

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 DELLA CANTIERIZZAZIONE Relazione Generale - Vibrazioni

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS72	01	E	ZZ	RG	CA000X	002	A

PROGETTAZIONE: ATI (Associazione Temporanea d'Imprese)

PROGETTAZIONE

GRANDI
INFRASTRUTTURE

PROGIN S.p.A.

PROGIN SPA (Capogruppo Mandataria)



Sab (Mandante)

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato/Data
A	Emissione per consegna	F.Petrelli	13/09/2010	R. Piccirillo	15/09/2010	S. Esposito 16/09/2010

Nome del file:	RS7201EZZRGCA0000X01_A	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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 2 di 25	

INDICE

• PREMESSA	3
• NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
• LIMITI DI RIFERIMENTO	16
• DESCRIZIONE DEI LAVORI PREVISTI IN CANTIERIZZAZIONE	16
• INQUADRAMENTO GEOLOGICO	17
• APPROCCIO METODOLOGICO DI STIMA DEGLI IMPATTI PREVISIONALI CORSO D'OPERA	17
SPETTRO DELLA SORGENTE VIBRAZIONALE A MAGGIOR IMPATTO IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE ED ATTENUAZIONI/AMPLIFICAZIONI	20
• ANALISI DEGLI IMPATTI PREVISIONALI CORSO D'OPERA E CONCLUSIONI	23

ELABORATI GRAFICI

-RS7201EZZP5CA000X002APLANIMETRIA DI LOCALIZZAZIONE DEI RICETTORI CENSITI (scala 1:5000)

-RS7201EZZP5CA000X003APLANIMETRIA DI INDIVIDUAZIONE DELLE AREE CRITICHE (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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 3 di 25	

PREMESSA

La costruzione delle opere in progetto implica l'utilizzo di mezzi e macchinari che possono essere considerati sorgenti vibranti. I moti vibratorii così generati si propagano nel terreno a ridosso delle zone di immissione e possono interessare edifici situati in prossimità delle aree di lavorazione. Tali moti vibratorii, filtrati dall'accoppiamento terreno-fondazioni, interessano tutta la struttura e sono percepite dalle persone che abitano gli edifici direttamente o indirettamente attraverso il "solido" emesso dalle strutture e dagli oggetti posti in vibrazione.

Nei ricettori prossimi alle aree in cui si eseguono lavorazioni si possono verificare criticità causate da attività come le operazioni di scavo all'aperto e in sottoterraneo. Altre criticità possono essere dovute al transito di mezzi pesanti di cantiere su strade e piste estremamente prossime ai ricettori in particolare modo nel caso in cui queste siano dissestate. Alle diverse caratteristiche delle sorgenti vanno affiancate, in tema di valutazione delle problematiche prodotte in questa fase, gli effetti di attenuazione o di amplificazione indotti dalla natura dei terreni presenti e le caratteristiche tipologiche dei ricettori stessi.

L'obiettivo del presente studio è quello di individuare le criticità presenti in relazione alle vibrazioni indotte dalle attività lavorative necessarie alla costruzione delle opere 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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 4 di 25	

- 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 sono la ISO 2631 e la UNI 9614 che 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 UN 9614 e la DIN 4150 (tedesca) definiscono:

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

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 5 di 25	

- c) i periodi di riferimento;
- 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.

Le vibrazioni oggetto dello studio sono di livello non costante.

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:

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 6 di 25	

- diurno, dalle ore 7.00 alle ore 22.00;
- 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

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 7 di 25	

norma UNI 9614.

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:

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

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

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

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 8 di 25	

di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz.

Norma UNI 9916 e ISO 4866

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla norma 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.

La gamme di frequenza presa in considerazione sono 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

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 9 di 25	

Sorgenti di vibrazione	Gamme di frequenza (Hz)
Esplosioni	1 ÷ 300
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

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 10 di 25	

modalità costruttive in uso per gli edifici abitativi.

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	Costruzioni industriali pesanti da cinque a sette piani, di tipo resistente ai terremoti. Strutture pesanti, compresi ponti, fortezze, bastioni.	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 <u>acciaio o calcestruzzo armato con</u>
	2	Edifici pubblici pesanti ad ossatura in legno, di tipo resistente ai terremoti.	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.

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 11 di 25

Categorie di struttura	Gruppi di edifici	
	1	2
3	Case di uno o due piani a ossatura in legno e costruzioni di uso simile, con tamponamenti e/o rivestimenti di tipo resistente ai terremoti.	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
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 simile 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 simile 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 simile 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.

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 12 di 25	

Categorie di struttura	Gruppi di edifici	
	1	2
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
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:

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;

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 13 di 25	

- 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 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 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	

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 14 di 25	

Classe dell'edificio*	Categoria di struttura							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Classe di fondazione (maiuscolo) e tipo di terreno (minuscolo)							
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*			
	Misura alle fondazioni			Misura al pavimento dell'ultimo piano
	Campi di frequenza (Hz)			Frequenze 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.

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 15 di 25	

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
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

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 16 di 25	

frequenze tra 1 e 80 Hz mentre gli edifici possono essere interessati da una gamma di frequenza più ampio; 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 alle persone 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).

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.

DESCRIZIONE DEI LAVORI PREVISTI IN CANTIERIZZAZIONE

Il Progetto di Cantierizzazione prevede la realizzazione delle opere tramite una distribuzione alternata delle lavorazioni sfalsate di volta in volta nello spazio e nel tempo in modo da contenere il disagio alla comunità di persone e limitare il periodo di

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 17 di 25	

chiusura delle varie strade interessate dai lavori.

A tale scopo sono state individuate delle vere e proprie aree (in numero di otto) entro cui saranno predisposte lavorazioni di opere differenti tra loro nello stesso periodo temporale.

Le fasi di lavorazioni più impattanti dal punto di vista vibrazionale sono quelle relative allo scavo a foro cieco con escavatore piuttosto che quelle relative alla realizzazione dei diaframmi. Gli impatti connessi con il transito dei mezzi d'opera sulla rete stradale cittadina sono trascurabili in relazione a quelli associati alle lavorazioni di cantiere anzidette.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per il dettaglio circa l'inquadramento geologico dell'area interessata all'intervento in progetto si rimanda alla relazione generale relativa al progetto ambientale.

APPROCCIO METODOLOGICO DI STIMA DEGLI IMPATTI PREVISIONALI CORSO D'OPERA

La diversità delle possibili sorgenti vibratorie (tipologia di escavatori utilizzati per gli scavi e per le demolizioni ecc...), la complessità dei fenomeni di interazione tra sorgente e terreno, la complessità dei fenomeni di propagazione della vibrazione nel terreno e negli edifici fanno sì che i soli metodi disponibili per la previsione del livello di vibrazione indotta da tali attività all'interno delle abitazioni maggiormente esposte siano di natura empirica.

I dati di input utilizzati dal modello sono: gli spettri di vibrazioni delle macchine di cantiere, la tipologia del terreno, la tipologia degli edifici, la distanza degli edifici dall'area di cantiere ed il numero di piani.

Tra le lavorazioni che durante la costruzione dell'opera in valutazione possono avere maggiore impatto in termini di vibrazioni la principale è rappresentata dallo scavo delle gallerie artificiali.

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 18 di 25	

Tale lavorazione si prevede abbia durata in continuo (24 h) per l'intera giornata (lavorazione a ciclo continuo).

Come noto l'attenuazione di un campo vibrazionale in un mezzo con la distanza è funzione dell'effetto combinato dei seguenti fenomeni:

-l'attenuazione geometrica legata alla propagazione dell'energia vibratoria entro volumi di terreno crescenti con la distanza dalla sorgente;

-l'attenuazione materiale del mezzo, legata alle caratteristiche dissipative del mezzo all'interno del quale avviene la propagazione di energia vibratoria, in questo caso il deposito di terreno. L'attenuazione materiale è un fenomeno complesso risultante dall'interazione di diversi meccanismi, tra cui quelli più importanti sono le perdite di energia per attrito tra le particelle di terreno e le perdite dovute al moto relativo tra fase solida e fluida del terreno.

In questo studio la modellazione del fenomeno di attenuazione del campo vibratorio con la distanza, per distanze inferiori a 30 m dall'area di cantiere, è stata compiuta utilizzando un approccio di tipo empirico. La relazione utilizzata fornisce l'attenuazione in ampiezza delle vibrazioni in funzione della distanza dalla sorgente:

dove:

$$\Delta L = k \log_{10} \frac{(R - R_0)f}{V}$$

ΔL è l'attenuazione espressa in dB;

k è un parametro che dipende dal tipo di terreno;

R e R_0 sono le distanze dalla sorgente dei due punti tra i quali viene valutato il livello di attenuazione;

V è la velocità di propagazione delle onde di superficie (in questo caso delle onde di Rayleigh);

f è la frequenza centrale della banda considerata.

Si assume per il parametro K il valore di 11.

La relazione anzidetta per distanze $(R - R_0)$ inferiori ad una lunghezza d'onda predice valori negativi dell'attenuazione e cioè amplificazione del livello vibrazionale. Tale previsione è attribuibile all'effetto combinato del campo vicino e della dispersione

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 19 di 25	

geometrica legata all'eterogeneità del mezzo.

Per la successiva caratterizzazione della propagazione delle vibrazioni negli edifici si è proceduto alla valutazione dell'attenuazione/amplificazione del livello di vibrazione dall'esterno dell'edificio al piano interrato (effetto dell'accoppiamento terreno-fondazioni) e dal piano interrato al primo piano abitato (effetto della risposta della struttura verticale dell'edificio).

Pertanto per determinare i livelli di vibrazione prodotti durante la fase di lavorazione e per verificare il rispetto delle accelerazioni massime consentite dalle norme UNI 9614 è stato utilizzato un modello in grado di valutare i livelli di vibrazione all'interno dell'edificio maggiormente impattato.

La procedura di indagine dei livelli di vibrazione si articola secondo le seguenti fasi:

1. determinazione degli spettri di sorgente dei macchinari più impattanti (escavatori cingolati) misurati sul terreno;
2. identificazione delle caratteristiche geotecniche del terreno;
3. calcolo dei livelli di vibrazione nei diversi piani dell'edificio utilizzando le matrici di attenuazione del terreno e i termini di attenuazione relativi agli edifici;
4. confronto dei risultati con i limiti massimi imposti dalla normativa.

Per quanto riguarda, invece, gli impatti connessi con il transito dei mezzi d'opera sulla rete stradale cittadina occorre mettere in evidenza che misure eseguite in ricettori impattati dal traffico di mezzi di cantiere, nell'ambito della costruzione della linea ferroviaria A.V. Milano-Bologna hanno messo in luce che ad una distanza di 18 metri le vibrazioni indotte da vari mezzi di cantiere gommati non hanno superato la soglia di percezione. In generale i problemi causati dalle vibrazioni indotte dai transiti di mezzi pesanti risultano più gravosi allorquando si ha una disconnessione del manto stradale.

Sarà più opportuno, comunque, l'impiego di macchine movimento terra ed operatrici gommate piuttosto che cingolate e lo svolgimento di una manutenzione delle sedi stradali interne ed esterne ai cantieri utilizzate dai mezzi d'opera mantenendo la superficie stradale livellata per evitare la formazione di buche.

Nell'ambito della stima degli impatti vibrazionali in fase di cantierizzazione si segnala

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 20 di 25	

che il disturbo alle persone dovuto alle lavorazioni sul fronte di avanzamento lavori ha per sua natura una durata limitata al tempo necessario a consentire l'avanzamento del fronte. Dal censimento dei ricettori più impattati (cfr. RS7201EZZP5CA000X003A "Planimetria di individuazione delle aree critiche") non si rileva la presenza di laboratori di precisione tra quelli più prossimi all'infrastruttura in progetto pertanto l'effetto di vibrazioni anche per fenomeni vibratorii modesti non potrebbe portare ad alcuna criticità.

Per quanto riguarda l'eventualità di danneggiamenti agli edifici, la durata delle lavorazioni e la natura delle stesse non presuppone nessuna criticità potenziale.

SPETTRO DELLA SORGENTE VIBRAZIONALE A MAGGIOR IMPATTO IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE ED ATTENUAZIONI/AMPLIFICAZIONI

Come spettro di sorgente del macchinario si impiega lo spettro vibrazionale relativo alla sorgente escavatore cingolato a qualche metro di distanza dalla sorgente.

Tabella 8- Spettro di emissione dei livelli di vibrazione per escavatore cingolato.

Frequenza Hz	Attenuazione curva UNI9614 postura non nota o variabile dB	L_i^(*) dB
1	0	50
1,25	0	48
1,6	0	48
2	0	40
2,5	2	48
3,2	4	48
4	6	48
5	8	48
6,3	10	48
8	12	48
10	14	58
12,5	16	62
16	18	80
20	20	81
25	22	82
31,5	24	81
40	26	80
50	28	85

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 21 di 25	

Frequenza Hz	Attenuazione curva UNI9614 postura non nota o variabile dB	$L_i^{(*)}$ dB
63	30	90
80	32	75

(*) si intendono i livelli di emissione in termini di vibrazioni corrispondentemente alla frequenza centrale di banda.

Pertanto dall'analisi dell'accelerazione in terzi di ottava nell'intervallo 1-80 Hz il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza (L_w) sarà dato dalla seguente relazione:

$$L_w = 10 \log_{10} \sum_i 10^{L_{i,w}/10}$$

dove: $L_{i,w}$ sono i livelli rilevati per terzi di ottava ponderati in frequenza come anzidetto.

Nello specifico il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza (L_w) corrisponderà a 69 dB per escavatore cingolato.

Valutando indi il termine di attenuazione del terreno tra sorgente e punto distante 18 metri dal cantiere si ottengono, con la relazione anzidetta, i seguenti valori tabellari:

$$A_T = k * \log_{10} \frac{(R - R_0)f}{V}$$

Tabella 9- Spettro di emissione dei livelli di vibrazione per escavatore cingolato (attenuazione dovuta al suolo).

Frequenza Hz	Attenuazione dovuta al terreno (A_{Ti}) dB	Attenuazione curva UNI9614 postura non nota o variabile dB	L_i dB
1	-14,90926424	0	50
1,25	-13,84325409	0	48
1,6	-12,66394443	0	48
2	-11,59793429	0	40
2,5	-10,53192414	2	48
3,2	-9,352614476	4	48
4	-8,286604333	6	48
5	-7,22059419	8	48
6,3	-6,116518194	10	48
8	-4,975274381	12	48
10	-3,909264238	14	58
12,5	-2,843254095	16	62

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 22 di 25	

Frequenza Hz	Attenuazione dovuta al terreno (A_{Ti}) dB	Attenuazione curva UNI9614 postura non nota o variabile dB	L_i dB
16	-1,663944429	18	80
20	-0,597934286	20	81
25	0,468075858	22	82
31,5	1,572151854	24	81
40	2,713395667	26	80
50	3,77940581	28	85
63	4,883481806	30	90
80	6,024725619	32	75

(*) si intendono i livelli di emissione in termini di vibrazioni corrispondentemente alla frequenza centrale di banda.

Tuttavia in presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi di fondazione di vario genere, accade che i livelli di accelerazione riscontrabili all'interno degli edifici stessi possono presentare sia attenuazioni sia amplificazioni rispetto ai livelli stimati sul terreno. In particolare diversi sistemi di fondazione producono una attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante; tale aspetto è legato al fatto che l'interfaccia terreno-struttura non è perfettamente solidale e pertanto genera fenomeni dissipativi. Detto fenomeno è condizionato dalla tipologia delle fondazioni (platea, su plinti isolati, su travi rovesce, ecc...).

Infatti in letteratura si assume l'attenuazione delle fondazioni pari a 0 dB per le fondazioni a platea, a 3 dB per fondazioni su trave rovesce in cls ed a 5 dB nel caso di fondazioni in muratura o comunque nel caso di fondazioni che non abbiano capacità di immorsamento. Pertanto si assume l'attenuazione per fondazioni a trave rovesce (termine di attenuazione A_{ED}).

Le misure di Ishii e Tachibana mostrano un'attenuazione interpiano che varia da 3 dB ai piani bassi sino a 1 dB negli ultimi piani di un edificio a dieci piani con struttura in cls armato e acciaio per cui si assume prudenzialmente una riduzione di 1 dB per ogni piano al di sopra del piano terra (termine di attenuazione A_{SL}).

Il livello di vibrazione al ricettore (L) si ottiene come somma dello spettro di sorgente e

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 23 di 25	

dei livelli di attenuazione sopra descritti:

$$L = L_E - (A_T + A_{ED} + A_{SL})$$

dove:

L_E è il livello di vibrazione del macchinario;

A_T è l'attenuazione dovuta al suolo;

A_{ED} è l'attenuazione fra esterno edificio e piano fondazioni;

A_{SL} è l'attenuazione di interpiano.

Da ciò ne segue che, prendendo a riferimento il valore limite per abitazioni-notte, entro una distanza (distanza critica) di ampiezza pari a circa 18 metri dal cantiere ove è ubicata il macchinario si sentono gli effetti delle lavorazioni in termini vibrazionali e in misura tale da portare a potenziali criticità, anche considerato l'eventuale effetto di amplificazione dovuto alla risonanza dei solai.

ANALISI DEGLI IMPATTI PREVISIONALI CORSO D'OPERA E CONCLUSIONI

Gli unici impatti attesi sono quelli legati alle lavorazioni necessarie per la realizzazione dell'intervento in progetto piuttosto che quelli connessi alle attività di approvvigionamento del cantiere legati alla movimentazione dei mezzi pesanti.

Di conseguenza l'area di indagine comprende l'area direttamente interessata dai lavori.

Come detto i macchinari utilizzati in fase di cantiere possono costituire sorgenti vibranti in grado di interferire con gli edifici presenti in prossimità delle aree operative.

Infatti, dall'analisi delle valutazioni effettuate per il disturbo alle persone (UNI 9614) nel precedente paragrafo, si evince che la distanza di influenza tutto attorno al macchinario di cantiere impiegato per le attività maggiormente impattanti ed entro cui

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 24 di 25	

si risentono degli effetti delle vibrazioni indotte dalle lavorazioni stesse risulta essere pari a circa 18 metri.

Pertanto in linea generale le maggiori criticità vanno ricercate nelle aree di attenzione (costruzioni comprese entro la distanza critica stimata rispetto alle lavorazioni) a ridosso della metroferrovia lungo le tratte di nuova realizzazione (aree di scavo) escludendo cautelativamente solo le zone adiacenti ai cantieri base in quanto all'interno di questi non si eseguono lavorazioni tali da indurre rilevanti fenomeni vibranti.

Infatti non si attendono criticità in corrispondenza degli edifici situati a ridosso delle aree di cantiere ove le principali attività svolte risultano essere lo stoccaggio di materiale di scavo e dei mezzi di cantiere.

Si riportano in dettaglio in tabella le aree di attenzione relative alla fase di cantierizzazione riportate nell'elaborato grafico RS7201EZZP5CA000X003A "Planimetria di individuazione delle aree critiche".

Tabella 10- Individuazione delle aree di attenzione

Aree di attenzione	Da progressiva (Km)	A progressiva (Km)
I	1+337	1+538
II	3+754	4+300
III	4+242	4+400
IV	4+485	oltre 5+258 progressiva chilometrica di fine progetto

Si predisporranno, cautelativamente comunque, come misure gestionali per contenere le emissioni di vibrazioni durante le attività di cantiere opportune campagne di monitoraggio atte a guidare la scelta dei macchinari e le tecniche di scavo specie in corrispondenza degli edifici situati a ridosso delle lavorazioni a maggior impatto e al controllo costante dello stato dei ricettori e dei livelli di disturbo. La riduzione delle emissioni direttamente sulla fonte può essere ottenuta tramite una corretta scelta delle macchine e delle attrezzature con opportune procedure di manutenzione dei mezzi e

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. CA000X	PROG. DOC. 002	REV A	Pag. 25 di 25

delle attrezzature intervenendo, quando possibile, sulle modalità operazionali e di predisposizione del cantiere.

Pertanto, le azioni preventive e di controllo si estrinsecheranno nel monitoraggio dei livelli di disturbo per i residenti negli edifici per valutare i potenziali effetti indotti dalle lavorazioni.

Tale monitoraggio sarà svolto durante le fasi di lavorazioni ritenute più critiche (scavo con escavatore cingolato) con l'ausilio di analizzatore a otto canali e terne accelerometriche per la valutazione del disturbo per la popolazione (norma UNI 9614).