

COMUNE DI PALERMO



COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



IMPRESA ESECUTRICE:



PROGETTO ESECUTIVO

PRIMO LOTTO FUNZIONALE CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA

PROGETTO AMBIENTALE

Relazione Generale – Vibrazioni

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
R S 7 2	0 1	E	Z Z	R G	I M 0 0 0 6	0 0 2	B

PROGETTAZIONE: ATI (Associazione Temporanea d'Imprese)




PROGIN SPA (Capogruppo Mandataria)



Sab (Mandante)

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato/Data
B	Emissione a seguito istr. Italferr	Petrelli	Dic.2011	Piccirillo	Dic.2011	S. Esposito Dic.2011

Nole del file:	RS7201EZZRGIM0006002_B	n: Elab.
----------------	------------------------	----------

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 2 di 40	

INDICE




•	PREMESSA	3
•	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
•	LIMITI DI RIFERIMENTO	16
•	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	17
•	CARATTERIZZAZIONE DELLO STATO DI FATTO DAL PUNTO DI VISTA VIBRAZIONALE	18
	LE CARATTERISTICHE DEL MEZZO DI PROPAGAZIONE	19
	I RICETTORI VIBRAZIONALI.....	20
	MONITORAGGIO VIBRAZIONALE ANTE OPERAM	21
	ANALISI DEGLI IMPATTI ATTUALI	25
•	PROPAGAZIONE DELL'ENERGIA VIBRAZIONALE	34
•	ANALISI DEGLI IMPATTI PREVISIONALI POST OPERAM.....	36
•	INTERVENTI DI MITIGAZIONE AMBIENTALE.....	38
•	CONCLUSIONI	39

ALLEGATI

- CERTIFICATI DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

ELABORATI GRAFICI

- RS7201EZZP5IM0006002A PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DEI PUNTI DI MISURA (scala 1:5000)
- RS7201EZZDXIM0006003A REPORT DI MISURA
- RS7201EZZP5IM0006003A PLANIMETRIA DI INDIVIDUAZIONE DELLE AREE CRITICHE (scala 1:5000)
- RS7201EZZP5IM0006004A ... PLANIMETRIA DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE AMBIENTALE (scala 1:5000)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 3 di 40	

- **PREMESSA**

Nell'ambito dei programmi di potenziamento delle infrastrutture di trasporto pubblico nell'area urbana di Palermo, è stata prevista la realizzazione della "Metroferrovia di Palermo", tratto di linea ferroviaria a semplice binario della lunghezza di circa 2900 metri, interamente nell'ambito del centro urbano della Città di Palermo, compresa tra l'attuale Fermata Giachery, la zona del Porto, la Via Emerico Amari, Piazza Politeama, la Stazione Lolli e la Stazione Notarbartolo.

La tratta ferroviaria oggetto dello studio si riferisce al primo tratto funzionale compreso tra la esistente Fermata Giachery e la futura Stazione Politeama e previsto parzialmente in galleria artificiale.


Il progetto prevede, a parziale completamento dell'anello ferroviario in parte già esistente (Palermo Centrale-Notarbartolo-Giachery), la realizzazione della linea ferroviaria, dall'esistente Fermata Giachery fino alla Stazione Politeama. Il tracciato si sviluppa ad "L", a partire dall'attuale Fermata Giachery, procedendo parallelamente alla Via Crispi ed, in corrispondenza dell'area portuale, con un'ampia curva a destra devia immettendosi sull'asse Via E. Amari-Piazza Politeama.

Il nuovo tracciato ferroviario di progetto inizia alcune centinaia di metri dopo la Fermata Giachery, subito all'uscita della galleria che sottopassa la Via Cristoforo Colombo, al km3+621.

Da questo punto la linea si sviluppa in trincea per 219 metri fino al km 3+840 all'interno dell'area portuale approssimativamente parallela alla Via Francesco Crispi, quindi in galleria artificiale a semplice binario (Galleria Artificiale Crispi) per 330 metri fino al km 4+170.

In questo tratto, all'interno dell'area portuale, è prevista la realizzazione della Fermata Porto, fino al km 4+260.

Da questo punto la sede curva verso destra e verrà realizzata in galleria artificiale per 740 metri fino al km 5+000 (galleria artificiale Crispi/Amari), in asse alla Via Emerico Amari, correndo parallelamente ad edifici di grande pregio tra cui il Teatro Politeama.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 4 di 40	

Dal km 5+000 al km 5+258 è prevista la realizzazione della Stazione Politeama, a doppio binario, al di sotto dell'omonima Piazza e della parte finale della Via Emerico Amari.

Lungo il percorso dell'attuale metropolitana in esercizio, nel tratto compreso tra la Stazione Notarbartolo e la Fermata Imperatore Federico, tra il km 1+386 ed il km 1+480 verrà realizzata la Fermata Libertà con l'allungamento della galleria esistente e realizzazione delle relative strutture di accesso in galleria artificiale al di sotto di Viale Lazio compreso tra l'incrocio con la Via Libertà e la Via Sicilia.

La linea in progetto verrà realizzata in parte in galleria artificiale attraversando zone sempre densamente abitate e di elevato pregio residenziale.

Al fine di consentire il controllo del rispetto delle norme in materia di vibrazioni e degli impatti sui ricettori presenti nel territorio lungo la linea ferroviaria e soggetti quindi a disturbi potenziali legati all'esercizio della stessa, si è proceduto secondo le fasi che seguono:

1. analisi preliminare del territorio e sopralluoghi mirati all'individuazione dei punti di rilievo per l'installazione e lo stazionamento della strumentazione;
2. esecuzione del monitoraggio dei livelli vibrazionali attuali;
3. analisi dei risultati delle misure strumentali e individuazione delle eventuali criticità dal punto di vista vibrazionale;
4. stima degli impatti previsionali in esercizio della linea ferroviaria in progetto.

• **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

In assenza di atti legislativi vigenti in Italia, la valutazione delle vibrazioni sarà condotta utilizzando gli standard internazionali (ISO) e nazionali (UNI):

- Norma ISO 2631-1 (edizione 1997) Stima dell'esposizione degli individui a vibrazioni globali del corpo – Parte 1: Specifiche generali;
- Norma ISO 2631-2 (edizione 2003) Stima dell'esposizione degli individui a vibrazioni globali del corpo – Parte 2: Vibrazioni continue ed impulsive negli edifici (da 1 a 80 Hz);

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 5 di 40	

- Norma UNI 9513 (1989) Vibrazione e Urti. Vocabolario;
- Norma UNI 9614 (1990) Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo;
- Norma UNI 11048 (2003) Vibrazioni meccaniche ed urti – metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo;
- Norma UNI 9916 (2004) Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici;
- Norma SN 640312 (1992) "Effet des ébranlements sur les constructions";
- DIN 4150-3-1999 Le vibrazioni nelle costruzioni Parte 3: Effetti sui manufatti;
- Norma UNI ISO 5347 (1993) Parte 0 Metodi per la taratura dei trasduttori di urti e vibrazioni. Concetti di base.

Le norme di riferimento ISO 2631 e UNI 9614 indicano nell'accelerazione del moto vibratorio il parametro fisico che può caratterizzare le vibrazioni ai fini della valutazione del disturbo indotto sulle persone. Poiché l'accelerazione è una grandezza vettoriale, la descrizione completa del fenomeno vibratorio deve essere effettuata misurando la variabilità temporale della grandezza in tre direzioni mutuamente ortogonali.




Un altro parametro assai importante da quantificare ai fini del disturbo alle persone è il contenuto in frequenza dell'oscillazione dei punti materiali. Per quanto riguarda l'organismo umano, è noto che esso percepisce in maniera più marcata fenomeni vibratorii caratterizzati da basse frequenze (1-16 Hz) mentre, per frequenze più elevate la percezione diminuisce. Il campo di frequenze d'interesse è quello compreso tra 1 e 80 Hz.

Questo è quanto si evince dalla norma ISO 2631, che riporta i risultati di studi effettuati sottoponendo l'organismo umano a vibrazioni pure (ossia monofrequenza) di frequenza diversa.

Norma UNI 9614

La UNI 9614 e la DIN 4150 (tedesca) definiscono:

- a) i tipi di vibrazioni;
- b) i tipi di locali o edifici;
- c) i periodi di riferimento;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 6 di 40	

- d) i limiti che costituiscono il disturbo;
- e) il metodo di misura delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi.

a) Tipi di vibrazioni

Le vibrazioni immesse in un edificio si considerano:

- di livello costante: quando il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza rilevato mediante costante di tempo "slow" (1 s) varia nel tempo in un intervallo di ampiezza inferiore a 5 dB;
- di livello non costante: quando il livello suddetto varia in un intervallo di ampiezza superiore a 5 dB;
- impulsive: quando sono originate da eventi di breve durata costituiti da un rapido innalzamento del livello di accelerazione sino ad un valore massimo seguito da un decadimento che può comportare o meno, a seconda dello smorzamento della struttura, una serie di oscillazioni che tendono ad estinguersi nel tempo.

La direzione lungo le quali si propagano le vibrazioni sono riferite alla postura assunta dal soggetto esposto. Gli assi vengono così definiti:

- asse z passante per il coccige e la testa;
- asse x passante per la schiena e il petto;
- asse y passante per le due spalle.

La direzione della verticale coincide con l'asse z per un soggetto in piedi o seduto con l'asse x per un soggetto disteso.


b) Tipi di locali o edifici

I locali o gli edifici in cui sono immesse le vibrazioni sono classificati a seconda della loro destinazione d'uso in: aree critiche, abitazioni, uffici, fabbriche.

c) Periodi di riferimento

La giornata è suddivisa in due periodi di tempo:

- diurno, dalle ore 7.00 alle ore 22.00;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 7 di 40	

- notturno, dalle ore 22.00 alle ore 7.00.

d) Limiti che costituiscono il disturbo

Per la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello non costante, i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, corrispondenti ai più elevati riscontrati sui tre assi, possono essere confrontati con i limiti riportati nella Tabella 1 e la Tabella 2 per asse Z e assi X e Y. Utilizzando il filtro valido per posture non note o variabili nel tempo (filtro per assi combinati UNI 9614), si assumono come limiti i valori relativi agli assi X e Y.

Tabella 1 - Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per l'asse Z (Prospetto II - UNI 9614)

Destinazione d'uso	a_w (m/s ²)	Lw (dB)
Aree critiche	5,0 10 ⁻³	74
Abitazioni notte	7,0 10 ⁻³	77
Abitazioni giorno	10,0 10 ⁻³	80
Uffici	20,0 10 ⁻³	86
Fabbriche	40,0 10 ⁻³	92

Tabella 2 - Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per gli assi X e Y (Prospetto III - UNI 9614)

Destinazione d'uso	a_w (m/s ²)	Lw(dB)
Aree critiche	3,6 10 ⁻³	71
Abitazioni notte	5,0 10 ⁻³	74
Abitazioni giorno	7,2 10 ⁻³	77
Uffici	14,4 10 ⁻³	83
Fabbriche	28,8 10 ⁻³	89

Poiché le vibrazioni indotte dal transito ferroviario ricadono in quelle di livello non costante (secondo UNI 9614), il parametro da stimare per valutare se il fenomeno misurato sia disturbante è il livello equivalente dell'accelerazione ponderata in frequenza (L_w). Il valore così determinato viene confrontato con i limiti indicati dalla norma UNI 9614.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 8 di 40	

Quando i valori dei livelli delle vibrazioni in esame superano i limiti le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto. Il giudizio sull'accettabilità (tollerabilità) del disturbo oggettivamente riscontrata dovrà ovviamente tenere conto di fattori quali la frequenza con cui si verifica il fenomeno vibratorio, la sua durata, ecc..

e) Le misure

Le vibrazioni di livello non costante vanno caratterizzate rilevando in un intervallo di tempo rappresentativo l'accelerazione equivalente ($a_{w,eq}$) o il corrispondente livello ($L_{w,eq}$) definiti dalla seguente relazione:

$$a_{w,eq} = \left[(1/T) \int_0^T [a_w(t)]^2 dt \right]^{0,5}$$

$$L_{w,eq} = 10 \log \left[(1/T) \int_0^T [a_w(t)/a_0]^2 dt \right]$$




dove:

$a_w(t)$ è il valore efficace dell'accelerazione;

T è la durata del rilievo espresso in secondi;

a_0 è il valore efficace dell'accelerazione di riferimento ($= 10^{-6} \text{ m/s}^2$).

Gli effetti delle vibrazioni ponderate in frequenza sono cumulativi per cui va impiegato un metodo di misura basato sulla valutazione complessiva delle accelerazioni nell'intervallo 1-80 Hz. Dato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda dei loro effetti sul soggetto esposto. Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo l'asse z prevede una attenuazione di 3 dB per ottava tra 1 e 4 Hz, una attenuazione nulla tra 4 e 8Hz ed un'attenuazione di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 9 di 40	

Norma UNI 9916 e ISO 4866


I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", che risulta in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866 "Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibration and evaluation of their effects on buildings" in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3.

Tali norme, in sostanziale concordanza tra di loro, forniscono una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii per valutare gli effetti sugli edifici in relazione alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Vengono inoltre fornite metodologie per ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o anche su edifici diversi a parità di eccitazione.

Per semplicità la UNI 9916 considera gamme di frequenza variabili da 0,1 Hz a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale come per esempio il vento, nonché ad eccitazione causata dall'uomo. In alcuni casi l'intervallo di frequenza può essere più ampio, come ad esempio vibrazioni indotte da macchinari all'interno degli edifici stessi, tuttavia eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono in grado di influenzare significativamente la risposta dell'edificio. Le vibrazioni causate da urti prodotti da esplosioni, da battiture di pali o da altre sorgenti a ridosso della struttura non sono inclusi nella sopraccitata gamma di frequenza, ma lo sono però i loro effetti sulla struttura.

Tabella 3 - Gamme di frequenza caratteristiche per diverse sorgenti di vibrazioni (Appendice A-UNI 9916 (2004)).

Sorgenti di vibrazione	Gamme di frequenza (Hz)
Traffico (su strada e rotaia)	1 ÷ 80
Esplosioni	1 ÷ 300

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 10 di 40	

Sorgenti di vibrazione	Gamme di frequenza (Hz)
Battitura di pali	1 ÷ 100
Macchine esterne all'edificio	1 ÷ 300
Macchine interne all'edificio	1 ÷ 1000
Attività umane interessanti indirettamente l'edificio	0,1 ÷ 100
Attività umane interessanti direttamente l'edificio	0,1 ÷ 12
Vento	0,1 ÷ 10

L'Appendice A della UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno.

La classificazione viene effettuata in base ai seguenti fattori:

- tipo di costruzione;
- tipo di fondazione;
- tipo di terreno;
- fattori di importanza sociale.

Le strutture comprese nella classificazione riguardano:

- tutti gli edifici residenziali e gli edifici utilizzati per le attività professionali (case, uffici, ospedali, case di cura, ecc.);
- gli edifici pubblici (municipi, chiese, ecc.);
- edifici vecchi ed antichi con un valore architettonico, archeologico e storico;
- le strutture industriali più leggere spesso concepite secondo le modalità costruttive in uso per gli edifici abitativi.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 11 di 40	

La categoria di struttura è classificata in una scala da 1 a 8 (a numero crescente di categoria corrisponde una minore resistenza alle vibrazioni) in base ad una ripartizione in due gruppi di edifici, edifici vecchi e antichi o strutture costruite con criteri tradizionali (Gruppo 1) e edifici e strutture moderne (Gruppo 2). L'associazione della categoria viene fatta risalire alle caratteristiche tipologiche e costruttive della costruzione e al numero di piani.

Tabella 4 - Categorie di struttura e gruppo di edifici

Categorie di struttura	Gruppi di edifici		
	1	2	
Resistenza decrescente alle vibrazioni ↓	1	<p>Costruzioni industriali pesanti da cinque a sette piani, di tipo resistente ai terremoti. Strutture pesanti, compresi ponti, fortezze, bastioni.</p>	<p>Costruzioni industriali ad ossatura pesante di due o tre piani costruiti in cemento armato oppure a struttura metallica con rivestimento di fogli o pannelli di tamponamento costruiti di pietre, mattoni o di elementi prefabbricati di acciaio, solai in acciaio o in calcestruzzo prefabbricato o gettato in opera. Costruzioni industriali pesanti in acciaio o calcestruzzo armato con struttura composita.</p>
	2	<p>Edifici pubblici pesanti ad ossatura in legno, di tipo resistente ai terremoti.</p>	<p>Immobili da cinque a nove piani e più, uffici, ospedali, costruzioni industriali ad ossatura leggera in calcestruzzo armato od a struttura in acciaio con pannelli di tamponamento in pietre, mattoni o elementi prefabbricati non concepiti per resistere ai terremoti.</p>
	3	<p>Case di uno o due piani a ossatura in legno e costruzioni di uso similare, con tamponamenti e/o rivestimenti di tipo resistente ai terremoti.</p>	<p>Costruzioni industriali abbastanza leggere di tipo aperto ad un solo piano, giunti per tramezzi, ossatura in acciaio, alluminio, in legno o in calcestruzzo con rivestimenti in foglio leggero e tamponamenti in pannelli leggeri di tipo resistente ai terremoti.</p>

APPALTATORE						ATI DI PROGETTAZIONE				
						(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni		COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 12 di 40

Categorie di struttura	Gruppi di edifici	
	1	2
4	Costruzioni a più piani, abbastanza pesanti utilizzate come magazzini di media importanza o come abitazione da cinque a sette piani o più.	Abitazioni a due piani e costruzioni di utilizzo similare costruite in pietra, mattoni o elementi prefabbricati comportanti un solaio e un tetto rinforzato o interamente costruite in calcestruzzo armato o materiali simili, tutte di tipo resistente ai terremoti.
5	Case da quattro a sei piani ed edifici di utilizzo urbano, costruiti in pietre o mattoni, con muri portanti di costruzione più pesante, comprese le case padronali e le residenze di tipo "piccolo castello".	Edifici da abitazione e simili da quattro a dieci piani principalmente costruiti in pietre leggere e mattoni, legati in gran parte da muri interni di materiali simili e da solai in calcestruzzo armato prefabbricato o gettato in opera almeno a ciascun piano.
6	Case di due piani ed edifici di utilizzo similare costruiti in pietre, in mattoni o argilla, con solette e copertura in legno. Torri costruite in pietra, in mattoni o argilla, con solette e copertura in legno. Torri costruite in pietra o mattoni, di tipo resistente ai terremoti.	Case di abitazione ed edifici di utilizzo similare a due piani, compresi uffici costruiti con muri in pietra, in mattoni, in elementi prefabbricati e con strutture di soletta e di copertura in legno o prefabbricate.
7	Chiese di grande altezza, saloni e strutture simili in pietra o in mattoni con arcate o di tipo "articolato" con o senza volte, comprese le chiese di minor importanza con arcate e costruzioni simili. Chiese basse ad ossatura pesante di tipo "aperto" (cioè non controventate) e rimesse, compresi stalle, garages, costruzioni simili con solette e coperture in legno molto pesanti.	Case e costruzioni simili ad uno o due piani, costruzioni più leggere realizzate con materiali leggeri prefabbricati o preparati in opera con combinazioni di questi materiali.
8	Rovine ed altre costruzioni in cattivo stato. Tutte le costruzioni della categoria 7 aventi un valore storico.	

Le fondazioni sono classificate in tre classi:

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUITO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 13 di 40	

Classe A:

- pali legati in calcestruzzo armato e acciaio;
- platea rigide in calcestruzzo armato ed in acciaio;
- pali di legno legati tra loro;
- muri di sostegno a gravità.

Classe B:

- pali non legati in cemento armato;
- fondazioni continue (a trave rovescia);
- pali e platee in legno.

Classe C:

- i muri di sostegno leggeri;
- fondazioni massicce in pietra;
- assenza di fondazioni, muri appoggiati direttamente sul terreno.

Il terreno viene classificato in sei classi:

- Tipo a: rocce non fessurate o rocce molto solide, leggermente fessurate o sabbie cementate;
- Tipo b: terreni compattati a stratificazione orizzontale;
- Tipo c: terreni poco compattati a stratificazione orizzontale;
- Tipo d: piani inclinati, con superficie di scorrimento potenziale;
- Tipo e: terreni granulari, sabbie, ghiaie (senza coesione) e argille coesive

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 14 di 40	

sature;

- Tipo f: materiale di riporto.

Per la classificazione degli edifici viene riportato sempre in appendice A la seguente tabella:

Tabella 5 – Classificazione degli edifici (Appendice A)



Classe dell'edificio*		Categoria di struttura							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Classe di fondazione (maiuscolo) e tipo di terreno (minuscolo)							
Resistenza decrescente alle vibrazioni ↓	1	Aa							
	2	Ab	Aa	Aa	Aa				
	3		Ab, Ba	Ab, Ba	Ab	Aa, Ab			
	4		Ac, Bb	Bb	Ac	Ac, Ba, Bb			
	5		Bc	Ac		Bc	Ba		
	6		Af		Ad	Bd	Bb, Ca	Ba	
	7			Af	Ae	Be	Bc, Cb	Bb, Ca	
	8		Bf				Be, Cc	Bc, Cb	
	9						Cd	Bd, Cc	Aa
	10			Bf			Ce	Be, Cd	Ab
	11				Cf	Cf		Ce	Ba
	12						Cf		Bc, Ca
	13							Cf	Bd, Cb, Cc
	14								Cd, Ce, Cf

*Numero di classe elevato = alto grado di protezione richiesto

L'Appendice B della UNI 9916, che ha solo carattere informativo in quanto non costituisce parte integrante della norma, contiene i criteri di accettabilità dei livelli delle vibrazioni.

Tabella 6 - Velocità limite di vibrazioni in funzione delle frequenze e della tipologia di edificio (UNI 9916).

Tipi di strutture	Velocità di vibrazione in mm/s*
-------------------	---------------------------------

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 15 di 40	

	Misura alle fondazioni			Misura al pavimento dell'ultimo piano
	Campi di frequenza (Hz)			Frequenza diverse
	< 10	10 ÷ 50	50 100**	
Edifici utilizzati per scopi commerciali, edifici industriali e simili	20	20 ÷ 40	10 ÷ 50	40
Edifici residenziali e simili	5	5 ÷ 15	15 ÷ 20	15
Strutture particolarmente sensibili, non rientranti nelle categorie precedenti e di grande valore intrinseco	3	3 ÷ 8	8 ÷ 10	8
* Si intende la massima delle tre componenti della velocità nel punto di misura.				
** Per frequenze maggiori di 100 Hz possono applicarsi i valori riportati in questa colonna.				

Bisogna sottolineare che i valori riportati in tabella si intendono riferiti ai cosiddetti *danni maggiori* (danneggiamento di elementi strutturali, fessure nelle colonne di supporto, apertura di giunti, serie di fessure nella muratura) e non ai *danni di soglia* (formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco, o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici intonacate o sulle superfici di muri a secco; inoltre formazione di fessure filiformi nei giunti a malta delle costruzioni in mattoni e in calcestruzzo).

La norma DIN 4150/3 lega la probabilità del verificarsi di danni sull'edificio in funzione della velocità limite di vibrazione calcolata rispetto alla risultante delle velocità nelle tre diverse direzioni:



dove:

$$V = \sqrt{(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}$$

v_x è la componente della velocità nella direzione x;
 v_y è la componente della velocità nella direzione y;
 v_z è la componente della velocità nella direzione z.

Tabella 7 - Danni alle costruzioni in funzione della velocità limite (DIN 4150/3).

Velocità limite (mm/s)	Danni
< 2,5	Nessuno
2,5 ÷ 6	Molto probabili

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 16 di 40	

6 ÷ 10	Improbabili
> 10	Possibili


Al paragrafo 9 della norma UNI 9916 viene precisato che *danni strutturali all'edificio nel suo assieme attribuiti a vibrazioni continue sono estremamente rari e comunque è necessario che le vibrazioni raggiungano livelli tali da causare prima fastidio e dolore agli occupanti l'edificio medesimo*. Ciò non implica che si possano escludere a priori danni alle strutture una volta verificato che i livelli delle vibrazioni siano inferiori a quelli stabiliti dalle varie normative per il disturbo alle persone.

Infatti per la valutazione degli effetti sull'uomo si deve considerare un intervallo di frequenze tra 1 e 80 Hz mentre gli edifici possono essere interessati da una gamma di frequenza più ampia; pertanto, nel caso in cui un edificio rispondesse ad una particolare eccitazione con uno spettro il cui contenuto energetico fosse distribuito soprattutto a frequenza maggiori di 80 Hz, si potrebbe sottostimare il problema verificando il rispetto delle norme ISO 2631-2 e UNI 9916.

Inoltre, se si volessero confrontare i limiti delle due "famiglie" di norme esprimendoli entrambi in termini di velocità, bisognerebbe tenere conto che quelli relativi al disturbo per gli individui sono riferiti a valori efficaci di velocità mentre quelli relativi alla stabilità degli edifici a valori di picco. Nei casi in cui la gamma di frequenze caratteristiche delle vibrazioni indotte negli edifici sia compresa tra 1 a 80 Hz si può ritenere sufficiente la verifica dei livelli per il disturbo agli individui.

• LIMITI DI RIFERIMENTO

Ai fini della valutazione delle vibrazioni in termini di disturbo agli individui si fa riferimento alla norma UNI 9614, che indica i valori limite per il livello dell'accelerazione ponderato in frequenza L_w oltre i quali un fenomeno sismico può essere considerato "oggettivamente disturbante". Tali valori limite dipendono dalla tipologia di vibrazione, dalla destinazione d'uso del locale interessato dalla sismicità e dal periodo temporale (diurno-notturno).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 17 di 40	

Per quanto riguarda i valori di soglia delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza a cui fare riferimento, vengono considerate la Tabella 1 e la Tabella 2 precedentemente riportate.

• **INQUADRAMENTO GEOLOGICO**



Dal punto di vista geologico l'area attraversata dal tracciato ferroviario di progetto ricade interamente nell'ambito della Piana di Palermo, ampio bacino di sedimentazione sviluppatosi nel Pleistocene inferiore ove una serie prevalentemente calcarenitico-sabbiosa ricopre con spessori variabili da pochi metri a diverse decine di metri un substrato costituito da argilliti, argille marnose e quarzareniti appartenenti alla formazione del Flysch Numidico, di età Oligocene-Miocene.

Le maggiori problematiche geologiche inerenti la realizzazione del tracciato sono problematiche connesse alle caratteristiche dei terreni anche se il tracciato si svolge prevalentemente su terreni a consistenza litoide riferibili alla facies calcarenitica della serie quaternaria. In diversi tratti vengono impegnati spessori significativi di terreni dotati di caratteristiche di consistenza relativamente scadenti.

In particolare per tutto il tratto compreso tra la fermata Giachery e l'inizio della via Emerico Amari sono presenti elevati spessori di terreni di riporto, che in un tratto, per un centinaio di metri a cavallo della progressiva 4+200 ricoprono uno spessore di circa 8 metri di terreni alluvionali limoso-sabbiosi di scadenti caratteristiche geotecniche.

Infatti i sondaggi eseguiti lungo la tratta Giachery-Fermata Porto hanno mostrato la presenza di elevati spessori di terreni di riporto, variabili da circa 4 a circa 6 metri, dovuti alla regolarizzazione della superficie topografica ed alla realizzazione della preesistente infrastruttura ferroviaria nella zona Sampolo-Giachery-Ucciardone, oltre che all'ampliamento delle strutture portuali verso il mare nella zona del Porto.

Al di sotto dei terreni di riporto è presente la serie calcarenitico-sabbiosa e precisamente in facies prevalentemente calcarenitica con uno spessore di 10-12 metri fino ad una profondità di 14-16 metri, e poi in facies prevalentemente sabbiosa fino alle profondità raggiunte dai sondaggi eseguiti, spinti fino a 40 metri dal piano

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 18 di 40	

campagna.

Nel tratto successivo, per tutta la Via Amari fino a Piazza Politeama, sono presenti in sottosuolo i terreni della facies argillosa del Flysch Numidico alterati in superficie per uno spessore di una decina di metri. Infatti le argille si presentano alterate anche se abbastanza consistenti in superficie fino ad una profondità di circa 8-10 metri, poi più integre, molto consistenti fino ad argilliti a comportamento litoide. Attorno alla progressiva 4+800 è probabile la presenza di livelli quarzarenitici.

In conclusione la linea ferroviaria di progetto si svolge quasi interamente su un territorio pianeggiante dotato di assoluta stabilità geomorfologica e caratterizzato dalla presenza in sottosuolo di terreni con ottime caratteristiche meccaniche.

• CARATTERIZZAZIONE DELLO STATO DI FATTO DAL PUNTO DI VISTA VIBRAZIONALE

L'area oggetto dell'intervento, ricadendo nel centro urbanizzato della città di Palermo, annovera zone sempre densamente abitate e di elevato pregio residenziale.

Dato il contesto territoriale oggetto del presente studio la sorgente vibratoria più diffusa sul territorio oggetto di studio è quella di tipo ferroviario, secondariamente quella di tipo stradale (veicoli pesanti e leggeri).



Non sono presenti sorgenti di vibrazioni significative nell'area considerata diverse da quelle associate alle sorgenti di traffico stradale e ferroviario.

Elementi caratteristici delle vibrazioni sono il valore della frequenza e l'ampiezza; è noto come le vibrazioni più dannose e pericolose risultino essere quelle caratterizzate da basse frequenze. L'intervallo delle frequenze più pericolose è contenuto tra 20 e 200 Hz.

I fattori che influenzano quali-quantitativamente l'entità degli impatti vibrazionali risultano costituiti sia da aspetti connessi con la quantità di moto indotta dalle sorgenti in movimento, che dalla destinazione d'uso dei ricettori.

Inoltre la componente vibrazioni presenta problematiche molto complesse, quali:

- la forte dipendenza dei risultati dal punto di misura;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 19 di 40	

- la varietà dei modi di propagazione dell'energia meccanica nel terreno che la stessa sorgente può eccitare in relazione anche alla composizione del terreno stesso;
- la difficoltà di determinare la funzione di accoppiamento mutuo tra edifici e terreno;
- la grande diversità di risposta alle vibrazioni dei componenti edilizi.


In particolare, per quanto riguarda la quantità di moto trasmessa dalle sorgenti mobili al pacchetto strutturale stradale e da questo ai terreni per poi giungere alle opere d'arte limitrofe (ricettori in genere), questa risulta variabile lungo la stessa sorgente lineare in funzione dei seguenti parametri:

- anisotropia del mezzo di trasmissione;
- caratteristiche geometriche della strada (variazioni della livelletta) per la sorgente di traffico stradale e ferroviaria;
- le modalità di percorrenza da parte dei mezzi (accelerazioni e decelerazioni).

In via qualitativa l'entità della quantità di moto trasmessa dai veicoli sugli assi stradali dell'area di studio aumenta con l'accentuarsi dei raggi di curvatura, con l'inasprirsi delle pendenze longitudinali e con la variazione della velocità di percorrenza. Con riferimento alle sorgenti attuali in alcuni tratti si rileva la presenza della sorgente di traffico ferroviaria (metropolitana).

LE CARATTERISTICHE DEL MEZZO DI PROPAGAZIONE

Oltre ai parametri fisici di sollecitazione (produzione della quantità di moto da parte di una sorgente) occorre considerare la specifica struttura dei terreni presenti nello spazio esistente tra la sorgente ed il singolo ricettore, parametro che influenza direttamente la propagazione. La sorgente di vibrazione, infatti, immette energia meccanica nel suolo la quale si propaga in diversi "modi" (longitudinali e/o trasversali) che possono essere eccitati direttamente dalla sorgente, oppure trasformati durante il percorso di propagazione dell'energia. Tale trasformazione è dovuta

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 20 di 40	

al fatto che il mezzo solido entro il quale si propaga un'onda elastica non è omogeneo, ma presenta variazioni continue o brusche delle costanti elastiche che influiscono su tale fenomenologia sia come numero, che come entità delle discontinuità presenti nel volume litologico significativo (intendendo con tale termine quell'intervallo stratigrafico realmente interessato dai fenomeni di propagazione delle onde elastiche prodotte dalla sorgente vibratoria e dirette al ricettore).




In prima approssimazione risulta comunque condizionante la capacità di smorzamento delle onde elastiche propria delle differenti tipologie del substrato litologico entro il quale di propaga il treno d'onde vibrazionali, determinando in tal modo condizioni più o meno favorevoli alla propagazione di uno o più modi.

I RICETTORI VIBRAZIONALI

I moti vibrazionali inducono impatti su tre diverse tipologie di ricettori: le persone fisiche, le attività commerciali e gli edifici.

Per quanto riguarda la vulnerabilità di tali ricettori edilizi, questa oltre all'evidente importanza della distanza rispetto alla sorgente vibrazionale, risulta anche funzione del numero di livelli in elevazione, della tipologia delle opere di fondazione, dell'età e dello stato di conservazione degli stabili stessi. Infatti, la perturbazione elastica raggiunge l'edificio attraverso le fondazioni, producendo i propri effetti legati all'intensità. Tali effetti variano dal disturbo alle persone che occupano l'edificio al danno alle strutture (muri di tamponamento, divisori, ecc). L'effetto sulle strutture e sulle persone dipende dal modo di propagazione ed in particolare dall'intensità della componente verticale ed orizzontale e risulta funzione dei seguenti fattori:

- attenuazioni dovute alla perdita di energia vibrazionale dovuta all'accoppiamento terreno- fondazioni;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 21 di 40	

- amplificazione dovuta alla presenza di eventuali fenomeni di risonanza con le frequenze proprie della struttura dell'edificio;
- variazioni delle vibrazioni passando ai piani più alti dell'edificio.

Naturalmente a questi fattori di ordine strutturale bisogna sovrapporre anche gli aspetti direttamente connessi con l'importanza e la destinazione d'uso del singolo ricettore. E' infatti evidente, come d'altro canto esplicitato da tutte le normative e gli standard sulle vibrazioni a livello internazionale, che la medesima entità del fenomeno vibrazionale possa essere sopportata, per esempio, da un edificio a carattere industriale/produttivo (a meno che non risulti sede di attività di precisione) ma non necessariamente da uno residenziale o, ancora meno, da uno caratterizzato da valenze storico-testimoniali.

L'interdipendenza e l'influenza reciproca tra tutti gli elementi sopra citati determinano le caratteristiche locali di propagazione del moto vibrazionale, l'entità e le modalità sia dello smorzamento localizzato nell'interfaccia terreno/fondazione (mediamente da 3 a 5 dB crescente in maniera inversa rispetto al grado di ammortamento delle fondazioni nel terreno), che dell'amplificazione indotta dagli orizzontamenti delle strutture civili (ordine di 0-5 dB).

Nell'ambito del presente lavoro, tutte e tre le categorie di ricettori sono state "fisicamente" ricondotte alle strutture edilizie (entro le quali vivono e/o lavorano le "persone fisiche" ed hanno luogo le attività produttive significative ai fini della presente trattazione).

MONITORAGGIO VIBRAZIONALE ANTE OPERAM

Per la caratterizzazione dei livelli vibrazionali attuali è stata condotta una campagna di misure lungo l'attuale tracciato ferroviario nei giorni 29 e 30-06/10.

Il monitoraggio della componente vibrazioni è stato effettuato da personale qualificato con la strumentazione sottoriportata:

- analizzatore Real Time SOUNDBOOK a otto canali;
- terne accelerometriche di tipo piezoelettrico e relativi cavi di connessione;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 22 di 40	

- elemento cubico pesante in alluminio per misure triassiali.

Sono stati impiegati una terna con trasduttori degli accelerometri piezoelettrici monoassiali fissati su tre lati mutuamente ortogonali di un elemento cubico pesante ed una terna triassiale (cfr. allegato certificati della strumentazione utilizzata).

I tre accelerometri monoassiali appartenenti alla terna di misura suddetta e l'altra terna triassiale inviano simultaneamente i segnali acquisiti ad un sistema di acquisizione dati (analizzatore Soundbook) che permette il settaggio dei parametri di acquisizione e la visualizzazione real time dei dati acquisiti.

Prima di iniziare i rilievi la catena di misura è stata verificata misurando un moto vibratorio con accelerazione max e frequenza nota (calibrazione degli accelerometri).

Per detta operazione è stato utilizzato il calibratore accelero metrico sottoriportato:

PCB Piezotronics mod. M394C06 S/N 3269

Ref. Level 10 m/s²

Ref. Frequency 159,2 Hz

Per la calibrazione degli accelerometri sono state seguite le procedure standard nonché le indicazioni riportate all'interno della norma ISO 5347 "Metodi per la calibrazione dei rilevatori di calibrazione ed urti" applicando solidalmente l'accelerometro al calibratore ed azionando quest'ultimo, è stato rilevato il livello di accelerazione raggiunto alla frequenza di 159,2 Hz.

I dati ricavati durante la campagna d'indagine sono stati elaborati con il software dedicato all'analisi dei segnali Noise & Vibration Works.

Le tecniche di montaggio degli accelerometri piezoelettrici utilizzate in situ rispettano la previsione della norma ISO 5348.

Nel dettaglio il monitoraggio ha interessato quattro ricettori potenzialmente impattati più prossimi al tracciato ferroviario attuale e a quello in progetto rappresentativi delle aree urbanizzate ed omogenee per condizioni di esposizione. Tali punti sono riportati nell'elaborato grafico RS7201EZZP5IM0006002A "Planimetria di ubicazione dei punti di misura".

Nello specifico si sono considerati complessivamente **4 punti di monitoraggio:**


APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 23 di 40	

- VIB-01, sito in via delle Magnolie snc;
- VIB-02, sito in via della Libertà 199;
- VIB-03, sito in viale Lazio 2;
- VIB-04, sito in via Emerico Amari 122-124.

Di seguito si riporta una tabella di dettaglio per i punti di monitoraggio con indicazione della progressiva chilometrica, della distanza dall'infrastruttura ferroviaria e dell'orario di inizio rilievo:

Tabella 8 – Dettaglio postazioni di misura

Postazione di misura	Progressiva chilometrica	Distanza dall'infrastruttura ferroviaria	Orario Inizio Misura
VIB-01	0+970	0 m.	13:20
VIB-02	1+623,50	12 m.	16:29
VIB-03	1+494,95	8 m.	19:12
VIB-04	4+902,70	8 m.	13:29

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 24 di 40	

L'indagine è stata svolta, all'interno degli edifici, con misure in contemporanea al piano basso e al piano alto (compatibilmente con l'accessibilità ai luoghi oggetto di indagine) nel periodo interessato dalle condizioni ordinarie di traffico stradale (transiti dei veicoli leggeri e pesanti) e ferroviario (transito della metroferrovia attuale) per una durata sufficiente a caratterizzare gli impatti indotti dalla fase di esercizio in condizione di ante-operam.

I rilievi sono stati effettuati utilizzando accelerometri piezoresistivi posizionati sui tre assi di riferimento con campo di acquisizione da 1 a 250 Hz ed analisi nel campo di frequenza da 1 a 80 Hz.

Si è effettuata anche un'indagine, nella giornata del 30 giugno con orario di inizio rilievo 9:50, volta a valutare gli effetti sugli edifici (UNI9916) in corrispondenza del ricettore (VIB-01), ricettore maggiormente critico perché posto immediatamente al di sopra della linea ferroviaria esistente.

Le posizioni individuate per eseguire tali rilievi sono state rispettivamente:

- in corrispondenza delle fondazioni (in locale cantinato);
- sul solaio più elevato in corrispondenza del muro perimetrale.


Si sono individuate per il periodo di rilievo le fasce orarie nelle quali si sono rilevati, per ogni singolo ricettore monitorato (VIB-01, VIB-02 e VIB-03) in prossimità dell'attuale metropolitana, un numero rappresentativo di transiti ferroviari.

Per il ricettore VIB-04 si è considerato un periodo di rilievo rappresentativo dei livelli vibrazionali attuali indotti dalla sorgente di traffico stradale.

Ai fini della valutazione del disturbo in un ambiente abitativo sono stati effettuati rilievi all'interno dell'edificio e nel periodo di riferimento diurno, periodo interessato dal maggior numero di transiti dei convogli ferroviari e significativo per il monitoraggio delle altre sorgenti vibrazionali presenti.

Gli eventi vibratorii registrati sono stati, inoltre, suddivisi in base alla sorgente che li ha generati nelle seguenti categorie:

- Eventi generati da infrastrutture di trasporto (transiti di convogli ferroviari);

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 25 di 40	

- Eventi generati da altre infrastrutture di trasporto (transiti di veicoli leggeri e di veicoli pesanti);
- Eventi generati da attività interne all'edificio (attività domestiche).

I risultati dei rilievi sono riportati nei rapporti tecnici di misura in allegato al presente studio (RS7201EZZDXIM0006003A).

In essi viene riportato:

- ✓ l'andamento temporale delle accelerazioni ponderate in frequenza dell'intera misura;
- ✓ informazioni di dettaglio sul punto di monitoraggio;
- ✓ il valore RMS dell'accelerazione ponderata in frequenza (a_w) secondo filtro per assi combinati UNI 9614 per ogni asse e per ciascun piano per i transiti isolati dei convogli ferroviari, per gli eventi tipici associati ai transiti dei veicoli leggeri e pesanti;
- ✓ lo spettro medio della vibrazione della misura con accelerazione ponderata in frequenza e non (lineare);
- ✓ gli spettri medi ponderata in frequenza e non (lineare) relativi al singolo evento transito per la sorgente di traffico ferroviaria ed all'evento tipico associato ai transiti dei veicoli leggeri e pesanti.

Nella valutazione dei valori di $L_{weq(A)}$ i valori di accelerazione sono stati ponderati con filtri per una posizione non nota del corpo umano (UNI 9614).

Dovendo analizzare gli effetti vibrazionali associati alle sorgenti vibrazioni attuali si sono riportati anche i singoli eventi rilevati associati al transito dei convogli ferroviari e gli eventi tipici associati ai transiti isolati dei veicoli leggeri e pesanti verificatisi durante il corso della misura.

ANALISI DEGLI IMPATTI ATTUALI

Come detto, ai fini della valutazione del disturbo in ambiente di vita, sono stati effettuati rilievi vibrazionali su quattro ricettori (VIB-01, VIB-02, VIB-03 e VIB-04) nel periodo di riferimento diurno (7-22) ed anche una misura volta a valutare gli effetti

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 26 di 40

sugli edifici (UNI9916) in corrispondenza del ricettore (VIB-01), ricettore maggiormente critico perché posto immediatamente ad un livello superiore rispetto alla linea ferroviaria esistente.

Le misure sono state effettuate nei periodi più significativi per il monitoraggio delle sorgenti vibrazionali presenti (transiti dei convogli ferroviari, transiti dei veicoli stradali leggeri e pesanti).

Per quanto riguarda l'intensità delle vibrazioni, si può notare che i valori di vibrazione, rilevati in tutti i siti di misura, durante il periodo di misura sono assai contenuti, come mostrato nelle tabelle seguenti che riportano i valori dei livelli di accelerazione ponderata in frequenza.

Tabella 9 – Valori di accelerazione rilevati (UNI 9614)

VIB-01	Asse X			Asse Y			Asse Z		
	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s^2)	$a_{w\ eq}$ (mm/s^2)	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s^2)	$a_{w\ eq}$ (mm/s^2)	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s^2)	$a_{w\ eq}$ (mm/s^2)
Misura complessiva (piano basso)	40,3	1,234	0,103	41,8	1,496	0,123	51,9	6,313	0,394
Misura complessiva (piano alto)	47,4	0,699	0,234	48,2	0,932	0,258	48,8	2,284	0,275
VIB-02	Asse X			Asse Y			Asse Z		
	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s^2)	$a_{w\ eq}$ (mm/s^2)	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s^2)	$a_{w\ eq}$ (mm/s^2)	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s^2)	$a_{w\ eq}$ (mm/s^2)
Misura complessiva (piano basso)	46,2	0,873	0,204	47,5	1,124	0,236	46,1	1,246	0,202
Misura complessiva (piano alto)	41,7	0,341	0,122	41,3	0,317	0,116	50,0	1,502	0,317
VIB-03	Asse X			Asse Y			Asse Z		
	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s^2)	$a_{w\ eq}$ (mm/s^2)	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s^2)	$a_{w\ eq}$ (mm/s^2)	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s^2)	$a_{w\ eq}$ (mm/s^2)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 27 di 40


Misura complessiva (piano basso)	47,7	4,157	0,243	48,2	4,633	0,256	49,8	4,034	0,310
Misura complessiva (piano alto)	42,5	0,447	0,133	43,4	0,436	0,148	43,9	0,904	0,156
VIB-04	Asse X			Asse Y			Asse Z		
	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s ²)	$a_{w\ eq}$ (mm/s ²)	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s ²)	$a_{w\ eq}$ (mm/s ²)	$L_{w\ eq}$ (dB)	$a_{w\ max}$ (mm/s ²)	$a_{w\ eq}$ (mm/s ²)
Misura complessiva (piano basso)	46,5	0,304	0,211	46,2	0,373	0,204	52,4	0,771	0,416
Misura complessiva (piano alto)	41,9	0,549	0,124	41,7	0,431	0,122	56,9	1,493	0,698

Dall'analisi dei risultati dei suddetti rilievi si rileva che i livelli misurati nell'intero periodo di misura sono risultati inferiori alle soglie di percezione stabilite dalla stessa norma, inoltre che i livelli vibrazionali sono tendenzialmente superiori (specie per l'asse verticale) nella postazione di misura VIB-04 rispetto alle altre postazioni di misura.

Si evidenzia, inoltre, che le vibrazioni rilevate in corrispondenza dei transiti isolati dei convogli ferroviari nei punti di monitoraggio non risultano tali da portare a condizioni di disturbo per i residenti (cfr. tabelle 10- 18).

Tabella 10 – Accelerazioni rilevate per singoli transiti VIB-01 (asse X-UNI9614)

VIB-01			Asse X		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	$L_{w\ eq}$ [dB]	$a_{w\ max}$ [dB]	$a_{w\ eq}$ [mm/s ²]
TR1 (piano basso)	Notarbartolo	13.30	52,2	0,901	0,408
TR1 (piano alto)	Notarbartolo	13.30	48,9	0,516	0,280
TR2 (piano basso)	Giachery	13.39	49,2	0,937	0,290
TR2 (piano alto)	Giachery	13.39	48,5	0,480	0,267
TR3 (piano basso)	Notarbartolo	13.59	51,5	1,234	0,374
TR3 (piano alto)	Notarbartolo	13.59	49,5	0,692	0,299
TR4 (piano basso)	Giachery	14.08	51,2	0,909	0,364
TR4 (piano alto)	Giachery	14.08	48,6	0,473	0,268

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 28 di 40

VIB-01			Asse X		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L _{weq} [dB]	a _{wmax} [dB]	a _{weq} [mm/s ²]
TR5 (piano basso)	Notarbartolo	14.29	48,5	0,842	0,266
TR5 (piano alto)	Notarbartolo	14.29	49,0	0,532	0,282
TR6 (piano basso)	Giachery	14.37	52,3	1,103	0,412
TR6 (piano alto)	Giachery	14.37	49,3	0,616	0,292
TR7 (piano basso)	Notarbartolo	15.00	50,5	1,058	0,336
TR7 (piano alto)	Notarbartolo	15.00	49,2	0,558	0,289
TR8 (piano basso)	Giachery	15.07	50,6	0,908	0,337
TR8 (piano alto)	Giachery	15.07	48,5	0,478	0,266

(*) ponderata in frequenza secondo filtri per assi combinati UNI 9614 per posizione non nota o variabile.


Tabella 11 – Accelerazioni rilevate per singoli transiti VIB-01 (asse Y-UNI9614)

VIB-01			Asse Y		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L _{weq} [dB]	a _{wmax} [dB]	a _{weq} [mm/s ²]
TR1 (piano basso)	Notarbartolo	13.30	55,3	1,308	0,583
TR1 (piano alto)	Notarbartolo	13.30	53,6	0,477	0,286
TR2 (piano basso)	Giachery	13.39	60,7	1,078	0,354
TR2 (piano alto)	Giachery	13.39	53,3	0,463	0,274
TR3 (piano basso)	Notarbartolo	13.59	63,1	1,435	0,418
TR3 (piano alto)	Notarbartolo	13.59	54,8	0,549	0,294
TR4 (piano basso)	Giachery	14.08	61,7	1,212	0,482
TR4 (piano alto)	Giachery	14.08	52,9	0,444	0,294
TR5 (piano basso)	Notarbartolo	14.29	58,2	0,815	0,295
TR5 (piano alto)	Notarbartolo	14.29	54,8	0,551	0,289
TR6 (piano basso)	Giachery	14.37	63,5	1,496	0,558
TR6 (piano alto)	Giachery	14.37	54,3	0,518	0,317
TR7 (piano basso)	Notarbartolo	15.00	60,4	1,051	0,365
TR7 (piano alto)	Notarbartolo	15.00	53,6	0,479	0,304
TR8 (piano basso)	Giachery	15.07	61,2	1,145	0,448
TR8 (piano alto)	Giachery	15.07	52,7	0,432	0,285

(*) ponderata in frequenza secondo filtri per assi combinati UNI 9614 per posizione non nota o variabile.

Tabella 12 – Accelerazioni rilevate per singoli transiti VIB-01 (asse Z-UNI9614)

VIB-01			Asse Z		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L _{weq} [dB]	a _{wmax} [dB]	a _{weq} [mm/s ²]
TR1 (piano basso)	Notarbartolo	13.30	65,0	4,824	1,777
TR1 (piano alto)	Notarbartolo	13.30	56,0	1,493	0,634

APPALTATORE			ATI DI PROGETTAZIONE (Mandataria) Sab (Mandante)						
									
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 29 di 40

VIB-01			Asse Z		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L _{weq} [dB]	a _{wmax} [dB]	a _{weq} [mm/s ²]
TR2 (piano basso)	Giachery	13.39	60,2	3,600	1,018
TR2 (piano alto)	Giachery	13.39	54,4	1,678	0,522
TR3 (piano basso)	Notarbartolo	13.59	64,5	6,313	1,682
TR3 (piano alto)	Notarbartolo	13.59	56,0	2,284	0,634
TR4 (piano basso)	Giachery	14.08	64,8	4,838	1,728
TR4 (piano alto)	Giachery	14.08	54,9	1,415	0,557
TR5 (piano basso)	Notarbartolo	14.29	60,1	2,975	1,009
TR5 (piano alto)	Notarbartolo	14.29	54,2	1,759	0,512
TR6 (piano basso)	Giachery	14.37	65,2	5,585	1,824
TR6 (piano alto)	Giachery	14.37	56,6	2,000	0,677
TR7 (piano basso)	Notarbartolo	15.00	61,5	3,955	1,191
TR7 (piano alto)	Notarbartolo	15.00	55,5	1,835	0,597
TR8 (piano basso)	Giachery	15.07	63,0	4,326	1,405
TR8 (piano alto)	Giachery	15.07	55,3	1,570	0,579

(*) ponderata in frequenza secondo filtri per assi combinati UNI 9614 per posizione non nota o variabile.

Tabella 13 – Accelerazioni rilevate per singoli transiti VIB-02 (asse X-UNI9614)

VIB-02			Asse X		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L _{weq} [dB]	a _{wmax} [dB]	a _{weq} [mm/s ²]
TR1 (piano basso)	Notarbartolo	16.29	51,6	1,529	0,381
TR1 (piano alto)	Notarbartolo	16.29	41,9	0,191	0,125
TR2 (piano basso)	Giachery	16.36	50,8	0,873	0,345
TR2 (piano alto)	Giachery	16.36	43,1	0,276	0,143
TR3 (piano basso)	Notarbartolo	17.00	51,9	0,846	0,394
TR3 (piano alto)	Notarbartolo	17.00	44,5	0,293	0,167
TR4 (piano basso)	Giachery	17.31	48,8	0,491	0,276
TR4 (piano alto)	Giachery	17.31	43,5	0,233	0,150
TR5 (piano basso)	Notarbartolo	17.37	51,3	0,783	0,367
TR5 (piano alto)	Notarbartolo	17.37	43,6	0,305	0,151
TR6 (piano basso)	Giachery	18.00	51,4	0,802	0,373
TR6 (piano alto)	Giachery	18.00	44,6	0,270	0,170
TR7 (piano basso)	Notarbartolo	18.06	48,8	0,468	0,277
TR7 (piano alto)	Notarbartolo	18.06	43,6	0,213	0,152
TR8 (piano basso)	Notarbartolo	16.29	51,6	1,529	0,381
TR8 (piano alto)	Notarbartolo	16.29	41,9	0,191	0,125

(*) ponderata in frequenza secondo filtri per assi combinati UNI 9614 per posizione non nota o variabile.

Tabella 14 – Accelerazioni rilevate per singoli transiti VIB-02 (asse Y-UNI9614)

VIB-02	Asse Y
--------	--------

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 30 di 40

Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L _{weq} [dB]	a _{wmax} [dB]	a _{weq} [mm/s ²]
TR1 (piano basso)	Notarbartolo	16.29	49,2	0,562	0,290
TR1 (piano alto)	Notarbartolo	16.29	41,6	0,176	0,120
TR2 (piano basso)	Giachery	16.36	52,8	1,111	0,435
TR2 (piano alto)	Giachery	16.36	42,9	0,254	0,139
TR3 (piano basso)	Notarbartolo	17.00	54,3	1,022	0,519
TR3 (piano alto)	Notarbartolo	17.00	44,0	0,246	0,158
TR4 (piano basso)	Giachery	17.31	51,6	0,711	0,379
TR4 (piano alto)	Giachery	17.31	43,2	0,262	0,144
TR5 (piano basso)	Notarbartolo	17.37	54,4	1,015	0,525
TR5 (piano alto)	Notarbartolo	17.37	43,5	0,276	0,149
TR6 (piano basso)	Giachery	18.00	54,0	1,124	0,504
TR6 (piano alto)	Giachery	18.00	44,1	0,253	0,161
TR7 (piano basso)	Notarbartolo	18.06	51,9	0,635	0,395
TR7 (piano alto)	Notarbartolo	18.06	42,7	0,237	0,137
TR8 (piano basso)	Notarbartolo	16.29	49,2	0,562	0,290
TR8 (piano alto)	Notarbartolo	16.29	41,6	0,176	0,120

(*) ponderata in frequenza secondo filtri per assi combinati UNI 9614 per posizione non nota o variabile.

Tabella 15 – Accelerazioni rilevate per singoli transiti VIB-02 (asse Z-UNI9614)

VIB-02			Asse Z		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L _{weq} [dB]	a _{wmax} [dB]	a _{weq} [mm/s ²]
TR1 (piano basso)	Notarbartolo	16.29	48,0	0,551	0,252
TR1 (piano alto)	Notarbartolo	16.29	49,8	0,614	0,308
TR2 (piano basso)	Giachery	16.36	52,7	1,246	0,432
TR2 (piano alto)	Giachery	16.36	52,7	1,021	0,430
TR3 (piano basso)	Notarbartolo	17.00	54,2	1,148	0,515
TR3 (piano alto)	Notarbartolo	17.00	53,9	0,937	0,493
TR4 (piano basso)	Giachery	17.31	51,4	0,695	0,371
TR4 (piano alto)	Giachery	17.31	52,5	0,797	0,420
TR5 (piano basso)	Notarbartolo	17.37	54,0	1,104	0,503
TR5 (piano alto)	Notarbartolo	17.37	53,2	0,962	0,459
TR6 (piano basso)	Giachery	18.00	53,9	1,094	0,496
TR6 (piano alto)	Giachery	18.00	54,2	0,919	0,512
TR7 (piano basso)	Notarbartolo	18.06	51,3	0,680	0,368
TR7 (piano alto)	Notarbartolo	18.06	52,1	0,672	0,405
TR8 (piano basso)	Notarbartolo	16.29	48,0	0,551	0,252
TR8 (piano alto)	Notarbartolo	16.29	49,8	0,614	0,308

(*) ponderata in frequenza secondo filtri per assi combinati UNI 9614 per posizione non nota o variabile.


APPALTATORE			ATI DI PROGETTAZIONE						
			(Mandataria)				Sab (Mandante)		
									
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 31 di 40



Tabella 16 – Accelerazioni rilevate per singoli transiti VIB-03 (asse X-UNI9614)

VIB-03			Asse Z		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L _{weq} [dB]	a _{wmax} [dB]	a _{weq} [mm/s ²]
TR1 (piano basso)	Notarbartolo	19.26	49,6	0,634	0,302
TR1 (piano alto)	Notarbartolo	19.26	45,3	0,413	0,185
TR2 (piano basso)	Giachery	19.36	49,2	0,490	0,288
TR2 (piano alto)	Giachery	19.36	43,8	0,285	0,154
TR3 (piano basso)	Notarbartolo	19.53	47,6	0,422	0,240
TR3 (piano alto)	Notarbartolo	19.53	45,3	0,306	0,184
TR4 (piano basso)	Notarbartolo	20.04	53,1	0,700	0,451
TR4 (piano alto)	Notarbartolo	20.04	46,1	0,339	0,201
TR5 (piano basso)	Giachery	20.23	47,9	0,441	0,247
TR5 (piano alto)	Giachery	20.23	45,4	0,301	0,187
TR6 (piano basso)	Giachery	20.31	49,2	0,525	0,288
TR6 (piano alto)	Giachery	20.31	44,5	0,331	0,168
TR7 (piano basso)	Giachery	20.47	47,6	0,339	0,239
TR7 (piano alto)	Giachery	20.47	43,8	0,257	0,154
TR8 (piano basso)	Notarbartolo	19.26	49,6	0,634	0,302
TR8 (piano alto)	Notarbartolo	19.26	45,3	0,413	0,185

(*) ponderata in frequenza secondo filtri per assi combinati UNI 9614 per posizione non nota o variabile.

Tabella 17 – Accelerazioni rilevate per singoli transiti VIB-03 (asse Y-UNI9614)

VIB-03			Asse Y		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L _{weq} [dB]	a _{wmax} [dB]	a _{weq} [mm/s ²]
TR1 (piano basso)	Notarbartolo	19.26	50,0	0,740	0,318
TR1 (piano alto)	Notarbartolo	19.26	44,5	0,312	0,167
TR2 (piano basso)	Giachery	19.36	49,6	0,516	0,301
TR2 (piano alto)	Giachery	19.36	43,4	0,212	0,148
TR3 (piano basso)	Notarbartolo	19.53	48,0	0,527	0,252
TR3 (piano alto)	Notarbartolo	19.53	45,9	0,292	0,198
TR4 (piano basso)	Notarbartolo	20.04	54,5	0,798	0,530
TR4 (piano alto)	Notarbartolo	20.04	45,6	0,302	0,190
TR5 (piano basso)	Giachery	20.23	48,3	0,521	0,261
TR5 (piano alto)	Giachery	20.23	45,5	0,286	0,189
TR6 (piano basso)	Giachery	20.31	50,0	0,641	0,317
TR6 (piano alto)	Giachery	20.31	44,0	0,292	0,158
TR7 (piano basso)	Giachery	20.47	48,3	0,399	0,259
TR7 (piano alto)	Giachery	20.47	42,7	0,202	0,137
TR8 (piano basso)	Notarbartolo	19.26	50,0	0,740	0,318
TR8 (piano alto)	Notarbartolo	19.26	44,5	0,312	0,167

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 32 di 40

VIB-03			Asse Y		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L_{weq} [dB]	a_{wmax} [dB]	a_{weq} [mm/s ²]
(*) ponderata in frequenza secondo filtri per assi combinati UNI 9614 per posizione non nota o variabile.					

Tabella 18 – Accelerazioni rilevate per singoli transiti VIB-03 (asse Z-UNI9614)

VIB-03			Asse Z		
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	L_{weq} [dB]	a_{wmax} [dB]	a_{weq} [mm/s ²]
TR1 (piano basso)	Notarbartolo	19.26	59,3	2,279	0,918
TR1 (piano alto)	Notarbartolo	19.26	51,6	0,904	0,380
TR2 (piano basso)	Giachery	19.36	60,4	1,994	1,044
TR2 (piano alto)	Giachery	19.36	51,1	0,772	0,358
TR3 (piano basso)	Notarbartolo	19.53	56,0	1,384	0,632
TR3 (piano alto)	Notarbartolo	19.53	49,6	0,678	0,301
TR4 (piano basso)	Notarbartolo	20.04	62,3	2,321	1,301
TR4 (piano alto)	Notarbartolo	20.04	53,4	0,881	0,466
TR5 (piano basso)	Giachery	20.23	56,8	1,316	0,691
TR5 (piano alto)	Giachery	20.23	49,7	0,695	0,304
TR6 (piano basso)	Giachery	20.31	60,7	2,246	1,089
TR6 (piano alto)	Giachery	20.31	51,8	0,851	0,390
TR7 (piano basso)	Giachery	20.47	56,7	1,137	0,685
TR7 (piano alto)	Giachery	20.47	50,4	0,602	0,331
TR8 (piano basso)	Notarbartolo	19.26	59,3	2,279	0,918
TR8 (piano alto)	Notarbartolo	19.26	51,6	0,904	0,380
(*) ponderata in frequenza secondo filtri per assi combinati UNI 9614 per posizione non nota o variabile.					

Per la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento al ricettore maggiormente impattato in condizione ante operam, si è valutata la velocità di picco puntuale (p.p.v.) per singolo transito dei convogli ferroviari, definito come il valore massimo del modulo vettore velocità misurato in un dato punto. I valori di velocità componente per componente per singolo transito sono stati desunti per integrazione numerica dei corrispondenti valori di accelerazione. Le tre componenti sono state combinate vettorialmente per determinare, istante per istante, il modulo della velocità risultante che è stato confrontato con il valore della velocità di soglia di riferimento stabilito per vibrazioni transitorie dalla normativa (SN 640312).

Oltre al parametro velocità di picco puntuale si è considerato nella valutazione anche il valore massimo (p.c.p.v.), per singolo transito, del modulo di una delle tre componenti

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandataria) Sab (Mandante)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 33 di 40




ortogonali ottenute tutte per integrazione numerica dei corrispondenti valori di accelerazione. I valori massimi (p.c.p.v.) associati ai singoli transiti dei convogli ferroviari sono stati confrontati con il valore della velocità di soglia di riferimento stabilito per vibrazioni di breve durata dalla normativa (DIN 4150-3 e BS7385-2).

Tabella 19 – Valori di picco puntuale (p.p.v.) e valori massimo (p.c.p.v.) per singolo transito VIB-01 (UNI9916)

VIB-01				
Transiti ferroviari	Direzione	Orari transiti	p.c.p.v. (mm/s)	p.p.v. (mm/s)
TR1 (piano basso)	Giachery	9.59	0,0013	0,0022
TR1 (piano alto)	Giachery	9.59	0,003	0,0022
TR2 (piano basso)	Notarbartolo	10.08	0,003	0,004
TR2 (piano alto)	Notarbartolo	10.08	0,006	0,007
TR3 (piano basso)	Giachery	10.29	0,011	0,014
TR3 (piano alto)	Giachery	10.29	0,032	0,039
TR4 (piano basso)	Notarbartolo	10.39	0,005	0,007
TR4 (piano alto)	Notarbartolo	10.39	0,009	0,010
TR5 (piano basso)	Giachery	10.58	0,001	0,002
TR5 (piano alto)	Giachery	10.58	0,003	0,0023
TR6 (piano basso)	Notarbartolo	11.00	0,002	0,003
TR6 (piano alto)	Notarbartolo	11.00	0,005	0,006
TR7 (piano basso)	Giachery	11.30	0,001	0,0022
TR7 (piano alto)	Giachery	11.30	0,002	0,003

Non si rilevano criticità per singolo transito dei convogli ferroviari pertanto le vibrazioni indotte non risultano tali da arrecare danni strutturali agli edifici presenti in prossimità della linea ferroviaria.

Per maggior dettaglio si rimanda ai report di misura allegati al presente studio.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 34 di 40	

• PROPAGAZIONE DELL'ENERGIA VIBRAZIONALE

Allo stato attuale non sono disponibili modelli pratici per la previsione dell'impatto ambientale di vibrazioni indotte dai convogli ferroviari, per tale motivo si è proceduto all'analisi dei seguenti aspetti:

- ✓ conformazione geologica del sottosuolo;
- ✓ risultanze della campagna di misure vibrazionali.

La trasmissione delle vibrazioni generate dal passaggio di un convoglio ferroviario al terreno e alle strutture circostanti è un problema complesso, dipendente da numerosi fattori. Il processo di trasmissione delle vibrazioni può essere suddiviso essenzialmente in tre fasi:


1. generazione delle vibrazioni;
2. propagazione delle vibrazioni nel sottosuolo;
3. ricezione delle vibrazioni da parte delle strutture poste nelle vicinanze della sorgente.

Ciascuna fase del processo modifica l'ampiezza e il contenuto in frequenza delle vibrazioni.

Alla sorgente le vibrazioni mostrano caratteristiche (ampiezza e contenuto in frequenza) dipendenti dai meccanismi di generazione che entrano in gioco. Le vibrazioni generate dal passaggio degli autoveicoli e dei convogli ferroviari si propagano nel sottosuolo, modificandosi in relazione alle proprietà geometriche e dinamiche dei terreni attraversati.

Adottando le ipotesi che seguono:

1. la propagazione dell'energia vibrazionale avviene sulla superficie del suolo per mezzo di onde di Rayleigh, la cui ampiezza decresce esponenzialmente in direzione verticale, perpendicolarmente alla superficie del suolo. L'effetto delle onde primarie, secondarie e di Love è trascurato;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 35 di 40	

2. ogni sorgente emette energia vibrazionale in superficie in modo omnidirezionale;

e considerando il suolo come un mezzo non dissipativo, l'energia vibrazionale (J_d) trasportata dalle onde di Rayleigh attraverso la superficie decresce proporzionalmente a $1/d$. In base alle suddette ipotesi 1 e 2, il valore assoluto dell'accelerazione r.m.s. alla distanza d si ottiene dalla seguente equazione:

In particolare, l'ampiezza delle vibrazioni che raggiungono la

$$a_d = \frac{J_d}{J_0} = \frac{a_d^2}{a_0^2} \sqrt{e^{-2\alpha(d-d_0)}} d_0 / d$$

superficie libera del terreno dipende dal rapporto esistente fra la frequenza dell'eccitazione e la frequenza fondamentale (prima frequenza naturale) del terreno. Se la frequenza dell'eccitazione, cioè la frequenza delle vibrazioni alla sorgente, uguaglia la frequenza fondamentale del terreno si verifica un fenomeno di risonanza, ossia si massimizza il rapporto fra il livello di vibrazione del suolo e il livello di vibrazione alla sorgente.

Se lungo il percorso di propagazione è presente un ostacolo, quest'ultimo intercetta le vibrazioni, modificandone sia l'ampiezza che le caratteristiche spettrali, in dipendenza di fattori sia geometrici (profondità, larghezza e forma dell'ostacolo) che meccanici. Infine le onde meccaniche per mezzo delle quali si propagano le vibrazioni, raggiungono le fondazioni delle strutture presenti nelle vicinanze della sorgente, con caratteristiche che rappresentano il risultato delle tre fasi descritte (generazione, propagazione, intercettazione).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 36 di 40	

- **ANALISI DEGLI IMPATTI PREVISIONALI POST OPERAM**

La stima dell'impatto futuro dovuto alle vibrazioni indotte dai convogli della metropolitana è stata effettuata prendendo a riferimento i risultati delle misure effettuate sulla linea in esercizio ed estrapolando tali risultati a contesti similari a quelli nei quali sono state eseguite le misure.

Considerando che dai risultati della campagna di monitoraggio vibrazioni ante operam non si sono avuti superamenti dei limiti normativi né rispetto al singolo passaggio né rispetto al periodo di misura anzi in tutti i ricettori monitorati, i livelli misurati nell'intero periodo di misura sono risultati inferiori anche alle soglie di percezione stabiliti dalla norma UNI 9614 (74 dB per l'asse Z e 71 dB per gli assi X, Y), si conclude che i livelli vibrazionali risultano impercettibili.

Inoltre dall'analisi dei risultati delle campagne di indagini eseguite segue che l'evento transito dei convogli della metropolitana comporta al massimo un incremento, rispetto al livello vibrazionale residuo, pari a 25 dB(A) per l'asse y, 20 dB(A) per l'asse z, 15 dB(A) per l'asse x nel punto di misura VB-01, 5 dB(A) per gli assi x, y e 10 dB(A) per l'asse z nei punti di misura VIB-02 e VIB-03. Pertanto, secondo l'ipotesi per cui le indagini eseguite in contesti rappresentativi delle situazioni di interferenza ricettore-ferrovia identici a quelli ai margini delle tratte in progetto sono estrapolabili a punti non indagati ed applicando il suddetto massimo incremento per i rispettivi assi di misura ai livelli vibrazionali attuali rilevati, si avrebbero valori critici nel punto di misura VIB-04.

Infatti alla luce della modifica del rotabile futuro e dell'attraversamento della linea di strati affioranti dalla geologia diversa rispetto a quelli solcati dalla linea metropolitana attuale risulta necessario, cautelativamente, individuare delle aree di attenzione in particolare lungo tutta l'area limitrofa alla tratta di futura realizzazione (tratta Giachery-Politeama).

A fronte di ciò si individuano nell'elaborato grafico RS7201EZZP5IM0006003A "Planimetria di individuazione delle aree critiche", all'interno delle fasce di impatto di ampiezza 50 metri per lato dall'asse della linea ferroviaria, le aree definite potenzialmente critiche (aree di attenzione) in fase di esercizio, ossia quegli

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 37 di 40	

agglomerati urbani a ridosso della linea ferroviaria lungo le tratte di nuova realizzazione (tratta Giachery-Stazione Politeama) specie in galleria artificiale, considerato anche il pregio di tale costruzioni residenziali e le caratteristiche del mezzo di trasmissione (terreno) parzialmente differenti rispetto a quelle dei terreni attraversati dalla linea attuale.

A tali aree si aggiungono, prudenzialmente, quelle poste immediatamente al di sopra della linea ferroviaria (cfr. risultati indagine su ricettore monitorato VIB-01 per il quale si riscontrano i livelli vibrazionali maggiori per singolo transito di convogli della metropolitana).

Infatti i ricettori potenzialmente più impattati sono proprio quelli riconducibili agli edifici dei primi fronti rispetto alla linea ferroviaria.




Si riportano nella tabella che segue le aree critiche (aree di attenzione) con indicazione delle progressive chilometriche di inizio e fine.

Tabella 20 – Individuazione delle aree di attenzione

Aree di attenzione	Da progressiva (Km)	A progressiva (Km)
I	0+850	0+923
II	0+950	1+254
III	1+986	2+102
IV	3+621	5+089

Si prevede però in fase di esercizio il monitoraggio dei livelli vibrazionali considerato che, per quanto i risultati delle indagini siano estrapolabili a contesti similari a quelli nei quali sono state eseguite le misure, gli effetti all'interno dei ricettori dipendono dalla tipologia della struttura fondazionale, dalla quota di attestazione della medesima ecc.. dato che caratteristiche simili degli strati affioranti dal punto di vista geologico-stratigrafico non assicurano sempre una medesima risposta dell'edificio.

Infatti come detto, una volta impattate le fondazioni dall'energia vibrazionale associata

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 38 di 40	

al transito del convoglio della metropolitana, la vibrazione si propaga attraverso le strutture e può arrivare ad amplificarsi specie nei casi in cui la frequenza impulsiva corrisponde a quella propria provocando fenomeni di risonanza. Pertanto anche la risposta dell'edificio-struttura può concorrere a diverse valutazioni dei livelli vibrazionali all'interno delle costruzioni stesse.

Una valutazione quantitativa certa dei livelli vibrazionali post operam potrà essere ottenuta solo mediante una campagna di misure in situ da predisporre all'entrata in esercizio della linea stessa.

- **INTERVENTI DI MITIGAZIONE AMBIENTALE**

Il progetto di chiusura dell'anello metro ferroviario ha previsto in fase di progettazione definitiva, anche nel 1° Stralcio Funzionale, la posa in opera di un nuovo armamento al fine di attenuare gli impatti da vibrazione indotti dai convogli della metropolitana anzidetti.

Tale intervento consisteva nell'apposizione di materassini antivibranti, ovvero di un presidio antivibrante in materiale elastomerico interposto tra ballast ferroviario ed il piano di piattaforma.

Si riportano in tabella i tratti in cui si sono adottati i materassini antivibranti al fine di ridurre gli impatti da vibrazioni indotti dai convogli della metropolitana anzidetti.

Tabella 21 – Dettaglio interventi di mitigazione ambientale previsti

Tratta di intervento	Da progressiva (Km)	A progressiva (Km)	Lunghezza intervento (m)	Binario
1	0+510	2+050	1540	singolo
2	3+840	4+450	610	singolo
3	4+450	5+000	550	singolo
4	5+000	5+250	250	doppio

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 39 di 40	

Per quanto riguarda i tratti a cielo aperto, in considerazione dei livelli misurati, il previsto rinnovo dell'armamento costituisce già un efficace intervento di riduzione dei livelli vibrazionali entro i limiti consentiti dalla normativa.

Si confermano, quindi, cautelativamente i presidi mitigativi antivibranti a carico del binario previsti in fase di progetto definitivo su tutta la linea (tratta di intervento 1, 3 e 4) con l'aggiunta del tratto di materassino antivibrante (tratta di intervento 2) dalla fine del tratto in trincea dell'Ucciardone all'inizio del tratto relativo alla galleria artificiale Crispi/Amari per continuità.

Tale scelta è legata all'utilizzo in futuro di un rotabile diverso (ALe/ALn 501-ALe/ALn 502 soprannominati "Minuetto") da quello attuale (automotrice Aln663 e automotrice Aln664) e quindi di una differente sorgente di eccitazione dal punto di vista di energia vibrazionale oltre che dalla parziale diversità della geologia degli strati affioranti di terreno attraversati nel tratto Giachery-Stazione Politeama rispetto a quella dei terreni attraversati dalla linea metropolitana attuale.

Tali presidi mitigativi interesseranno le aree di attenzione precedentemente individuate.

• CONCLUSIONI

Dall'analisi dei risultati delle campagne di monitoraggio in condizione ante operam si rileva che i livelli vibrazionali riscontrati ai ricettori più esposti per singolo transito rispettano in tutte le postazioni di misura i limiti normativi. Per cui non si rilevano criticità in termini di disturbo in ambiente di vita.

Dai rilievi effettuati in condizione ante operam sul ricettore maggiormente impattato non si rilevano criticità neanche in termini di danni potenziali agli edifici corrispondentemente ai singoli transiti dei convogli ferroviari.

Considerato che in condizione post operam si prevedono le medesime caratteristiche di moto per il rotabile anche se con differenze tipologiche rispetto a quello attuale ma in presenza di un trattamento antivibrante all'armamento ferroviario su tutta la linea si può affermare che in tale fase temporale non si prevede alcun superamento dei limiti

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandataria) Sab (Mandante)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
Relazione Generale Vibrazioni	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. RG	OGGETTO DOC. IM0006	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 40 di 40	

normativi per la componente vibrazioni né ai sensi della UNI 9614 né tantomeno ai sensi della UNI9916.

Si può inoltre affermare quindi che, in condizioni post operam, grazie alla previsione di materassini antivibranti in galleria artificiale, al rinnovo dell'armamento nei tratti a cielo aperto pur con rotabile futuro diverso da quello attuale, non si prevedono criticità dal punto di vista vibrazionale.

Si suggerisce, per una valutazione quantitativa certa dei livelli di vibrazione, l'effettuazione di campagne di misura in situ all'entrata in esercizio della linea ferroviaria.