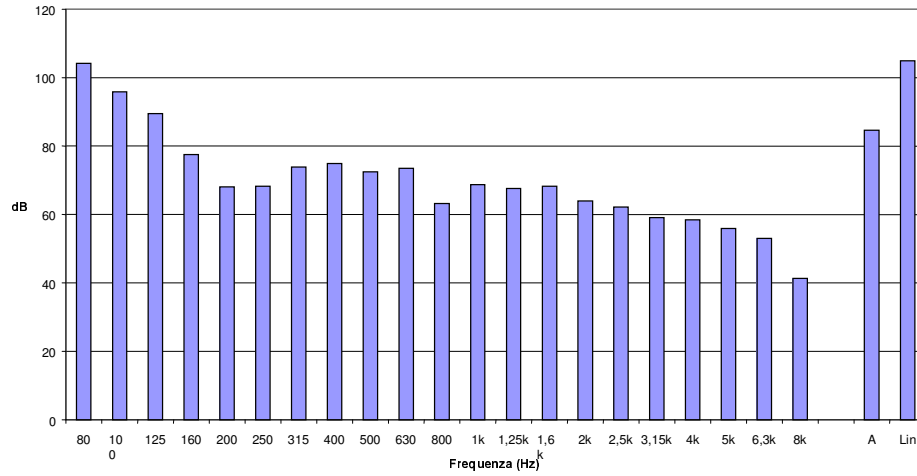


Fig. 50: potenza emessa dalla sorgente – 600 giri

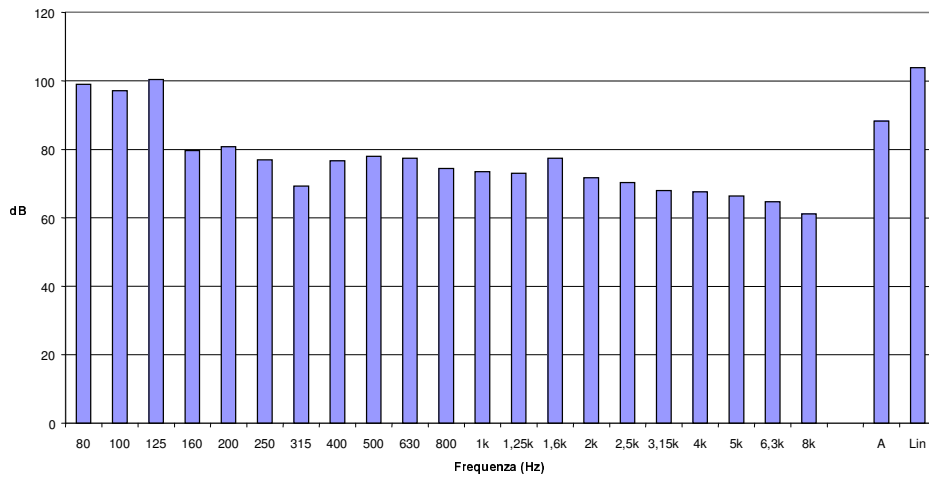
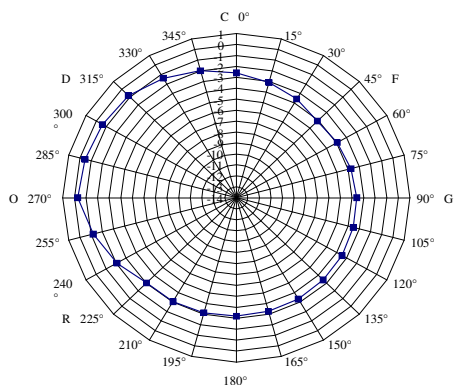
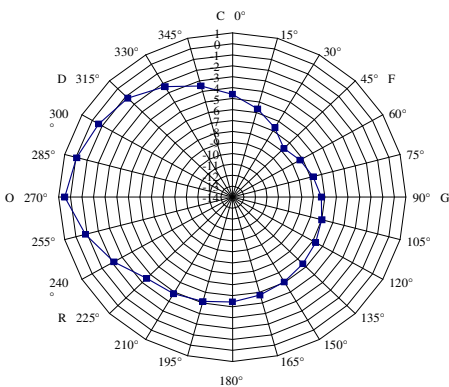


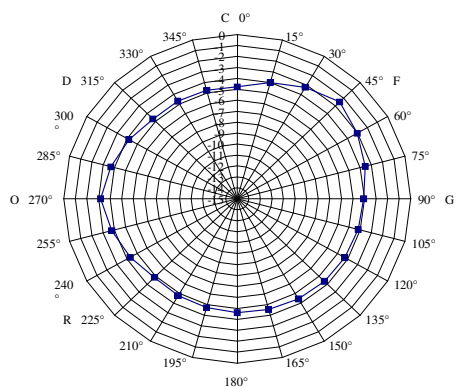
Fig. 51: potenza emessa dalla sorgente – 900 giri



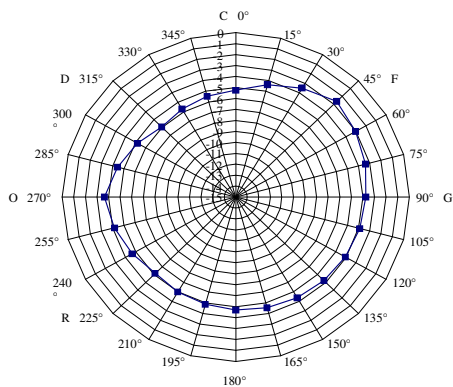
**Fig. 52:** *diagramma di direttività in ponderato A - sezione  $z=1,35$  m (600 giri)*



**Fig. 53:** *diagramma di direttività in lineare- sezione  $z=1,35$  m (600 giri)*



**Fig. 54:** *diagramma di direttività in ponderato A - sezione  $z=1,35$  m (900 giri)*



**Fig. 55:** *diagramma di direttività in lineare- sezione  $z=1,35$  m (900 giri)*

#### 4. Risultati delle misure fonometriche

Con riferimento alla figura 37, di seguito sono riportate le tabelle 5 e 6 in cui sono elencati i valori del LAeq e del LLeq per ciascuna misura, a 600 e a 900 giri.

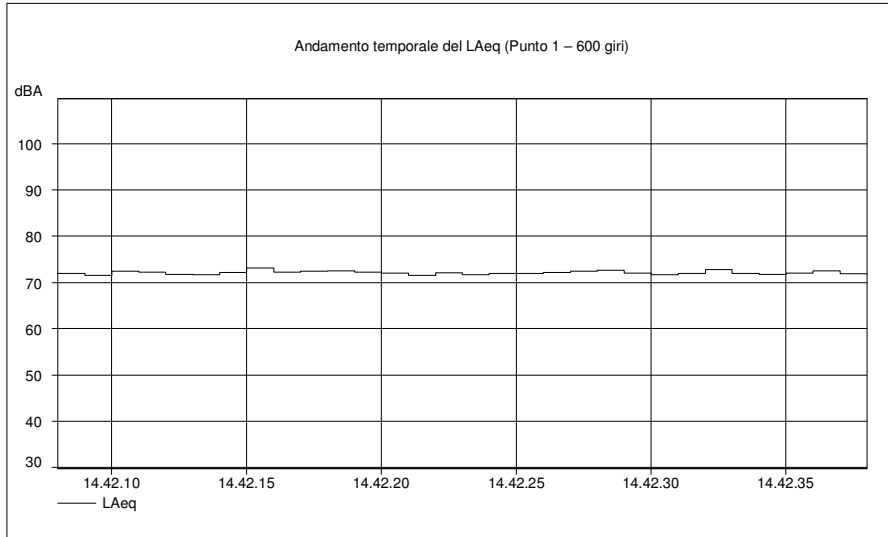
Inoltre, sono riportati rispettivamente l'andamento temporale del LAeq, lo spettro medio del LLeq e i livelli statistici ottenuti per ciascuna misura.

**Tabella 5:** livelli equivalenti di rumore misurati a 600 giri

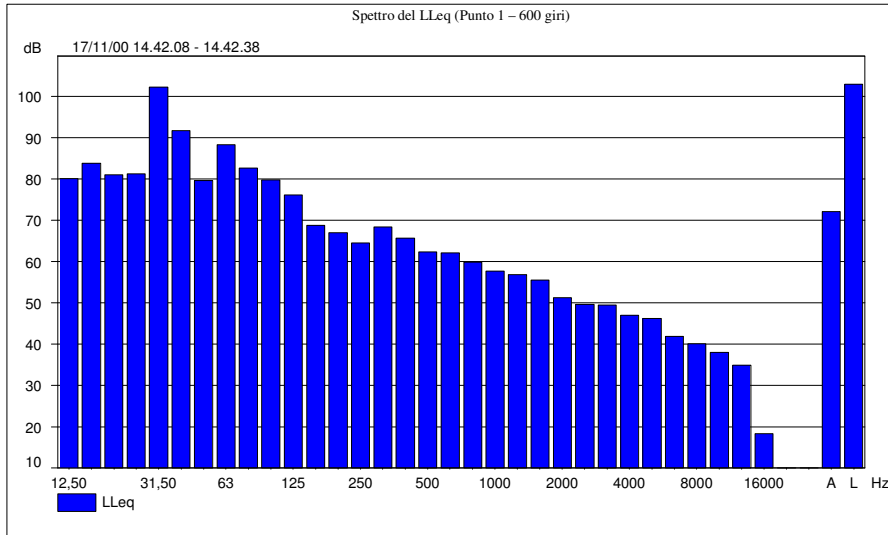
MISURA	LAeq (dBA)	LLeq (dB)
PUNTO 1	72,1	102,9
PUNTO 2	69,1	88,9
PUNTO 3	67,6	89,4
PUNTO 4	60,4	88,9

**Tabella 6:** livelli equivalenti di rumore misurati a 900 giri

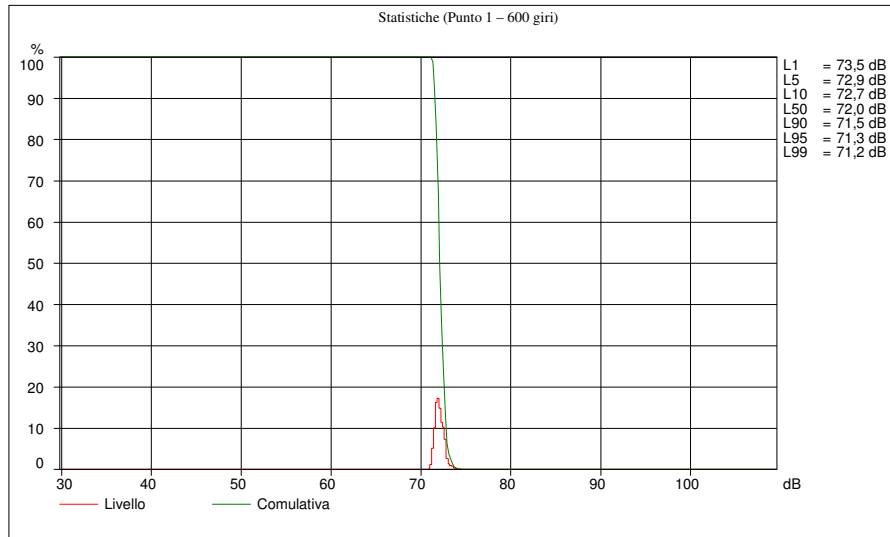
MISURA	LAeq (dBA)	LLeq (dB)
PUNTO 1	77,1	100,7
PUNTO 2	71,1	89,0
PUNTO 3	70,1	96,1
PUNTO 4	60,4	83,1



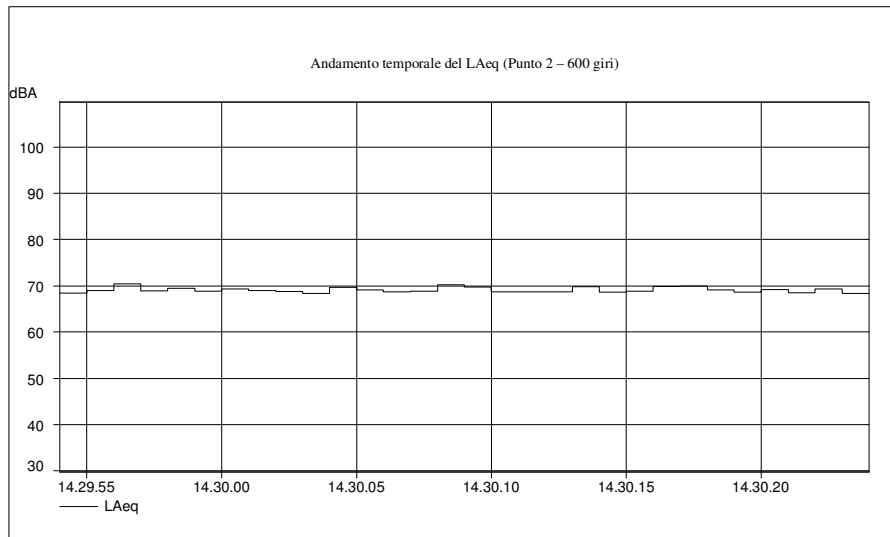
**Fig. 56:** Andamento temporale del LAeq (punto 1 - 600 giri)



**Fig. 57:** Spettro del LLeq (punto 1 - 600 giri)



**Fig. 58:** statistiche (punto 1 - 600 giri)



**Fig. 59:** Andamento temporale del LAeq (punto 2 - 600 giri)

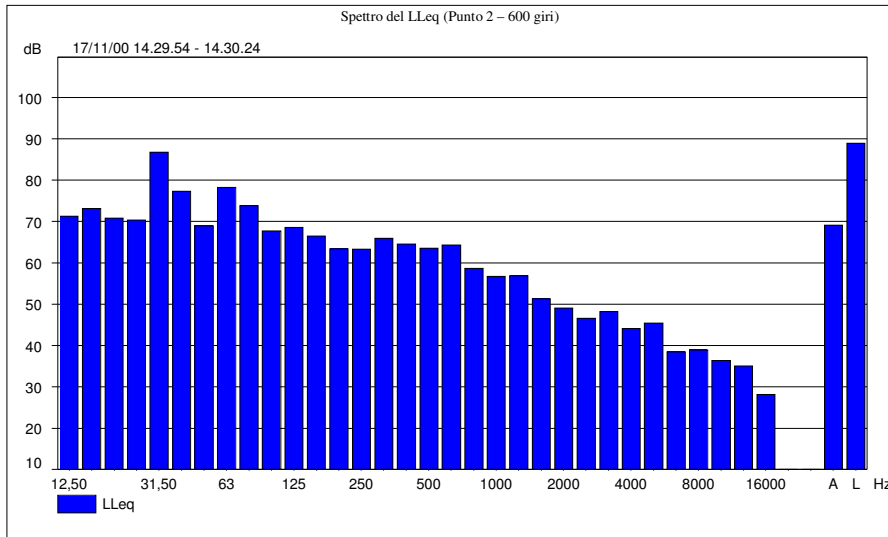


Fig. 60: Spettro del LLeq (punto 2 – 600 giri)

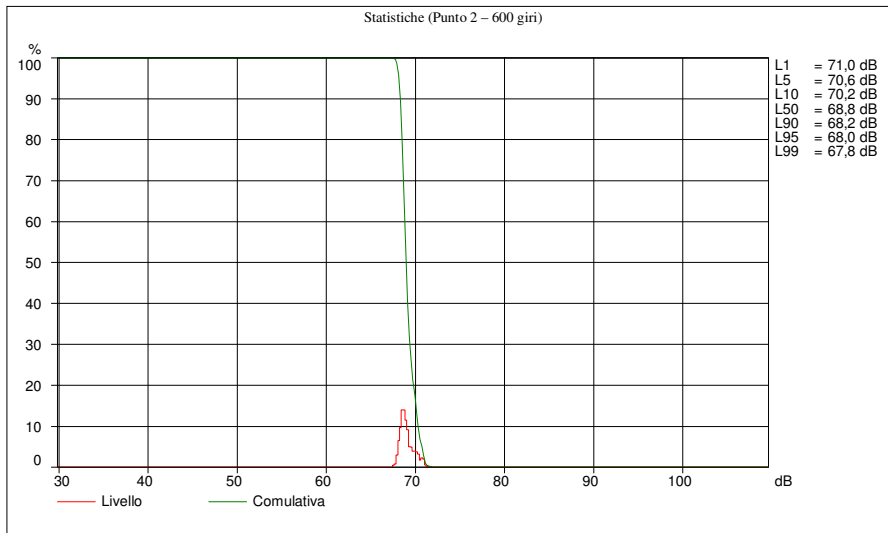
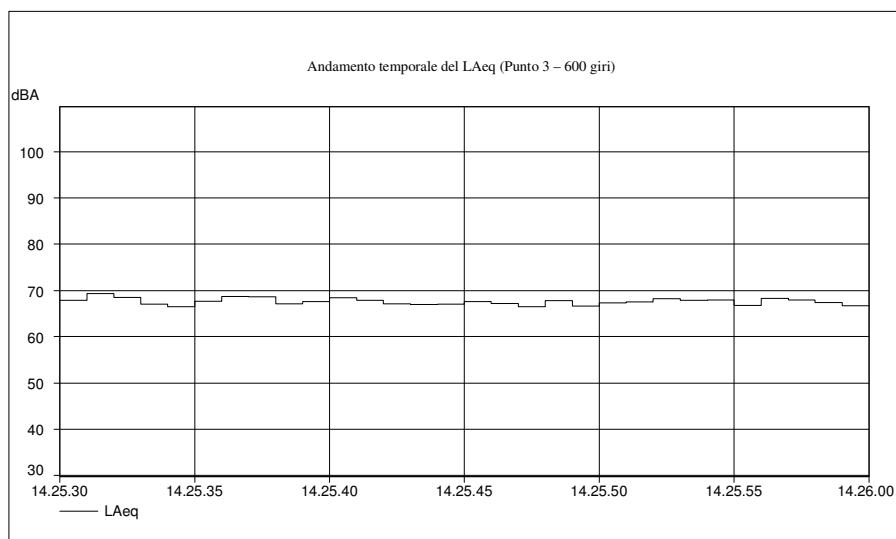
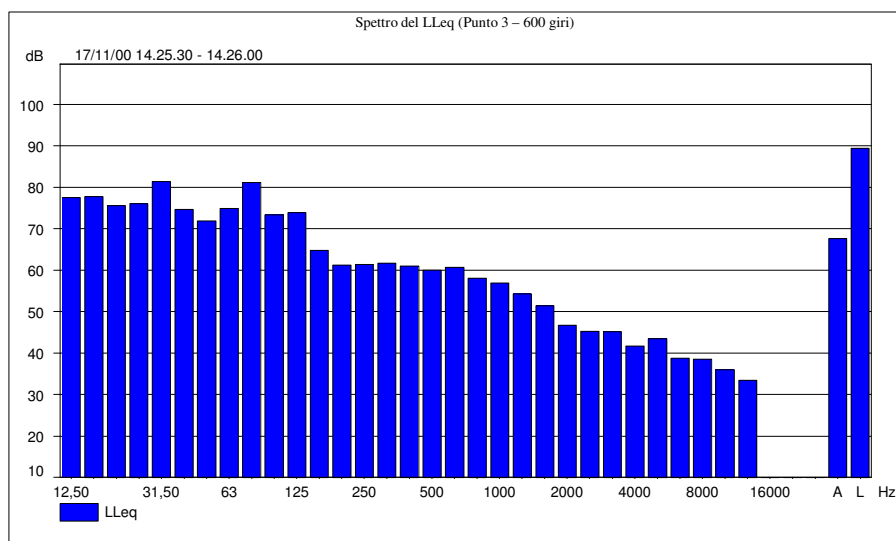


Fig. 61: statistiche (punto 2 – 600 giri)

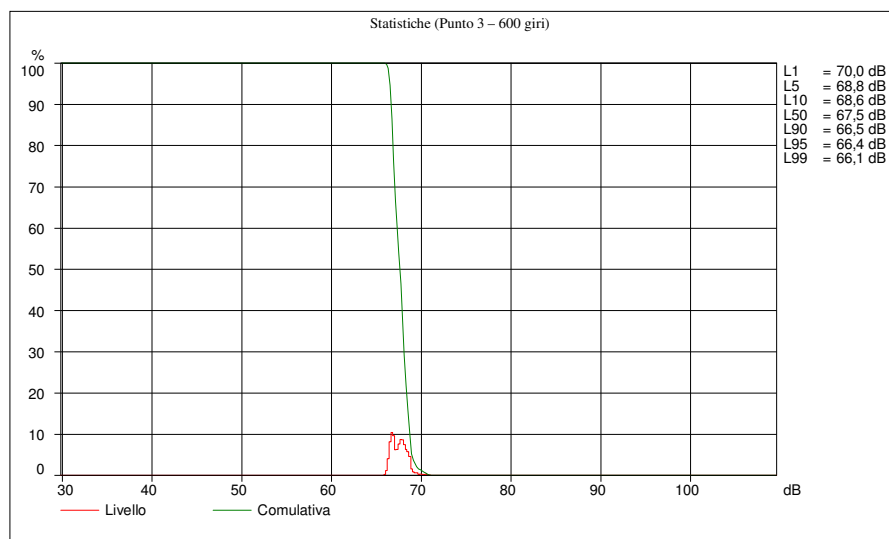


**Fig. 62:** Andamento temporale del LAeq (punto 3 - 600 giri)

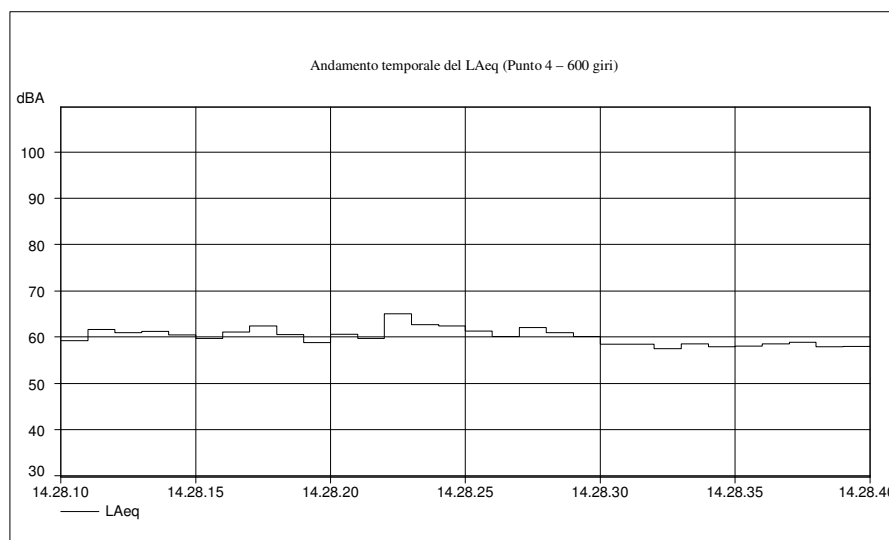


**Fig. 63:** Spettro del LLeq (punto 3 - 600 giri)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500



**Fig. 64:** statistiche (punto 3 - 600 giri)



**Fig. 65:** Andamento temporale del LAeq (punto 4 - 600 giri)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500

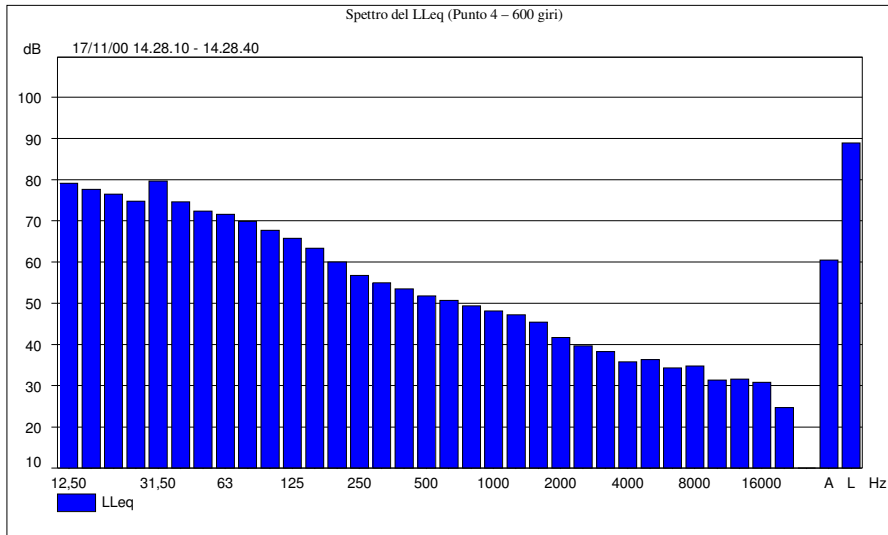


Fig. 66: spettro del LLeq (punto 4 - 600 giri)

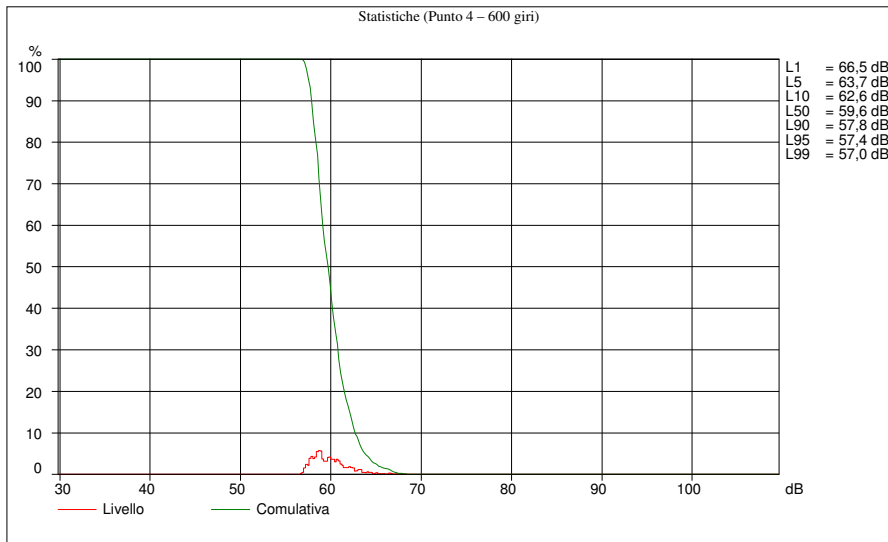
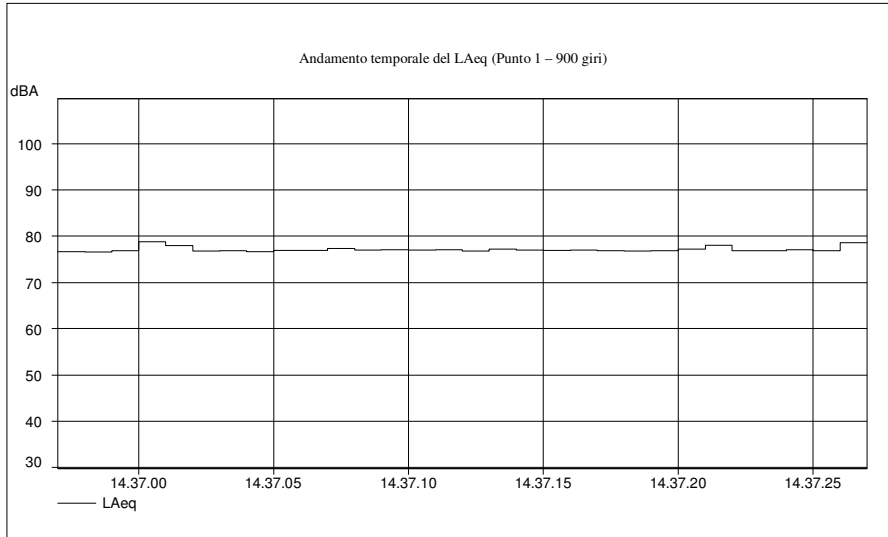
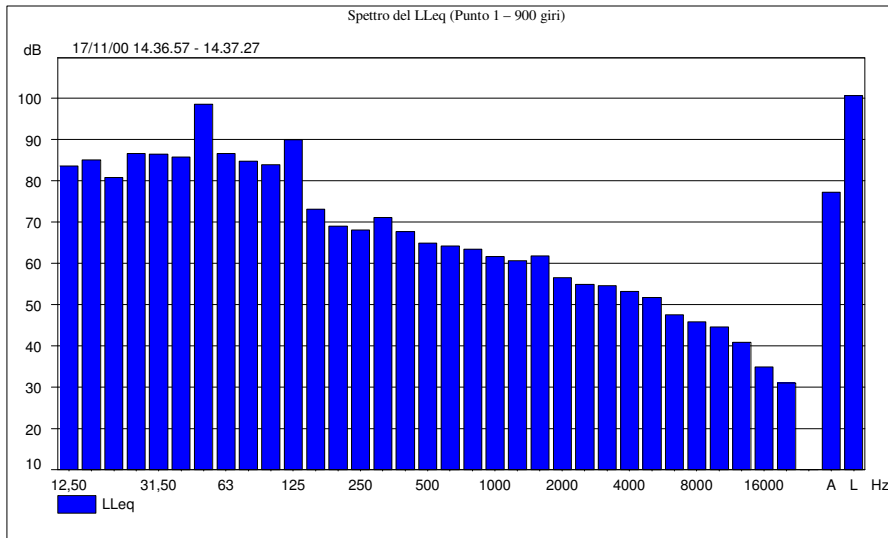


Fig. 67: statistiche (punto 4 - 600 giri)

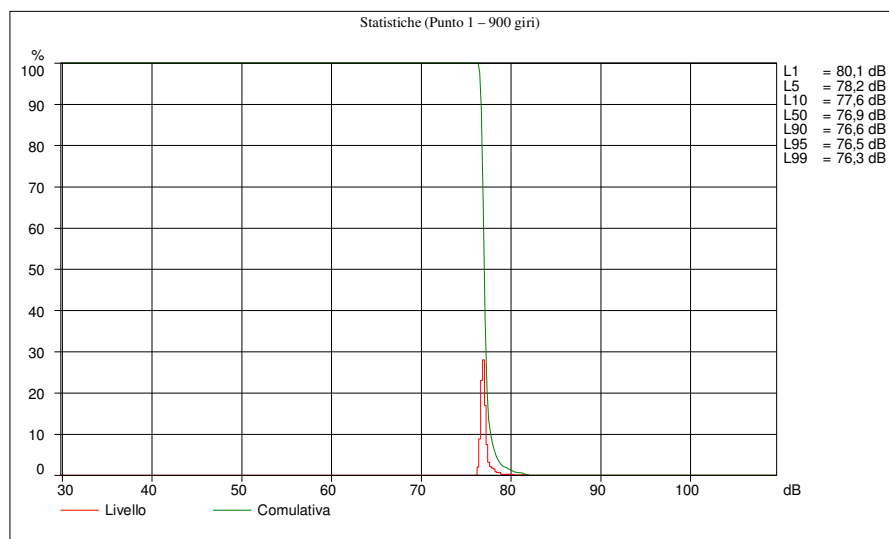


**Fig. 68:** Andamento temporale del LAeq (punto 1 - 900 giri)

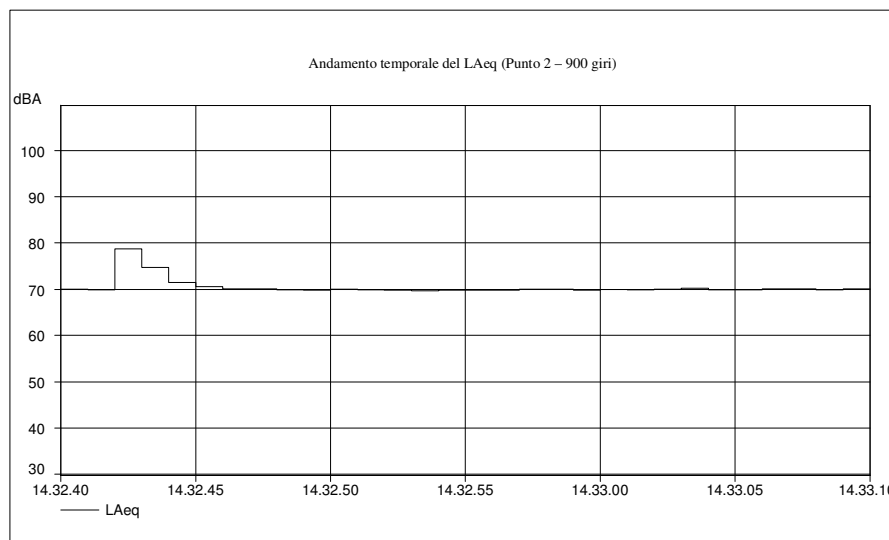


**Fig. 69:** Spettro del LLeq (punto 1 - 900 giri)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500



**Fig. 70:** statistiche (punto 1 - 900 giri)



**Fig. 71:** andamento temporale del LAeq (punto 2 - 900 giri)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500

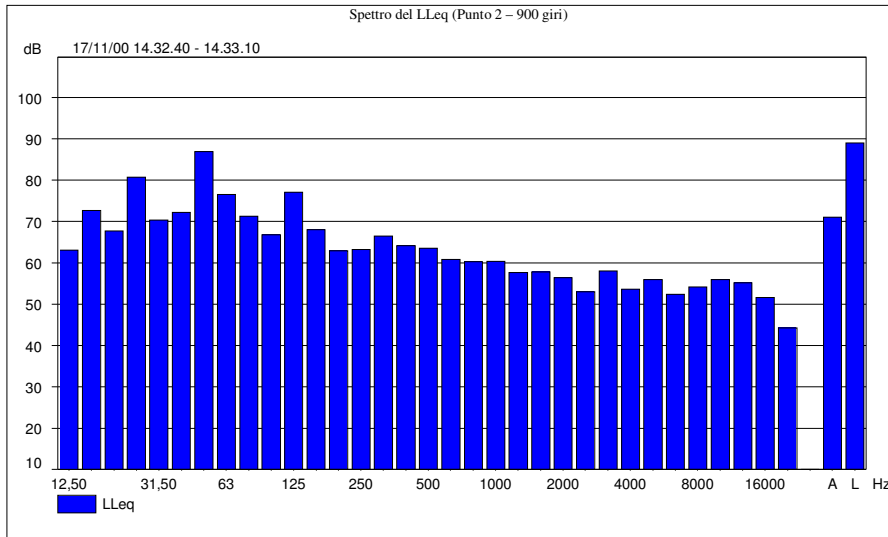


Fig. 72: Spettro del LLeq (punto 2 - 900 giri)

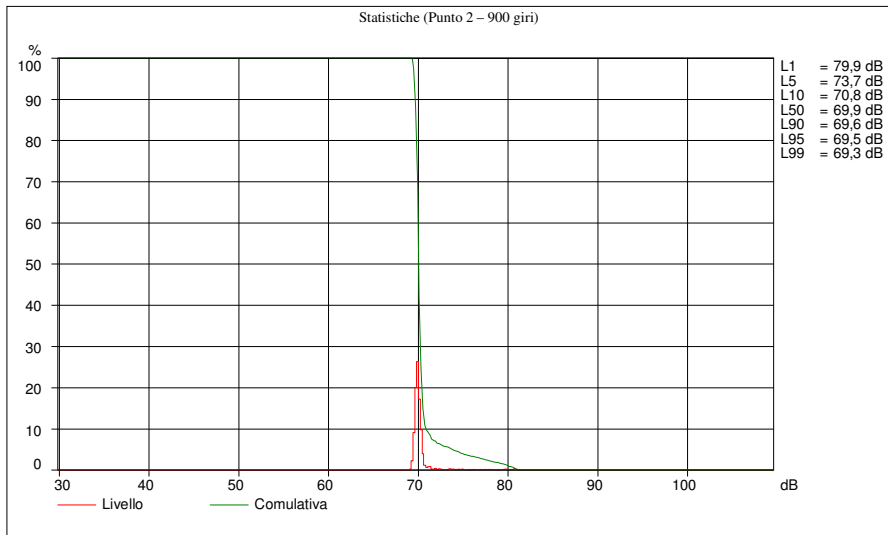


Fig. 73: statistiche (punto 2 - 900 giri)

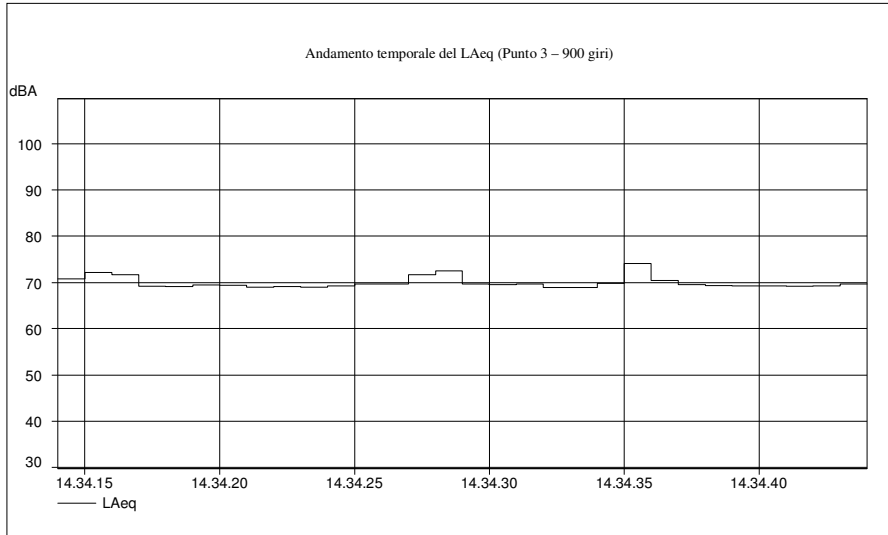


Fig. 74: andamento temporale del LAeq (punto 3 - 900 giri)

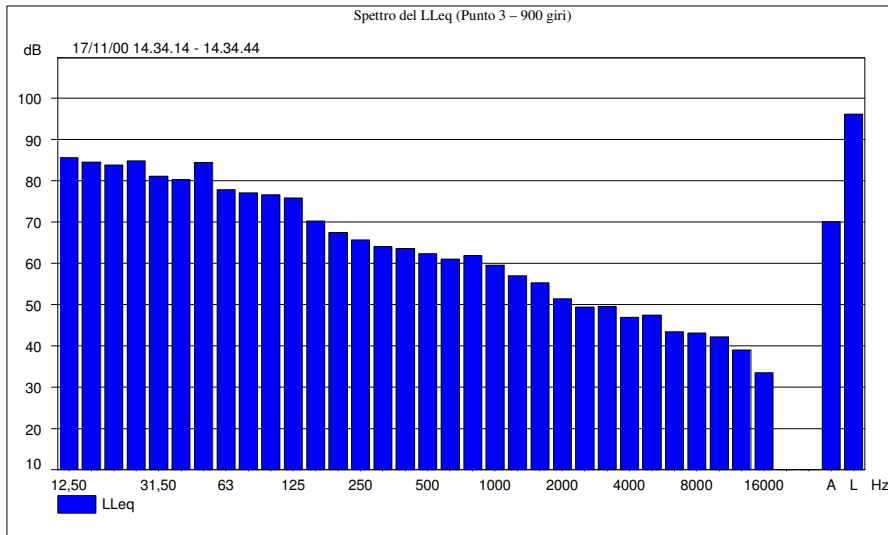
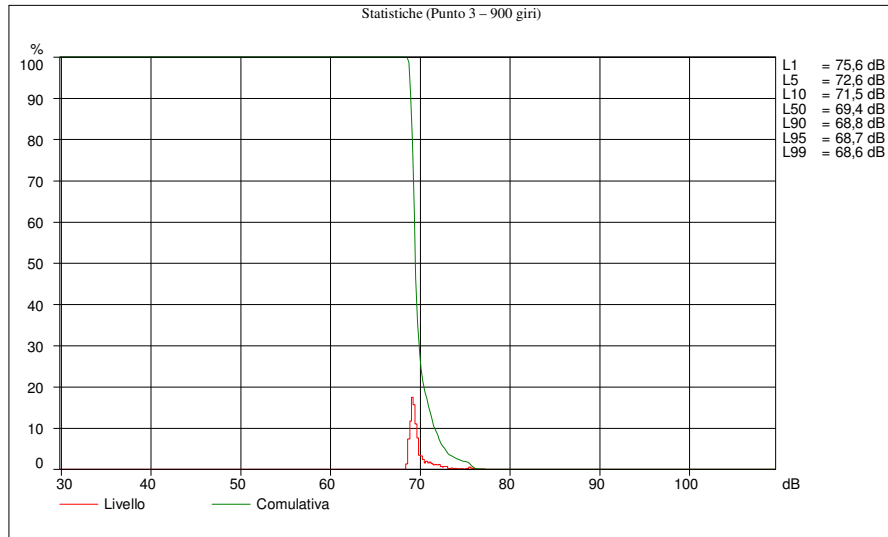
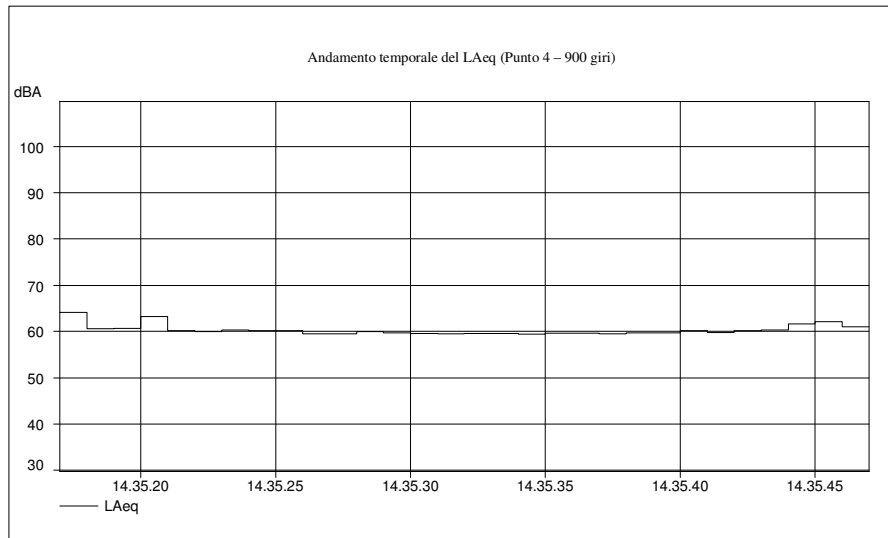


Fig. 75: Spettro del LLeq (punto 3 - 900 giri)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500

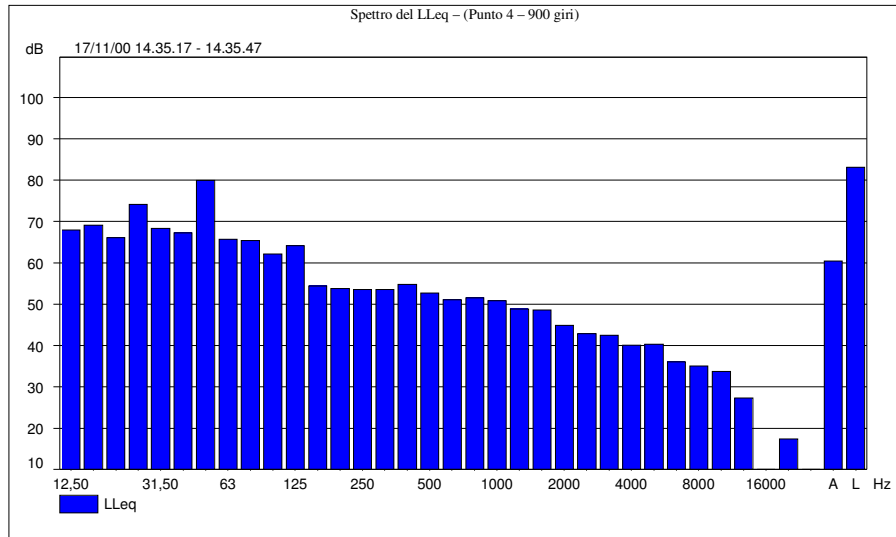


**Fig. 76:** statistiche (punto 3 - 900 giri)

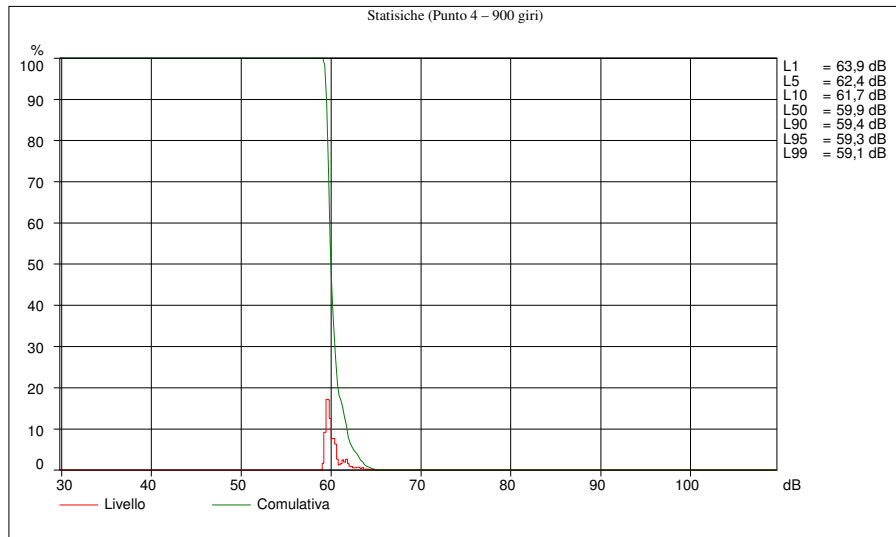


**Fig. 77:** andamento temporale del LAeq (punto 4 - 900 giri)

Misure del rumore prodotto da una macchina ferroviaria D.245 ed su un treno ETR500



**Fig. 78:** Spettro del LLeq (punto 4 - 900 giri)



**Fig. 79:** statistiche (punto 4 - 900 giri)

## **5. Conclusioni**

Dall'analisi dei risultati ottenuti delle misure intensimetriche si evidenzia, in ogni punto di misura, la presenza di componenti di rumore alle basse frequenze (tra 80 e 125 Hz).

Esaminando l'andamento della pressione acustica in corrispondenza di tre sezioni,  $z=45$  cm,  $z=135$  cm,  $z=180$  cm, considerate a tre altezze diverse rispetto al piano xy (vedi figura 35) della copertura della locomotiva, si rileva che:

- a) sezione  $z=45$  cm – è presente un livello di pressione sonora ponderato A e lineare maggiore nei punti H, E, P, Q (posizionati come mostrato in figura 36) sia a 600 che a 900 giri;
- b) sezione  $z=135$  cm – a 600 giri è presente un livello di pressione sonora maggiore nei punti D, O (vedi figura 36), mentre a 900 giri il livello di pressione acustica si mantiene praticamente costante;
- c) sezione  $z=180$  cm – il livello di pressione acustica si mantiene praticamente costante sia a 600 che a 900 giri; nel primo caso il livello di pressione sonora risulta leggermente minore nel punto I (vedi figura 36), mentre nel secondo caso è maggiore nei punti N ed M.

L'andamento della potenza complessiva generata dalla sorgente, valutata seguendo il metodo fornito dalla ISO 9614, conferma che le emissioni di rumore sono distribuite soprattutto alle basse frequenze, tra 80 e 125 Hz.

In particolare, dalle figure 50 e 51, si può notare che, a 600 giri, la

componente principale è localizzata attorno agli 80 Hz, mentre a 900 giri si trova a frequenza maggiore (125 Hz): ciò è dovuto al legame intercorrente tra frequenza e giri di rotazione del motore.

Dall'osservazione dei diagrammi di direttività, il cui indice è stato calcolato seguendo il metodo fornito dalla ISO 3744, si evince che:

- a) a 600 giri la sorgente presenta direzioni preferenziali di emissione in corrispondenza dei punti D, O posizionati come mostrato in figura 36;
- b) a 900 giri la sorgente presenta una direzione preferenziale di emissione in corrispondenza del punto F posizionato come mostrato in figura 36.

Relativamente ai risultati delle misure fonometriche, da una prima osservazione dello spettro del livello equivalente lineare, si evidenzia la presenza di una componente principale a 31,5 Hz per regimi di rotazione del motore pari a 600 giri. Tale componente non risulta nelle misure effettuate nei punti 3 e 4 posizionati sul lato sinistro della macchina (vedi figura 37).

Aumentando la velocità di rotazione del motore a 900 giri, la componente principale si sposta ad una frequenza superiore (50 Hz). In questo caso, la componente non risulta evidente nella misura effettuata nel punto 3 posizionato sul lato sinistro della macchina (vedi figura 37).

Si osserva dunque come le emissioni acustiche prodotte dalla macchina di manovra D.245 sono caratterizzate principalmente da componenti a bassa frequenza, anche nei punti di misura 3 e 4 (vedi figura 37) dove non è evidente una componente dominante.

Mediante il software Evaluator 7820 della Bruel&Kjaer, è stata verificata la presenza di componenti tonali in ciascuna misura seguendo il metodo proposto dal DPCM del 16 Marzo 1998. Le componenti tonali individuate sono riportate in tabella 7.

Analizzando infine i livelli statistici misurati, si riscontra come, nei vari punti di misura, la differenza (L10-L90) sia intorno a 1-2 dB; tale valore evidenzia come il rumore prodotto dalla macchina di manovra D.245 sia stazionario nel tempo.

**Tabella 7:** componenti tonali (in base al DPCM 16-03-1998)

PUNTI DI MISURA	COMPONENTI TONALI (600 giri)	COMPONENTI TONALI (900 giri)
1	31,5 Hz	125 Hz
2	ASSENTI	50 Hz, 125 Hz
3	80 Hz	ASSENTI
4	ASSENTI	50 Hz

### **Elenco dei simboli**

- $L_{Aeq}$  livello equivalente ponderato A
- $L_{Leq}$  livello equivalente lineare
- $L_1$  dose di rumore giornaliera
- $L_i$  livello equivalente ponderato A relativo alla i-esima misura
- $T_i$  durata dell'i-esima misura
- $P$  potenza complessiva erogata dalla sorgente
- $P_i$  potenza erogata dalla sorgente in corrispondenza alla posizione i sulla superficie di misura
- $I_{ni}$  ampiezza della componente normale dell'intensità sonora misurata in corrispondenza alla posizione i sulla superficie di misura
- $S_i$  area del segmento di superficie associata con il punto i
- $DI_i$  indice di direttività, espresso in dB, nella direzione della posizione i della sonda intensimetrica
- $L_{pi}^*$  livello di pressione sonora nella posizione i della sonda intensimetrica
- $\bar{L}_p^*$  livello di pressione sonora mediato sulla superficie di misura

### **Riferimenti bibliografici**

- [1] UNI EN ISO 3744 / 97, *Acustica. Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora. Metodo tecnico progettuale in un campo essenzialmente libero su un piano riflettente.*
- [2] UNI EN ISO 9614-1 / 97, *Acustica. Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico. Misurazione per punti discreti.*