

CAMPAGNA DI MONITORAGGIO

INQUINAMENTO ACUSTICO

E LIVELLI DI VIBRAZIONE

DOVUTI AL TRAFFICO FERROVIARIO SULLA LINEA AV/AC

COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

ANNO 2012

Premessa

Nel corso dell'anno 2012, presso l'abitazione situata in via Quaresima al civico 28-28a, sono stati effettuati due monitoraggi di 24 ore ciascuno per la verifica del livello di rumore e dei livelli di vibrazione generati dai passaggi dei treni sulla linea AV/AC: il primo è stato eseguito tra il 20 e il 21 settembre, mentre il monitoraggio di vibrazioni è relativo al periodo 9-10 ottobre 2012.

Riferimenti normativi

Rumore

- Legge n.447/1995 - Legge Quadro in materia di inquinamento acustico
- DPCM 14/11/97 – Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore
- DM 16/03/98 – Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico
- DPR 459/98 – Regolamento recante norme di esecuzione dell'art. 11 della legge del 26 ottobre 1995, n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario
- LR 15/2001 – Disposizioni in materia di inquinamento acustico

Vibrazioni

- Norma UNI 9614 – Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo

Inquadramento della zona monitorata

L'abitazione oggetto dei monitoraggi (Figura 1) è situata in via Quaresima n° 28-28a, a nord dell'abitato di Castelfranco Emilia. L'edificio si trova ad una distanza minima di circa 57 metri dalla linea ferroviaria AV/AC.



Figura 1 – Area monitorata

Con deliberazione del Consiglio Comunale n. 94 del 12/05/2011, è stata adottata l'ultima variante alla zonizzazione acustica del territorio del Comune di Castelfranco Emilia, che attribuisce all'area indagata la classe III, i cui limiti sono rispettivamente 60 dBA, nel periodo diurno, e 50 dBA, nel periodo notturno.

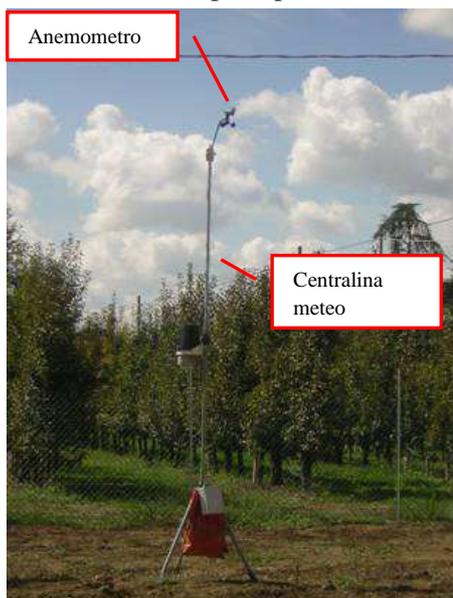
Il monitoraggio acustico è stato realizzato al fine di verificare il rispetto dei limiti di immissione previsti dal decreto DPR 459/98, che fissa i limiti per il rumore ferroviario della linea ad alta velocità in 65 dBA, nel periodo diurno, e 55 dBA, nel periodo notturno, nei 250 m dalla linea stessa.

Di seguito si riportano alcune fotografie che illustrano le varie strumentazioni di misura utilizzate e le loro collocazioni.



Telecamera per ripresa video dei treni

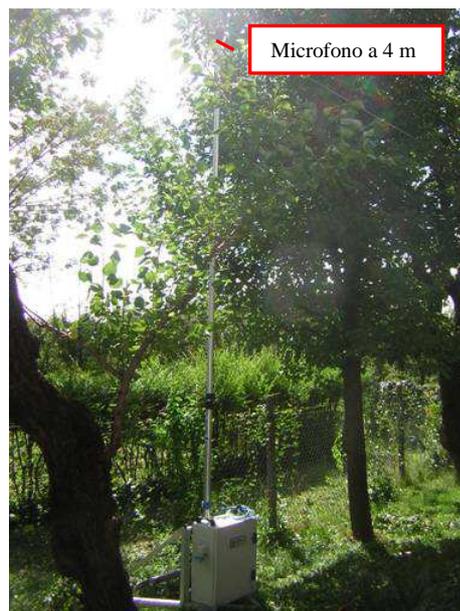
Figura 2 – Videocamera per ripresa video dei treni



Anemometro

Centralina meteo

Figura 3 – Centralina meteorologica



Microfono a 4 m

Figura 4 – Centralina rumore e collocazione del microfono

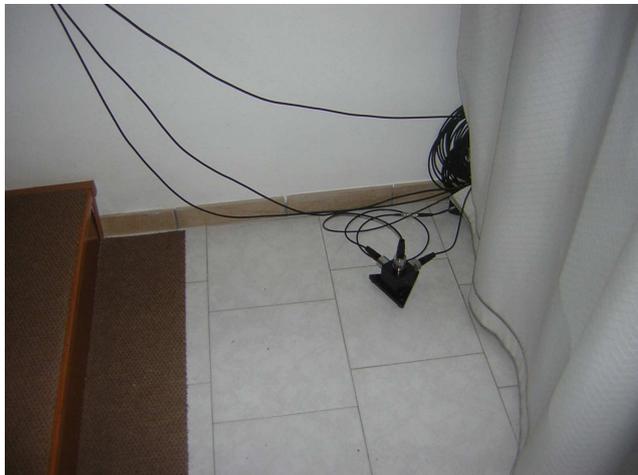


Figura 5 – Collocazione terna di accelerometri al piano terra per misure di vibrazioni (PdM2)

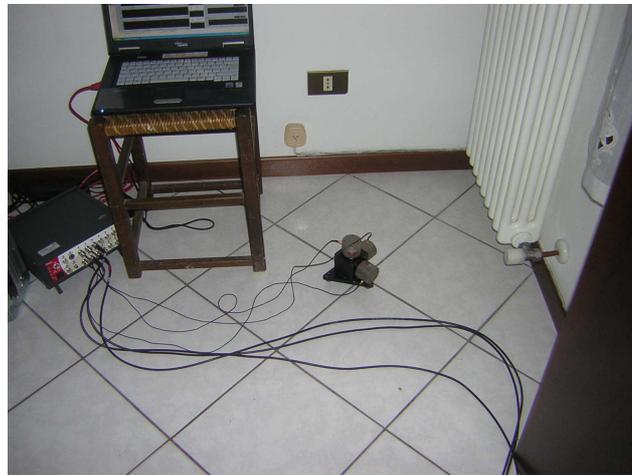


Figura 6 – Collocazione terna di accelerometri al primo piano per misure di vibrazioni (PdM1)

Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata è conforme alle normative vigenti.

Rumore

- Fonometro/analizzatore (modello BLU SOLO), conforme alla classe I delle norme EN 60651/1994 e EN 60804/1994; l'analizzatore in frequenza in tempo reale, in ottave e in 1/3 di ottava con filtri da 12.5 Hz a 20 KHz, è conforme alla classe 0 della norma EN 61260
- Microfono prepolarizzato in campo libero tipo MCE212 in classe I conforme alla norma EN61094, con sensibilità di 50 mV/Pa
- Calibratore acustico tipo Cal21 a norma IEC 942 in classe I
- Kit microfonico per esterno con copertura antipioggia, schermo controvento e punte antivolatili; completo per l'alloggiamento del microfono e del preamplificatore
- Box per esterno, in materiale plastico, comprensivo di batterie dry-fit e aggancio per palo
- Palo componibile di supporto per il microfono a 4 metri di altezza
- Software dBTrait32 (ver. 4.7) per l'importazione, visualizzazione e gestione dei dati misurati su PC.

Vibrazioni

La catena di misura si compone di:

- 1 terna di accelerometri monoassiali KS48C della MMF/01dB (sensibilità 1 V/g);
- 1 terna di accelerometri monoassiali KB12VD della MMF/01dB (sensibilità 10 V/g);
- Analizzatore di spettro in tempo reale NetdB-DAQ12 della Ditta 01dB con 6 canali attivi;
- Calibratore di accelerometri PCB mod. 394M34

- PC portatile e Software dBTrig32 per la gestione della strumentazione, impostazione dei parametri di misure, memorizzazione dei dati e Software dBTrait32 per la post-elaborazione.

Gli accelerometri sono stati resi solidali ai solai degli ambienti monitorati attraverso due blocchi di metallo del peso di 2 kg.

Gli strumenti di misura utilizzati sono dotati di certificato di taratura rilasciato da laboratorio qualificato secondo le norme ISO 16063.

È stata, inoltre, utilizzata una centralina meteo per l'acquisizione dei dati meteorologici, al fine di verificare la conformità delle condizioni meteo durante la misura. Inoltre, è stata installata una videocamera per le riprese dei passaggi dei treni sulla linea AV, con l'obiettivo di individuare orari, velocità e direzione di percorrenza dei treni transitanti durante i rilevamenti dei parametri ambientali.

Parametri meteorologici

- Stazione meteo Vantage Pro Weather della Ditta Davis Instruments, dotata di sensori per temperatura, umidità, velocità e direzione del vento, pioggia caduta, completa di sistema di trasmissione dati via radio al data-logger Envoy, che permette di memorizzare e scaricare i dati meteo misurati.
- Software WeatherLink per acquisire, visualizzare ed elaborare i dati su PC.

Ripresa video del passaggio dei treni

- Telecamera (modello CCD-186A/80M), con sistema ad infrarossi per riprese notturne.
- Registratore digitale per videosorveglianza (modello DVR 440 TAB(S)) per acquisizione eventi video, con modalità "motion detection".

La situazione meteorologica

Il DM 16/03/98 prevede che le misurazioni di rumore debbano essere eseguite in assenza di precipitazioni atmosferiche e con velocità del vento non superiore a 5 m/s. La stazione meteorologica è stata collocata a poca distanza dal punto di misura (vedi Figura 3) e ha registrato le principali variabili meteorologiche con un intervallo di campionamento di 1 minuto.

La Figura mostra l'intensità massima del vento (*Wind Hi speed*) registrata nell'intervallo di campionamento delle variabili meteorologiche; si osserva che il valore indicato dalla normativa, pari a 5 m/s, è stato superato in soli due minuti sull'intero periodo, alle ore 16.00 e 16.12 del giorno 20/09/2012. Tali due periodi non hanno riguardato transiti di treni sulla linea, perciò queste condizioni meteo non hanno influenzato la misura fonometrica e nessun transito è stato annullato.

Per quanto riguarda il valore medio al minuto, l'intensità del vento rilevata è risultata sempre inferiore a 5 m/s. La direzione prevalente di provenienza del vento è risultata da est, est-sud-est

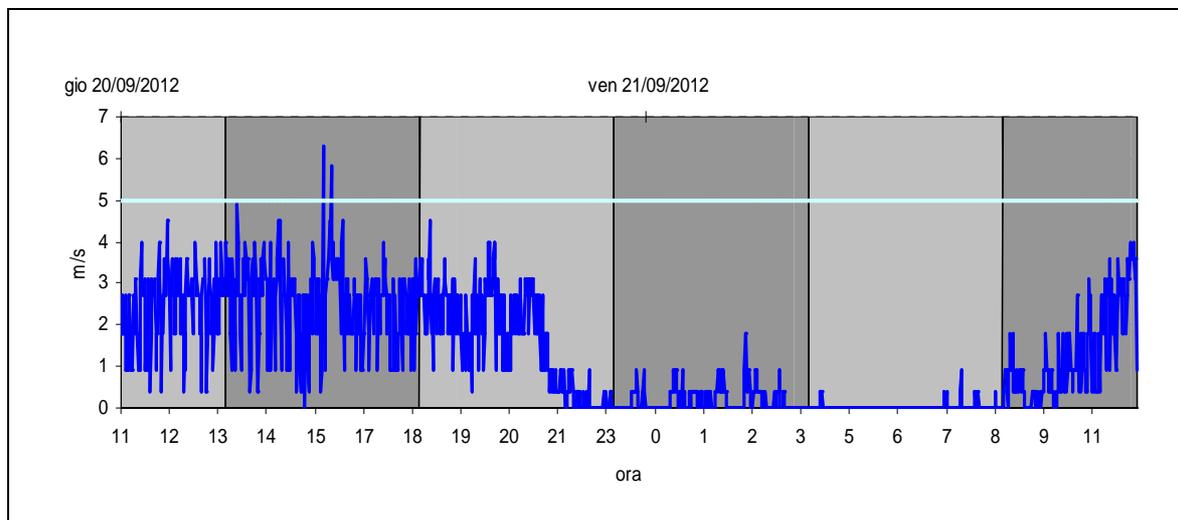


Figura 8 - Velocità massima del vento nell'intervallo di campionamento delle variabili meteorologiche (1 min)

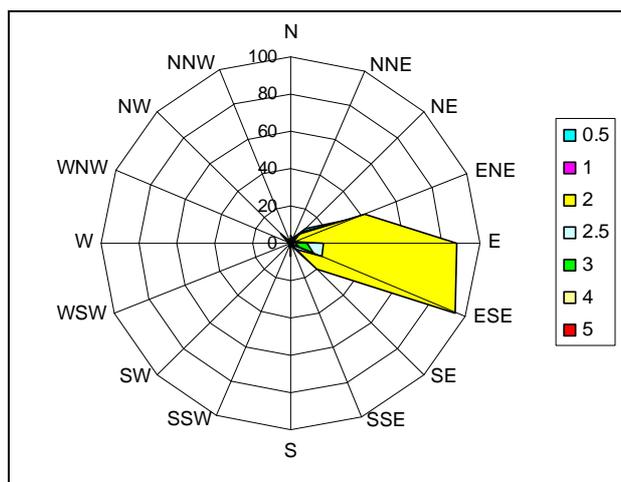


Figura 9 – Direzione prevalente ed intensità (m/s) del vento nell'intervallo di campionamento

Durante il periodo di monitoraggio non si sono verificati eventi piovosi.

RUMORE

Metodologia di misura

La misura è stata eseguita in accordo con il DM 16/03/98 - Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico (Allegato C - Sezione 1 – Metodologia di misura del rumore ferroviario): il fonometro è stato collocato a 4 m di altezza lungo la facciata più esposta al rumore del transito dei treni (vedi Figura 4); la rilevazione ha avuto una durata di 24 ore (dalle ore 12.00 del 20/09/2012 alle ore 12.00 del 21/09/2012).

Il decreto stabilisce che il rispetto dei limiti deve essere valutato distinguendo il contributo di ogni singolo transito ferroviario che superi di 10 dB il livello di fondo, da cui si ricavano i relativi SEL (contenuto energetico normalizzato ad un secondo): una volta sommati i SEL di tutti i transiti di un certo periodo, diurno e notturno, si riporta tale livello energetico associato al rumore all'intero periodo diurno e notturno, ricavando così il parametro $L_{eq,TR}$ da confrontare con i limiti per il rumore ferroviario, stabiliti dal DPR 459/98.

Risultati delle misure fonometriche

Nel periodo monitorato per la matrice rumore, sono transitati complessivamente sulla linea AV 99 convogli ferroviari, di cui 36 di tipo ETR500 sul binario pari, 37 ETR500 sul binario dispari; 13 di tipo Italo sul binario pari, 13 Italo sul binario dispari, che è stato possibile individuare tramite la ripresa video e anche attraverso la registrazione del sonoro.

Al fine di mostrare l'andamento temporale del dato registrato, si riporta in Figura , la storia temporale del livello continuo equivalente L_{Aeq} per le 24 ore di monitoraggio. Per ragioni di leggibilità del grafico, è stato rappresentato il L_{Aeq} integrato su un intervallo temporale di 1 minuto.

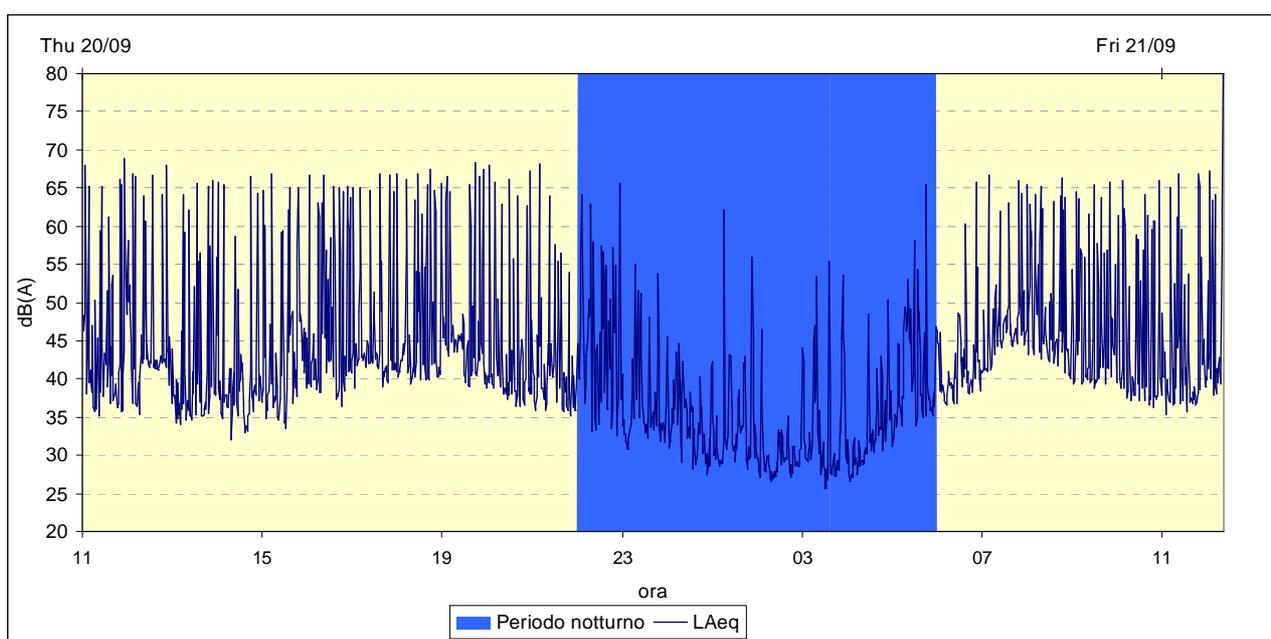


Figura 10 – Storia temporale del livello continuo equivalente

Nella seguente Tabella 1 sono riportati i transiti individuati, come tipologia, binario di transito (P per pari, D per dispari), giorno e ora di inizio, durata dell'evento, L_{Aeq} , L_{max} e SEL.

Tipo Treno	Binario	Giorno	Ora inizio	Durata	Leq (dBA)	Lmax (dBA)	SEL (dBA)
ETR	P	20/09/2012	12.08.17.250	0.00.27.250	70.4	79.7	84.7
ETR	D	20/09/2012	12.11.07.000	0.00.23.750	70.5	77.9	84.3
Italo	D	20/09/2012	12.22.05.500	0.00.19.750	68.8	77.9	81.7
ETR	P	20/09/2012	12.33.47.250	0.00.24.750	71.7	80.2	85.6
Italo	P	20/09/2012	12.47.15.500	0.00.17.500	69.5	77.8	81.9
ETR	D	20/09/2012	12.53.23.250	0.00.20.750	68.4	74.4	81.6
ETR	P	20/09/2012	12.53.44.000	0.00.17.000	71.2	78.2	83.5
ETR	D	20/09/2012	13.13.58.750	0.00.27.750	67.5	74.5	81.9
Italo	D	20/09/2012	13.23.14.250	0.00.29.500	65.2	75.3	79.9
ETR	P	20/09/2012	13.32.54.500	0.00.29.500	68.7	77.3	83.4
ETR	P	20/09/2012	13.47.48.750	0.00.27.000	68.7	77.1	83
ETR	D	20/09/2012	13.54.04.250	0.00.34.750	68.3	77.8	83.7
ETR	P	20/09/2012	14.00.48.000	0.00.26.500	69.2	77.5	83.5
ETR	D	20/09/2012	14.09.07.500	0.00.36.500	67.6	77.6	83.2
ETR	P	20/09/2012	14.45.29.500	0.00.30.500	69.4	78.2	84.2
ETR	D	20/09/2012	14.54.01.000	0.00.31.750	67	75	82.1
ETR	P	20/09/2012	15.02.19.500	0.00.21.250	69.2	76.8	82.5
Italo	D	20/09/2012	15.04.00.750	0.00.26.500	63.6	73.4	77.9
ETR	D	20/09/2012	15.13.01.750	0.00.32.750	69.5	77.3	84.7
Italo	P	20/09/2012	15.35.42.750	0.00.14.000	68.5	76.1	79.9
ETR	D	20/09/2012	15.37.29.000	0.00.22.000	69.3	76.7	82.7
ETR	P	20/09/2012	15.47.44.500	0.00.27.250	69.2	77.1	83.6
ETR	D	20/09/2012	15.49.03.000	0.00.20.750	69.3	75.5	82.5
ETR	P	20/09/2012	16.03.18.000	0.00.28.750	69.8	77.6	84.3
ETR	D	20/09/2012	16.15.52.000	0.00.32.000	68	76	83
Italo	D	20/09/2012	16.20.45.750	0.00.29.500	66.2	75.9	80.9
Italo	P	20/09/2012	16.35.50.500	0.00.26.500	68.7	78.6	83
ETR	D	20/09/2012	16.43.02.000	0.00.31.000	68	75.9	82.9
ETR	P	20/09/2012	16.53.20.250	0.00.20.750	69.9	77	83.1
ETR	D	20/09/2012	16.54.51.500	0.00.29.500	66.5	74	81.2
Italo	P	20/09/2012	16.57.37.500	0.00.19.500	68.6	77.5	81.5
ETR	P	20/09/2012	17.01.50.250	0.00.32.500	67.7	76.8	82.8
ETR	D	20/09/2012	17.11.08.750	0.00.32.750	67.6	75.7	82.8
ETR	P	20/09/2012	17.24.29.500	0.00.35.250	67	76.1	82.4
Italo	P	20/09/2012	17.37.00.000	0.00.21.000	71.3	80.1	84.5
ETR	P	20/09/2012	17.50.32.000	0.00.27.750	70	78.6	84.4
ETR	D	20/09/2012	17.55.12.750	0.00.27.250	67.9	75.2	82.3
ETR	P	20/09/2012	18.00.35.500	0.00.26.250	70.3	78.2	84.5
ETR	D	20/09/2012	18.12.56.250	0.00.23.000	70.8	77.7	84.4
Italo	D	20/09/2012	18.22.58.500	0.00.18.500	68.5	76.9	81.1
ETR	P	20/09/2012	18.28.02.250	0.00.19.500	71.7	78.5	84.6
Italo	P	20/09/2012	18.39.53.250	0.00.16.500	71.2	79.2	83.3
ETR	D	20/09/2012	18.45.09.500	0.00.23.750	71.5	79.2	85.3
ETR	P	20/09/2012	18.50.49.250	0.00.18.000	71.6	77.9	84.1
ETR	D	20/09/2012	18.59.51.500	0.00.35.500	68.6	77.6	84.1

Tipo Treno	Binario	Giorno	Ora inizio	Durata	Leq (dBA)	Lmax (dBA)	SEL (dBA)
Italo	D	20/09/2012	19.05.03.000	0.00.26.750	66.9	76.7	81.1
ETR	P	20/09/2012	19.06.40.000	0.00.21.000	71	78	84.2
ETR	D	20/09/2012	19.10.54.000	0.00.23.750	70.5	78.3	84.3
ETR	D	20/09/2012	19.37.49.250	0.00.49.000	67.4	78.2	84.3
Italo	P	20/09/2012	19.43.51.000	0.00.21.750	72.7	81.9	86.1
ETR	D	20/09/2012	19.50.08.250	0.00.44.250	67.8	77.7	84.3
ETR	P	20/09/2012	19.55.07.250	0.00.09.250	75.5	78.8	85.1
ETR	P	20/09/2012	20.03.33.750	0.00.29.500	70.9	79.9	85.6
ETR	D	20/09/2012	20.10.53.250	0.00.39.500	70	81.6	86
Italo	D	20/09/2012	20.19.42.750	0.00.28.500	66.1	75.7	80.7
ETR	P	20/09/2012	20.30.43.250	0.00.18.000	71.4	77.8	83.9
Italo	P	20/09/2012	20.41.40.500	0.00.19.250	68.8	76.9	81.6
ETR	P	20/09/2012	20.53.50.000	0.00.15.000	71.1	76.6	82.9
ETR	P	20/09/2012	20.58.28.500	0.00.32.500	69.9	79	85
ETR	D	20/09/2012	21.10.30.000	0.00.29.250	71.2	79.4	85.8
Italo	D	20/09/2012	21.23.27.750	0.00.33.000	66.6	76.9	81.8
ETR	P	20/09/2012	22.06.33.500	0.00.35.750	68.2	78	83.8
Italo	P	20/09/2012	22.17.50.000	0.00.20.000	67.6	78.4	80.7
ETR	P	20/09/2012	22.57.16.250	0.00.42.000	67.1	77	83.4
ETR	D	21/09/2012	05.46.28.750	0.00.37.250	67.5	75.5	83.2
ETR	D	21/09/2012	06.52.03.000	0.00.32.500	68.4	76.5	83.5
ETR	D	21/09/2012	07.08.58.250	0.00.31.500	69.5	77.7	84.5
Italo	D	21/09/2012	07.24.08.000	0.00.28.750	65.1	74.8	79.7
Italo	P	21/09/2012	07.36.37.250	0.00.15.750	68.7	77.6	80.7
ETR	P	21/09/2012	07.49.17.500	0.00.28.750	69.1	77.5	83.7
ETR	D	21/09/2012	07.53.15.500	0.00.25.750	68	74.8	82.1
ETR	P	21/09/2012	08.00.05.250	0.00.19.750	70.2	78.2	83.1
Italo	D	21/09/2012	08.04.26.500	0.00.21.250	67.2	76.1	80.5
ETR	D	21/09/2012	08.11.15.000	0.00.33.750	66.5	75.9	81.8
ETR	P	21/09/2012	08.17.51.500	0.00.25.250	69.6	76.9	83.6
Italo	D	21/09/2012	08.20.29.250	0.00.22.000	66.7	76.1	80.1
Italo	P	21/09/2012	08.35.41.250	0.00.22.000	67.7	76.4	81.1
ETR	D	21/09/2012	08.44.15.750	0.00.26.500	67.4	76	81.6
ETR	P	21/09/2012	08.46.12.000	0.00.49.250	67.1	77.7	84.1
Italo	P	21/09/2012	08.49.34.000	0.00.21.000	66.7	74.6	79.9
ETR	D	21/09/2012	08.51.43.750	0.00.26.750	67.2	75	81.5
ETR	P	21/09/2012	09.06.09.000	0.00.24.000	68.5	75.6	82.3
ETR	D	21/09/2012	09.09.26.500	0.00.24.500	67.4	75.2	81.3
Italo	D	21/09/2012	09.23.10.250	0.00.22.500	65.7	75.3	79.3
ETR	P	21/09/2012	09.29.07.000	0.00.26.250	69	79.3	83.2
ETR	D	21/09/2012	09.39.21.750	0.00.28.750	67	74.9	81.6
ETR	P	21/09/2012	09.50.28.250	0.00.24.000	69.7	78.7	83.5
ETR	D	21/09/2012	09.50.56.250	0.00.30.500	67.8	76.4	82.7
ETR	P	21/09/2012	10.08.13.250	0.00.26.000	69.6	78.4	83.7
ETR	D	21/09/2012	10.10.50.000	0.00.23.500	68.5	76	82.2
ETR	D	21/09/2012	10.38.18.500	0.00.34.250	66.6	75.4	82
Italo	P	21/09/2012	10.40.49.750	0.00.22.750	67.1	76.5	80.7

Tipo Treno	Binario	Giorno	Ora inizio	Durata	Leq (dBA)	Lmax (dBA)	SEL (dBA)
ETR	D	21/09/2012	10.49.50.750	0.00.31.500	66.5	75.1	81.5
ETR	P	21/09/2012	10.55.52.750	0.00.21.500	70.5	77.8	83.9
ETR	D	21/09/2012	11.11.00.500	0.00.34.250	67.5	76	82.9
Italo	D	21/09/2012	11.20.29.250	0.00.19.500	66	74.8	78.9
ETR	P	21/09/2012	11.22.51.500	0.00.28.250	70.2	78.6	84.7
ETR	P	21/09/2012	11.49.17.000	0.00.13.250	72.9	78.4	84.1
ETR	D	21/09/2012	11.50.27.500	0.00.28.250	68.5	75.8	83

Tabella 1 – Transiti individuati e relativi parametri acustici associati

Si osserva che sono transitati 95 treni nel periodo diurno e 4 treni nel periodo notturno (indicato con lo sfondo azzurro). È, inoltre, evidenziato in giallo il transito più rumoroso, che è risultato di tipo Italo, sul binario pari, alle ore 19.43.51 del giorno 20/09/2012.

Nella seguente Tabella 2, è riportato il risultato del monitoraggio come livello LAeq,TR arrotondato a 0.5 dB come previsto dalla normativa, da confrontare con i limiti, anch'essi indicati nella tabella.

Periodo	LAeq,TR (dBA)	Limite (dBA)
Diurno	55.5	65
Notturmo	44.5	55

Tabella 2- LAeq,TR diurno e notturno confrontati con i limiti vigenti

Si osserva che i limiti risultano rispettati.

Il livello diurno rilevato risulta superiore, ma comunque in linea, con quanto evidenziato dal monitoraggio di post operam effettuato a seguito dell'entrata in funzione della linea AV/AC dal gestore RFI/TAV, istruito dalla scrivente Agenzia nell'ambito dell'attività di supporto tecnico all'Osservatorio Ambientale: i risultati di tale indagine avevano evidenziato un livello diurno di immissione acustica dovuta al rumore ferroviario LAeq,TR pari a 51.8 dB(A), considerando il numero di treni e le velocità massime per tratta previsti dal programma di esercizio valutato nel Progetto Esecutivo (PE) del 1999, che contemplava soltanto treni di tipo ETR500.

Attualmente, invece, nel periodo diurno transitano 25 treni di tipo Italo, che non erano stati previsti in fase progettuale; per contro sono presenti meno treni di tipo ETR500 (70) rispetto a quelli previsti dal programma di esercizio a regime (82) per il periodo diurno.

Nel monitoraggio di post operam non è stata eseguita l'analoga indagine sul periodo notturno, in quant all'epoca (nel 2009) non transitavano treni. Non è, perciò, possibile effettuare un confronto.

VIBRAZIONI

Metodologia di misura

Per quanto riguarda il disturbo da vibrazioni in ambienti abitativi non esiste una vera e propria normativa nazionale.

L'unico documento tecnico di riferimento è la Norma UNI 9614 '*Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo*', che dà indicazioni su come valutare il disturbo da vibrazioni alla popolazione all'interno di edifici.

La trattazione della Norma si basa sulla distinzione in vibrazioni di livello costante, non costante ed impulsivo.

Nel nostro caso si ritiene di poter ricondurre il fenomeno in esame al tipo non costante. Per tale tipo di vibrazione la Norma raccomanda di considerare un '*intervallo di tempo rappresentativo*' del fenomeno, su cui ricavare l'accelerazione equivalente ovvero il livello equivalente dell'accelerazione. Deve essere, inoltre, applicata una ponderazione in frequenza secondo un filtro, per il quale si è ritenuto di considerare quello per postura non nota o variabile, tenuto conto del fatto che gli ambienti indagati hanno diversi tipi di utilizzo, per cui in effetti non è nota la postura prevalente per tali ambienti.

Come valori di riferimento per la valutazione del disturbo, la Norma raccomanda nel caso di vibrazioni di livello non costante di riferirsi ai valori di riferimento indicati per le vibrazioni costanti, che vengono di seguito descritti.

Per la postura non nota, i valori di riferimento da considerare sono quelli per le vibrazioni lungo gli assi x e y , che per le abitazioni corrispondono ad un'accelerazione di $7.2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ (equivalente ad un livello di 77 dB) per il periodo diurno (dalle ore 7 alle ore 22), ad un'accelerazione di $5.0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ (corrispondente ad un livello di 74 dB) per il periodo notturno (dalle ore 22 alle ore 7). Ciascun fenomeno vibratorio, legato al transito di un treno, il cui livello equivalente dell'accelerazione pesata superi tali valori, a seconda del periodo diurno e notturno, sarà ritenuto disturbante.

Poiché però tale procedura, che presuppone di considerare l'evento vibratorio dovuto al transito ferroviario come una vibrazione non costante, non è individuata con certezza nella Norma, si è deciso di effettuare anche un secondo tipo di analisi, che riguarda il valore massimo di accelerazione pesata (o livello massimo pesato di accelerazione) confrontato con il valore di riferimento indicato al punto A.4 dell'Appendice alla Norma UNI 9614, che fa esplicito riferimento alle '*vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari e immesse nelle abitazioni*': tale valore limite raccomandato è di $21.6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ per l'accelerazione, che corrisponde ad un livello pari a 86.7 dB, per gli assi x e y , e di $30 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$, che corrisponde ad un livello di 89.5 dB, per l'asse z .

Il risultato delle due analisi permetterà di verificare se e quali transiti sono da considerare a tutti gli effetti disturbanti.

La metodologia seguita consiste nel rilevare l'accelerazione nelle tre direzioni dello spazio (verticale, trasversale e longitudinale) attraverso sensori accelerometrici, resi solidali ai solai tramite un cubo sufficientemente pesante, posti al piano più basso e più alto dell'edificio ricettore, grazie ad un sistema di misura e registrazione tale da ricavare i dati in contemporanea sui tre assi e nei due piani considerati. Nel caso in esame, l'asse x corrisponde alla direzione perpendicolare alla linea ferroviaria, l'asse y alla direzione parallela alla linea ferroviaria e l'asse z alla direzione verticale.

Le due terne di accelerometri sono state posizionate una al piano terra e una al primo piano (vedi Figure 6 e 7) dell'abitazione più prossima per i due civici considerati.

I rilievi sono stati eseguiti con durata di 24 ore (dalle ore 11.00 del 09/10/2012 alle ore 11.00 del 10/10/2012), al fine di ottenere l'informazione su tutti i transiti dei due periodi di riferimento, diurno e notturno. In fase di post-elaborazione è stato possibile riconoscere i fenomeni vibratorii dovuti ai transiti ferroviari, attraverso la registrazione audio e video dei transiti.

I monitoraggi sono stati, inoltre, correlati a rilevazioni meteorologiche eseguite in contemporanea, al fine di verificare che le condizioni meteo fossero idonee, in particolare per verificare l'assenza di precipitazioni. Si osserva che in nessun caso è stato necessario invalidare degli eventi vibratorii correlati ai transiti.

In fase di post-elaborazione è stato individuato l'intervallo di tempo rappresentativo per ciascun evento vibratorio generato dal transito di treni, sul quale è stato ricavato il livello di accelerazione complessiva ponderata in frequenza.

Su tale intervallo sono state effettuate le due diverse analisi sopra descritte: il $L_{eq(W)}$ livello di accelerazione medio sul periodo individuato per l'evento vibratorio associato al transito di un treno, per ciascun asse, pesato con il filtro per postura non nota o variabile, viene messo a confronto con i valori indicati nella Norma UNI 9614 per vibrazioni non costanti; $L_{max(W)}$ sul periodo individuato per l'evento vibratorio, per ciascun asse, pesato con il filtro per postura non nota o variabile, viene messo a confronto con il valore indicato al punto A.4 dell'Allegato alla Norma UNI 9614, relativo alle vibrazioni prodotte dal transito dei treni.

Risultati delle misure di vibrazioni

L'indagine effettuata ha evidenziato che i livelli più elevati si rilevano sugli assi z per entrambi i punti di monitoraggio; in particolare, l'asse che evidenzia i valori più alti è l'asse z del piano terra, come si può osservare dalle seguenti Figure 13 e 14, che riportano gli andamenti temporali dei tre assi per ciascun punto di misura.

Per ragioni di leggibilità del grafico, è stato rappresentato il livello integrato su un intervallo temporale di 10 secondi.

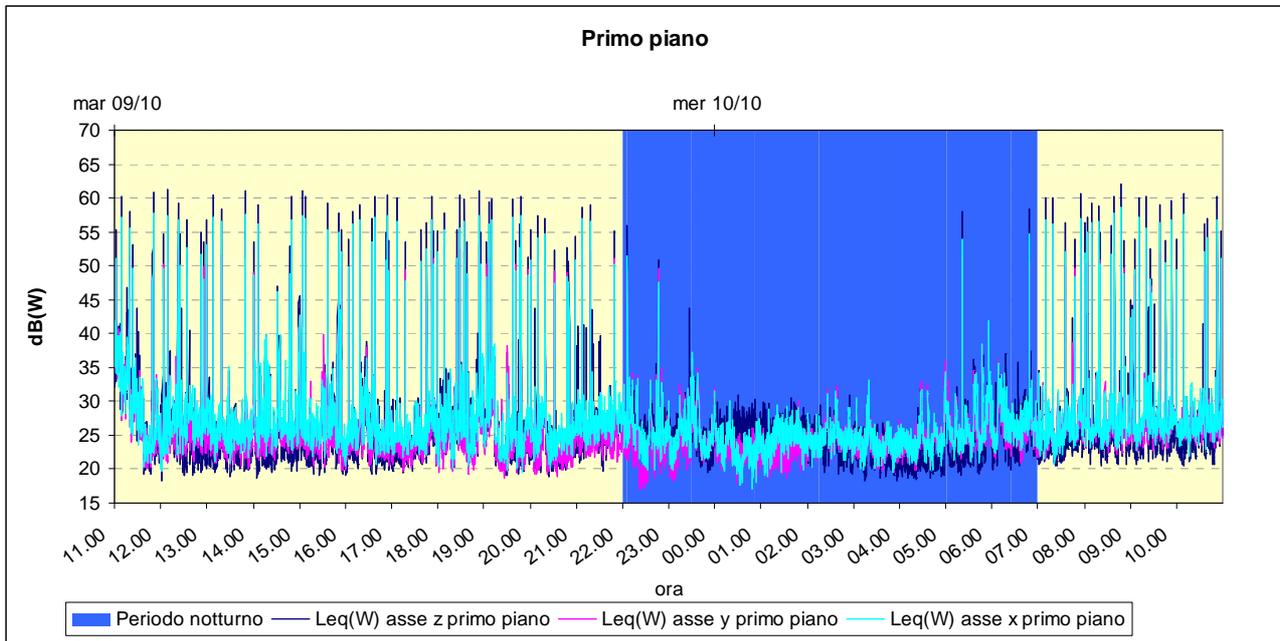


Figura 13 – Storia temporale del livello continuo equivalente pesato per i tre assi del primo piano

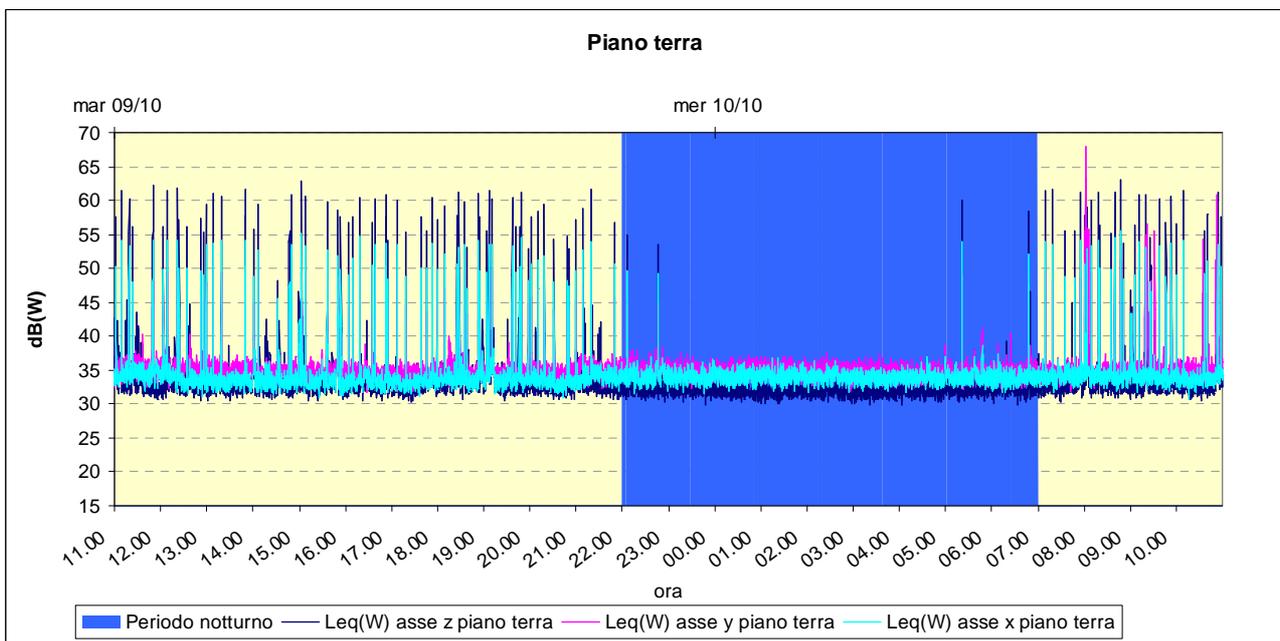


Figura 14 – Storia temporale del livello continuo equivalente pesato per i tre assi del piano terra

Di seguito, sono riportati i livelli vibrazionali relativi agli assi z, in entrambi i punti di misura, per ciascun transito: in Tabella sono evidenziati la tipologia di treno (ETR 500/Italo), binario (P per pari; D per dispari), data e ora inizio dell'evento riconosciuto, durata dell'evento vibrazionale, Leq pesato e Lmax pesato. Sono, inoltre, evidenziati in giallo (periodo diurno) e in azzurro (periodo notturno) i transiti che presentano i livelli più elevati.

Sorgente	Data/Ora inizio	Durata	Leq(W) (dB)	Lmax(W) (dB)
ETR P	09/10/12 11.02.33.200	0.00.07.100	56.8	59.7
ETR D	09/10/12 11.08.40.300	0.00.06.200	62.3	65.3
Italo D	09/10/12 11.19.08.900	0.00.03.900	62.7	66.1
ETR P	09/10/12 11.23.57.100	0.00.07.300	56.4	59.6
ETR P	09/10/12 11.49.46.500	0.00.07.700	56	59.5
ETR D	09/10/12 11.49.59.800	0.00.05.900	63.2	67
ETR P	09/10/12 12.04.05.100	0.00.07.500	56.6	59.7
ETR D	09/10/12 12.08.53.400	0.00.05.800	63.5	66.8
Italo D	09/10/12 12.22.21.400	0.00.03.500	63.5	67
ETR P	09/10/12 12.24.13.800	0.00.07.000	56.3	59.2
Italo P	09/10/12 12.34.34.200	0.00.03.800	60.8	63.7
ETR P	09/10/12 12.52.51.900	0.00.07.700	55.9	59.5
ETR P	09/10/12 12.56.24.600	0.00.07.500	55.2	58.4
ETR D	09/10/12 12.58.44.200	0.00.07.400	58.8	62.5
ETR D	09/10/12 13.08.20.800	0.00.06.200	62.5	65.6
Italo D	09/10/12 13.18.49.300	0.00.04.300	62.1	66.1
ETR D	09/10/12 13.49.41.400	0.00.05.600	63.3	66.9
ETR P	09/10/12 13.50.40.500	0.00.07.500	56.2	59.4
ETR P	09/10/12 14.01.15.400	0.00.07.300	55.9	58.7
ETR D	09/10/12 14.06.55.600	0.00.06.000	62.4	65.8
ETR P	09/10/12 14.47.17.000	0.00.07.300	56.6	59.4
ETR D	09/10/12 14.50.09.200	0.00.06.100	62.6	65.5
ETR P	09/10/12 15.03.27.000	0.00.05.900	55.9	58.2
Italo D	09/10/12 15.03.33.500	0.00.03.700	64.7	67.3
ETR D	09/10/12 15.08.19.100	0.00.06.200	62.4	65.5
Italo P	09/10/12 15.36.35.200	0.00.03.700	60.5	62.7
ETR D	09/10/12 15.36.38.900	0.00.05.400	62.8	65.8
ETR D	09/10/12 15.50.36.400	0.00.06.200	61.9	65.2
ETR P	09/10/12 15.54.11.300	0.00.06.900	56.8	60.4
ETR P	09/10/12 16.04.08.100	0.00.07.300	56.4	59.6
ETR D	09/10/12 16.09.57.000	0.00.05.700	62.5	67.2
Italo D	09/10/12 16.18.41.300	0.00.04.400	62.3	65.7
Italo P	09/10/12 16.34.24.300	0.00.03.700	61	63.7
ETR D	09/10/12 16.38.49.500	0.00.06.200	62.4	65.7
ETR P	09/10/12 16.53.02.200	0.00.06.800	56.6	59.4
ETR D	09/10/12 16.53.51.300	0.00.06.300	62.4	65.2
Italo P	09/10/12 16.55.34.300	0.00.04.300	57.3	59.4
ETR D	09/10/12 17.07.34.700	0.00.05.700	62.6	66.8
ETR P	09/10/12 17.18.04.800	0.00.07.500	55.3	58.5
ETR P	09/10/12 17.38.23.800	0.00.07.300	56.8	59.9
Italo P	09/10/12 17.46.03.500	0.00.03.600	60.5	64
ETR D	09/10/12 17.53.04.800	0.00.05.800	62.9	66.5
ETR P	09/10/12 17.53.42.000	0.00.07.100	56.6	59.6
ETR P	09/10/12 17.59.29.200	0.00.07.400	56.5	59.7
ETR D	09/10/12 18.09.07.000	0.00.06.200	62.6	65.1
ETR P	09/10/12 18.24.41.100	0.00.07.400	56.5	59.5
Italo D	09/10/12 18.28.12.800	0.00.04.100	64.1	66.7

Sorgente	Data/Ora inizio	Durata	Leq(W) (dB)	Lmax(W) (dB)
ETR D	09/10/12 18.34.54.500	0.00.05.700	62.4	66.3
ETR P	09/10/12 18.37.58.600	0.00.04.100	58.6	61.5
ETR D	09/10/12 18.53.21.400	0.00.05.700	63.3	66.6
ETR P	09/10/12 18.55.14.400	0.00.07.300	56.4	59.7
ETR P	09/10/12 19.03.49.800	0.00.07.200	54.8	58.2
Italo D	09/10/12 19.06.26.700	0.00.03.700	63.9	67.5
ETR D	09/10/12 19.10.34.400	0.00.05.900	62.1	65.1
ETR D	09/10/12 19.37.09.000	0.00.05.800	62.6	66.7
ETR P	09/10/12 19.41.01.700	0.00.05.600	56.1	59.2
Italo P	09/10/12 19.46.13.200	0.00.03.800	60.2	62.5
ETR D	09/10/12 19.48.53.200	0.00.06.100	62.4	64.9
ETR P	09/10/12 19.57.09.200	0.00.09.500	51.6	54.2
ETR P	09/10/12 20.00.59.200	0.00.07.200	56.9	59.8
ETR D	09/10/12 20.10.07.100	0.00.06.200	62	65.3
Italo D	09/10/12 20.18.38.000	0.00.04.000	63	66.1
ETR P	09/10/12 20.31.17.300	0.00.07.200	55.7	58.6
ETR P	09/10/12 20.48.07.200	0.00.07.300	56.4	59.2
Italo P	09/10/12 20.50.35.700	0.00.05.700	53.2	56.3
ETR P	09/10/12 20.59.18.900	0.00.07.400	56	58.8
ETR D	09/10/12 21.07.56.100	0.00.05.700	62.3	67.2
Italo D	09/10/12 21.18.55.600	0.00.03.700	63.2	66
ETR P	09/10/12 21.49.42.400	0.00.07.200	56.6	59.4
ETR D	10/10/12 07.10.14.000	0.00.05.800	62.3	66.2
Italo D	10/10/12 07.18.42.100	0.00.03.800	64.1	67.7
Italo P	10/10/12 07.35.42.600	0.00.03.500	60.7	64.4
ETR P	10/10/12 07.47.34.900	0.00.07.200	55.9	58.8
ETR D	10/10/12 07.55.31.200	0.00.05.800	63	66.5
ETR P	10/10/12 08.00.40.300	0.00.07.500	57.4	60.6
ETR D	10/10/12 08.09.15.200	0.00.06.300	62.2	65.6
Italo D	10/10/12 08.19.20.900	0.00.04.100	62.4	65.9
ETR P	10/10/12 08.20.40.500	0.00.07.000	56.5	59.6
Italo P	10/10/12 08.35.30.900	0.00.03.800	59.9	62.6
ETR D	10/10/12 08.39.31.100	0.00.06.300	62.2	64.8
sovrapp ETR P-D	10/10/12 08.47.40.700	0.00.06.400	63.9	67.1
Italo P	10/10/12 08.51.10.000	0.00.04.600	56.9	59.2
ETR P	10/10/12 09.05.25.600	0.00.07.500	56.5	59.8
ETR D	10/10/12 09.11.03.200	0.00.06.100	62.1	65.8
Italo D	10/10/12 09.20.09.900	0.00.04.100	64	67.7
ETR P	10/10/12 09.25.36.800	0.00.06.800	56.5	59.4
ETR P	10/10/12 09.28.06.000	0.00.08.700	51.2	54.3
ETR D	10/10/12 09.38.45.100	0.00.06.300	61.8	64.5
ETR P	10/10/12 09.46.25.300	0.00.07.600	56	59
ETR D	10/10/12 09.53.42.000	0.00.06.300	61.6	64.5
ETR P	10/10/12 10.00.17.800	0.00.07.300	56.6	59.5
ETR D	10/10/12 10.08.43.600	0.00.06.300	62.5	65.2
Italo P	10/10/12 10.36.41.200	0.00.03.500	60.5	63.3
ETR D	10/10/12 10.40.17.000	0.00.06.200	61.8	64.9

Sorgente	Data/Ora inizio	Durata	Leq(W) (dB)	Lmax(W) (dB)
ETR D	10/10/12 10.53.29.500	0.00.06.000	62.6	65.4
ETR P	10/10/12 10.58.23.500	0.00.07.400	56.5	59.9

Tabella 5 - PdM1 (asse z) primo piano – Giorno

Sorgente	Data/Ora inizio	Durata	Leq(W) (dB)	Lmax(W) (dB)
Italo P	09/10/12 22.06.32.800	0.00.03.900	59.8	62.9
ETR P	09/10/12 22.46.31.800	0.00.08.500	51.6	54.7
ETR D	10/10/12 05.21.40.500	0.00.07.500	59	62.4
ETR D	10/10/12 06.48.36.000	0.00.06.000	62.1	65.8

Tabella 6 - PdM1 (asse z) primo piano – Notte

Sorgente/Binario	Data/Ora inizio	Durata	Leq(W) (dB)	Lmax(W) (dB)
ETR P	09/10/12 11.02.33.200	0.00.07.200	59	62.2
ETR D	09/10/12 11.08.40.200	0.00.06.300	63.4	66.3
Italo D	09/10/12 11.19.08.500	0.00.04.300	64.9	68.1
ETR P	09/10/12 11.23.57.100	0.00.07.400	59.1	62.5
ETR P	09/10/12 11.49.46.800	0.00.07.300	59.1	62.3
ETR D	09/10/12 11.50.00.000	0.00.05.600	64.6	67.6
ETR P	09/10/12 12.04.04.900	0.00.07.700	58	61.1
ETR D	09/10/12 12.08.53.200	0.00.06.000	63.6	66.5
Italo D	09/10/12 12.22.20.900	0.00.04.000	65.7	69.7
ETR P	09/10/12 12.24.13.800	0.00.07.000	58.7	61.7
Italo P	09/10/12 12.34.33.900	0.00.04.300	59.5	62.7
ETR P	09/10/12 12.52.52.300	0.00.07.400	58.5	61.9
ETR P	09/10/12 12.56.24.500	0.00.07.700	57.1	60.1
ETR D	09/10/12 12.58.44.500	0.00.07.000	61.4	64.7
ETR D	09/10/12 13.08.20.900	0.00.06.100	63	65.8
Italo D	09/10/12 13.18.49.500	0.00.04.100	64.5	68
ETR D	09/10/12 13.49.41.000	0.00.06.000	63.8	66.7
ETR P	09/10/12 13.50.40.700	0.00.07.200	59	62.5
ETR P	09/10/12 14.01.15.400	0.00.07.400	58.2	61.1
ETR D	09/10/12 14.06.55.300	0.00.06.400	62.5	65
ETR P	09/10/12 14.47.17.100	0.00.07.100	59.2	62.9
ETR D	09/10/12 14.50.09.000	0.00.06.300	63.3	65.7
ETR P	09/10/12 15.03.26.800	0.00.06.100	56.9	58.7
Italo D	09/10/12 15.03.32.900	0.00.04.300	66	69.2
ETR D	09/10/12 15.08.19.000	0.00.06.400	62.9	65.9
Italo P	09/10/12 15.36.35.100	0.00.03.800	60	63.6
ETR D	09/10/12 15.36.38.900	0.00.06.200	62.5	65.2
ETR D	09/10/12 15.50.36.200	0.00.06.300	62.5	65
ETR P	09/10/12 15.54.11.200	0.00.07.100	58.9	62.6
ETR P	09/10/12 16.04.08.100	0.00.07.300	58.9	62.3
ETR D	09/10/12 16.09.57.200	0.00.05.600	62.8	66.4
Italo D	09/10/12 16.18.41.500	0.00.04.100	64	68.5
Italo P	09/10/12 16.34.24.100	0.00.04.100	60.3	62.9
ETR D	09/10/12 16.38.49.300	0.00.06.400	62.5	64.8

Sorgente/Binario	Data/Ora inizio	Durata	Leq(W) (dB)	Lmax(W) (dB)
ETR P	09/10/12 16.53.02.200	0.00.06.900	59	62.6
ETR D	09/10/12 16.53.51.200	0.00.06.400	62.8	65.4
Italo P	09/10/12 16.55.34.000	0.00.05.700	56.4	59.7
ETR D	09/10/12 17.07.34.400	0.00.06.000	62.4	65.8
ETR P	09/10/12 17.18.04.600	0.00.07.800	57.1	59.9
ETR P	09/10/12 17.38.23.800	0.00.07.200	59.1	62.1
Italo P	09/10/12 17.46.03.200	0.00.04.100	59.2	62.3
ETR D	09/10/12 17.53.04.600	0.00.06.000	63	66
ETR P	09/10/12 17.53.41.600	0.00.07.800	57.7	60.4
ETR P	09/10/12 17.59.29.300	0.00.07.300	58.6	62.2
ETR D	09/10/12 18.09.06.700	0.00.06.400	63.7	66.2
ETR P	09/10/12 18.24.41.100	0.00.07.200	59.1	62.5
Italo D	09/10/12 18.28.12.700	0.00.04.200	64.9	68.1
ETR D	09/10/12 18.34.54.600	0.00.05.600	62.3	65.4
ETR P	09/10/12 18.37.58.600	0.00.04.700	57.3	60.4
ETR D	09/10/12 18.53.21.100	0.00.06.100	63.2	65.7
ETR P	09/10/12 18.55.14.500	0.00.07.300	59.1	62.5
ETR P	09/10/12 19.03.49.500	0.00.07.900	56.6	59.4
Italo D	09/10/12 19.06.26.200	0.00.04.200	65.4	68.5
ETR D	09/10/12 19.10.34.300	0.00.06.000	62.5	65.4
ETR D	09/10/12 19.37.09.100	0.00.05.800	63	66.2
ETR P	09/10/12 19.41.01.600	0.00.06.000	58.2	61.8
Italo P	09/10/12 19.46.12.900	0.00.04.300	59.5	61.9
ETR D	09/10/12 19.48.52.800	0.00.06.400	63.1	66.1
ETR P	09/10/12 19.57.09.100	0.00.09.400	53.2	56
ETR P	09/10/12 20.00.59.200	0.00.07.300	59.1	62.1
ETR D	09/10/12 20.10.07.000	0.00.06.300	62.9	65.8
Italo D	09/10/12 20.18.37.500	0.00.04.200	65.2	68.2
ETR P	09/10/12 20.31.17.000	0.00.07.600	57.5	60.6
ETR P	09/10/12 20.48.07.100	0.00.07.500	58.1	61.2
Italo P	09/10/12 20.50.35.500	0.00.04.900	55.9	58.7
ETR P	09/10/12 20.59.19.000	0.00.07.200	58.9	62.6
ETR D	09/10/12 21.07.56.300	0.00.05.600	62.7	66.8
Italo D	09/10/12 21.18.55.100	0.00.04.200	65.3	68.7
ETR P	09/10/12 21.49.42.300	0.00.07.500	57.9	60.8
ETR D	10/10/12 07.10.13.500	0.00.06.400	63.4	66.1
Italo D	10/10/12 07.18.41.700	0.00.04.100	65.4	69.1
Italo P	10/10/12 07.35.42.200	0.00.04.100	59	61.9
ETR P	10/10/12 07.47.34.800	0.00.07.600	57.4	60.5
ETR D	10/10/12 07.55.31.000	0.00.06.000	63.3	66
ETR P	10/10/12 08.00.40.500	0.00.07.400	59	61.8
ETR D	10/10/12 08.09.15.300	0.00.06.200	63	65.5
Italo D	10/10/12 08.19.20.600	0.00.04.100	65	68.5
ETR P	10/10/12 08.20.40.200	0.00.07.500	57.6	60.2
Italo P	10/10/12 08.35.30.700	0.00.04.400	58.5	61.3
ETR D	10/10/12 08.39.31.000	0.00.06.300	63.2	66.3
sovrap ETR P-D	10/10/12 08.47.40.800	0.00.06.200	65.1	69

Sorgente/Binario	Data/Ora inizio	Durata	Leq(W) (dB)	Lmax(W) (dB)
Italo P	10/10/12 08.51.09.600	0.00.05.800	56.1	59.5
ETR P	10/10/12 09.05.26.000	0.00.07.200	59.2	62.6
ETR D	10/10/12 09.11.03.000	0.00.06.400	62.6	65.2
Italo D	10/10/12 09.20.10.200	0.00.04.000	64.6	67.9
ETR P	10/10/12 09.25.36.700	0.00.07.000	58.7	61.8
ETR P	10/10/12 09.28.05.900	0.00.08.700	53.7	56.5
ETR D	10/10/12 09.38.44.900	0.00.06.500	62.6	65.7
ETR P	10/10/12 09.46.25.500	0.00.07.300	58.9	62.6
ETR D	10/10/12 09.53.41.900	0.00.06.400	62.4	65
ETR P	10/10/12 10.00.17.800	0.00.07.200	59.1	62.1
ETR D	10/10/12 10.08.43.500	0.00.06.400	63.4	66
Italo P	10/10/12 10.36.40.800	0.00.04.300	58.9	61.7
ETR D	10/10/12 10.40.16.800	0.00.06.400	62.7	65.5
ETR D	10/10/12 10.53.29.100	0.00.06.300	63.4	66.2
ETR P	10/10/12 10.58.23.500	0.00.07.300	59	61.9

Tabella 7 – PdM2 (asse z) piano terra – Giorno

Sorgente/Binario	Data/Ora inizio	Durata	Leq(W) (dB)	Lmax(W) (dB)
Italo P	09/10/12 22.06.32.600	0.00.05.000	57.8	60.3
ETR P	09/10/12 22.46.32.100	0.00.08.200	54.4	57.6
ETR D	10/10/12 05.21.40.600	0.00.07.300	61.4	64.6
ETR D	10/10/12 06.48.36.000	0.00.06.100	62.3	64.9

Tabella 8 – PdM2 (asse z) piano terra – Notte

Nella seguente Tabella 9 è riportata una sintesi dei risultati delle misure di vibrazione, per quanto riguarda il livello $L_{eq(W)}$ e $L_{max(W)}$ associati ai transiti più impattanti relativamente all'asse z, che evidenzia i livelli vibrazionali più elevati, messi a confronto con i livelli raccomandati, per entrambi i punti di misura.

Livello asse z		$L_{eq(W)}$ massimo (dB)	$L_{eq(W)}$ Livello raccomandato (dB)	$L_{max(W)}$ (dB)	$L_{max(W)}$ Livello raccomandato (dB)
Primo piano	Giorno	64.7	77	67.7	89.5
	Notte	62.1	74	65.8	89.5
Piano terra	Giorno	66.0	77	69.7	89.5
	Notte	62.3	74	64.6	89.5

Tabella 9 - Valori misurati confrontati con i limiti di riferimento

Per tutti i transiti, si osserva il rispetto del livello raccomandato dalla Norma UNI 9614 per le abitazioni, sia nel periodo diurno (dalle ore 7 alle ore 22), che in quello notturno (dalle ore 22 alle ore 7), relativamente all'asse z, e di conseguenza, poiché con livelli più bassi, relativamente agli assi x e y.

Inoltre, si rileva il rispetto del livello massimo raccomandato per le vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari e immesse nelle abitazioni, relativamente all'asse z , e a maggior ragione agli assi x e y , in entrambi i punti di misura.

Concludendo, l'indagine presso l'abitazione dell'esponente ha evidenziato che le vibrazioni prodotte nell'abitazione dai treni transitanti sulla linea ferroviaria AV/AC non generano disturbo alle persone secondo la Norma UNI 9614.

Per nessun transito viene, infine, superato il livello pari a 71 dB, individuato come soglia di percezione.

Conclusioni

Dall'analisi delle misure svolte è emerso che presso l'abitazione indagata risultano rispettati i limiti e i livelli raccomandati, per quanto riguarda l'impatto acustico e vibrazionale dovuto ai transiti di treni sulla linea AV/AC, nell'attuale condizione di esercizio.

Tale condizione risulta quasi a regime per quanto riguarda il traffico di esercizio previsto nel progetto esecutivo della linea AV/AC per il periodo diurno (70 treni di tipo ETR500 rispetto agli 82 previsti), ai quali attualmente si sommano 25 treni di tipo Italo.

Per il periodo notturno la situazione è, invece, sostanzialmente diversa da quella valutata nel programma di esercizio, che prevedeva 24 treni di tipo TPN (Treno Passeggeri Notturno) e 10 treni merci. Infatti al momento transitano in tale periodo solo 4 treni, di cui tre treni ETR500 e un treno di tipo Italo, quindi in numero inferiore e di tipologia diversa rispetto al programma suddetto.