

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

MANDATARIA:



MANDANTE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI, TRATTA NAPOLI-CANCELLO, IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014

RELAZIONE

STUDIO VIBRAZIONALE

RELAZIONE

APPALTATORE	PROGETTAZIONE	
DIRETTORE TECNICO Ing. M. PANISI	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE Ing. A. CHECCHI	
gg/mm/aa	gg/mm/aa	

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV. SCALA:

I	F	1	M	0	0	E	Z	Z	R	G	I	M	0	0	0	6	0	0	2	A	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMMISSIONE PER RdV	DARI	10/09/18	CANALE	11/09/18	RONDINARA	11/09/18	CANALE	
									12/09/18

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO	
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
		IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	2 di 21

1	INTRODUZIONE	3
2	PREMESSA	5
3	RIFERIMENTI NORMATIVI	6
3.1	UNI 9614 “MISURA DELLE VIBRAZIONI NEGLI EDIFICI E CRITERI DI VALUTAZIONE DI DISTURBO”	6
4	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO DELLA LINEA FERROVIARIA	8
4.1	MODELLO PREVISIONALE	8
4.2	CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE.....	9
4.3	LA PROPAGAZIONE DELLE ONDE VIBRAZIONALI.....	12
4.3.1	<i>L’attenuazione geometrica</i>	12
4.3.2	<i>La propagazione delle onde nei terreni sciolti</i>	13
4.3.3	<i>La propagazione nelle strutture edilizie</i>	15
4.3.4	<i>Rumore trasmesso per via solida dalle strutture</i>	17
5	INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITA’ E PREVISIONE DELL’IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO	19
6	EVENTUALI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO VIBRATORIO	21

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO					
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA				
		IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	3 di 21				

1 INTRODUZIONE

Lo studio sulle vibrazioni indotte dal traffico ferroviario sui ricettori prossimi alla linea che è stato redatto nell'ambito del Progetto Definitivo evidenziava potenziali criticità per quegli edifici residenziali che sono ubicati entro una fascia di territorio di ampiezza pari a 25-30 m dall'asse del binario esterno.

Il progetto definitivo individuava n° 9 ricettori ricadenti all'interno della fascia menzionata di cui 5 ad uso residenziale e 4 ad uso commerciale o industriale.

Per tali edifici, il progetto definitivo, una volta realizzata e messa in esercizio la linea ferroviaria, prevedeva la verifica degli effettivi livelli di accelerazione all'interno delle abitazioni al fine di determinare la necessità o meno di interventi di mitigazione. Poiché la verifica dell'eventuale disturbo da vibrazioni può essere eseguita solo successivamente alla messa in esercizio della nuova linea ferroviaria, il progetto definitivo prevedeva una tipologia di intervento che fosse realizzabile senza interferenza con il traffico ferroviario. A tal fine indicava, quale eventuale opera di mitigazione delle vibrazioni indotte dai transiti ferroviari, la realizzazione di setti paralleli alla linea ferroviaria ed in adiacenza ad essa, di profondità ed estensioni tali da intercettare la propagazione del fenomeno vibratorio nel terreno.

La redazione del progetto esecutivo non ha previsto variazioni sostanziali nella localizzazione dell'opera, nella tipologia del corpo ferroviario, nell'armamento e nel programma di esercizio. In tale contesto l'eventuale presenza di nuove criticità potrebbe scaturire a seguito della presenza di eventuali nuovi ricettori ubicati in prossimità della linea ferroviaria.

L'analisi del territorio interessato dall'opera in progetto, eseguita in fase di progettazione esecutiva, non ha evidenziato la presenza di nuovi ricettori ad esclusione di una scuola in prossimità della stazione di Acerra. Tale ricettore, non presente nei censimenti ricettori della progettazione definitiva, è stato censito ed è stato inserito nelle planimetrie dei ricettori acustici con il codice numerico 4140 (cfr. elaborato IF1M.0.0.E.ZZ.P7.IM.00.0.6.014-A) . Tale complesso scolastico, per il quale secondo la UNI 9614 possono essere adottati valori limite analoghi agli edifici residenziali , comunque si ubica ad una distanza maggiore di 200 m dall'asse del binario più esterno e quindi molto al di fuori della fascia di potenziale criticità (inferiore a 30 m).

Considerando quindi che le ipotesi progettuali e le condizioni al contorno sono da considerarsi sostanzialmente invariate rispetto al progetto definitivo, nella presente relazione si farà riferimento agli stessi risultati relativi alle indagini vibrazionali e alle conseguenti elaborazioni riportate nella relazione del progetto definitivo (elaborato "Studio vibrazionale – Relazione generale – IF0E00D22RGIM0006002A).

Si precisa che, così come già previsto nel Progetto Definitivo, la realizzazione degli eventuali interventi di mitigazione che dovessero scaturire da eventuali rilievi successivi all'entrata in esercizio dell'opera non saranno a carico dell'Appaltatore: gli interventi saranno gestiti e

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A. ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> SYSTRA S.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione	IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	5 di 21

2 **PREMESSA**

Il presente documento contiene i risultati dello studio relativo all'impatto vibrazionale prodotto dalla realizzazione del Progetto di "Linea ferroviaria Napoli – Bari - Tratta Napoli-Cancello in variante tra le pK 0+000 e pK 15+585.

Esso si basa anche sui risultati della campagna di rilievi vibrometrici eseguiti nell'ambito della Progettazione Definitiva della Tratta Cancello-Frasso del medesimo itinerario ferroviario Napoli- Bari.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO	
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM.00.0.6.002	REV. A	PAGINA 6 di 21
		IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014					

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

A differenza del rumore ambientale, regolamentato a livello nazionale dalla Legge Quadro n. 447/95, non esiste al momento alcuna legge che stabilisca limiti quantitativi per l'esposizione alle vibrazioni. Esistono invece numerose norme tecniche, emanate in sede nazionale ed internazionale, che costituiscono un utile riferimento per la valutazione del disturbo in edifici interessati da fenomeni di vibrazione.

Per quanto riguarda il disturbo alle persone, i principali riferimenti sono costituiti dalla norma ISO 2631 / Parte 2 "Evaluation of human exposure to whole body vibration / "Continuous and shock- induced vibration in buildings (1 to 80 Hz)". Ad essa, seppur con alcune non trascurabili differenze, fa riferimento la norma UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".

Per quanto riguarda il danno agli edifici il riferimento è la norma UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici".

Si riporta di seguito una sintesi della UNI 9614 applicata nella presente relazione.

3.1 UNI 9614 "MISURA DELLE VIBRAZIONI NEGLI EDIFICI E CRITERI DI VALUTAZIONE DI DISTURBO"

La norma è sostanzialmente in accordo con la ISO 2631-2. Tuttavia, sebbene le modalità di misura siano le stesse, la valutazione del disturbo è effettuata sulla base del valore di accelerazione r.m.s. ponderato in frequenza, il quale è confrontato con una serie di valori limite dipendenti dal periodo di riferimento (giorno, dalle 7:00 alle 22:00, e notte, dalle 22:00 alle 7:00) e dalle destinazioni d'uso degli edifici. Generalmente, tra le due norme, la UNI 9614 si configura come più restrittiva.

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 del loro effetto sul soggetto esposto. Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo. I simboli dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza e del corrispondente livello sono rispettivamente, a_w e L_w . Quest'ultimo, espresso in dB, è definito come

$$L_w = 20 * \log_{10}(a_w / 10^{-6}) \text{ (dove } a_w \text{ è in m/s}^2\text{)}.$$

Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo l'asse z prevede una attenuazione di 3 dB per ottava tra 4 e 1 Hz, una attenuazione nulla tra 4 e 8 Hz ed una attenuazione di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo gli assi x e y prevede una attenuazione nulla tra 1 e 2 Hz e una attenuazione di 6 dB per ottava tra 2 e 80 Hz. La banda di frequenza 1-80 Hz deve essere limitata da un filtro passabanda con una pendenza asintotica di 12 dB per ottava. Nel caso la postura del soggetto esposto non sia

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO					
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA				
		IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	7 di 21				

nota o vari nel tempo, va impiegato il filtro definito nel prospetto I della norma, ottenuto considerando per ogni banda il valore minimo tra i due filtri suddetti. In alternativa, i rilievi su ogni asse vanno effettuati utilizzando in successione i filtri sopraindicati; ai fini della valutazione del disturbo verrà considerato il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza più elevato. Nell'Appendice della norma UNI 9614, che non costituisce parte integrante della norma, si indica che la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante deve essere svolta confrontando i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, o i corrispondenti livelli più elevati riscontrati sui tre assi, con una serie di valori limite riportati nei prospetti II e III. Quando i valori o i livelli delle vibrazioni in esame superano i limiti, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO	
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
		IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	8 di 21

4 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO DELLA LINEA FERROVIARIA

L'esercizio di una linea ferroviaria è fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante. Le cause di tali vibrazioni sono da ricondursi all'interazione del sistema veicolo/armamento/struttura di sostegno e dipendono da diversi fattori quali la tipologia di convoglio, le velocità di esercizio le caratteristiche dell'armamento, la tipologia di terreni e non ultimo le caratteristiche strutturali dei fabbricati.

Le vibrazioni sono in grado di determinare effetti indesiderati sulla popolazione esposta e sugli edifici. Il disturbo sulle persone, classificato come "annoyance", dipende in misura variabile dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. Le vibrazioni possono causare danni agli edifici in alcune situazioni, o in presenza di caratteristiche di estrema suscettività strutturale o di elevati e prolungati livelli di sollecitazione dinamica. Tale situazioni si verificano tuttavia in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance.

Nel caso specifico il territorio interessato dal progetto è di tipo rurale, caratterizzato da un'alternanza di aree agricole/incolti, residenze sparse e strutture del produttivo industriale e artigianale. La tipologia edilizia è costituita per le residenze da fabbricati mediamente di 1-2 piani in altezza in c.a.

I terreni affioranti interessati dal tracciato di progetto sono principalmente sciolti e presentano un comportamento abbastanza omogeneo in relazione al trasferimento di onde vibratorie.

Per quanto riguarda le sorgenti vibrazionali attualmente presenti si evidenziano una serie di infrastrutture stradali di vario tipo, comunque generalmente situate a sufficiente distanza dal tracciato di progetto.

4.1 MODELLO PREVISIONALE

Di seguito si riporta il quadro previsionale sviluppato in fase di progettazione definitiva mediante l'adozione di un modello di propagazione teorico supportato da dati sperimentali. Nel caso specifico, a seguito di indagini specifiche del territorio in esame, sono stati utilizzati i dati desunti dai rilievi vibrazionali eseguiti per valutare la catena di trasmissione delle vibrazioni.

Per valutare le potenziali situazioni di impatto vibrazionale è necessario conoscere i tre elementi di seguito elencati:

- emissione della sorgente;
- propagazione nei terreni;

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO					
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA				
		IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	9 di 21				

- risposta dei fabbricati.

I tre elementi suddetti rappresentano pertanto la base indispensabile per lo sviluppo del modello sperimentale.

Il livello di vibrazione in corrispondenza di un ricettore ad una distanza "x" dalla sede ferroviaria è pari al livello alla distanza di riferimento "x₀", diminuito della somma delle attenuazioni che si verificano nel terreno tra x₀ e x:

$$L(x) = L(x_0) - \sum_i A_i$$

Il livello di base L(x₀) è generalmente ricavato da misure sperimentali svolte in adiacenza alle linee ferroviarie a distanze comprese tra 5 m e 25 m.

4.2 CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE

Per quanto concerne la sorgente costituita dal complesso treno–armamento è indispensabile la conoscenza dei seguenti elementi base:

a) Materiale rotabile:

- tipologia dei veicoli;
- carico per ruota;
- lunghezza del veicolo;
- interperno; passo del carrello;
- caratteristiche di aggressività;
- condizioni di alterazione dell'interfaccia ruota-rotaia
- rigidità e capacità dissipativa della sospensione primaria del carrello del veicolo
- caratteristiche dei sistemi di attacco della rotaia

b) Armamento

- massa della rotaia
- rigidità
- smorzamenti
- masse
- coefficienti di difettosità

I dati utilizzati per la caratterizzazione della sorgente si riferiscono ad una campagna di rilevamenti eseguita (in fase di progettazione definitiva) lungo l'attuale linea Napoli-Roma via Cassino in esercizio. La strumentazione è stata posizionata in corrispondenza di una sezione di corpo ferroviario a raso, lungo la via di propagazione, ed in prossimità di un fabbricato, per

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM.00.0.6.002	REV. PAGINA A 10 di 21
IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014						

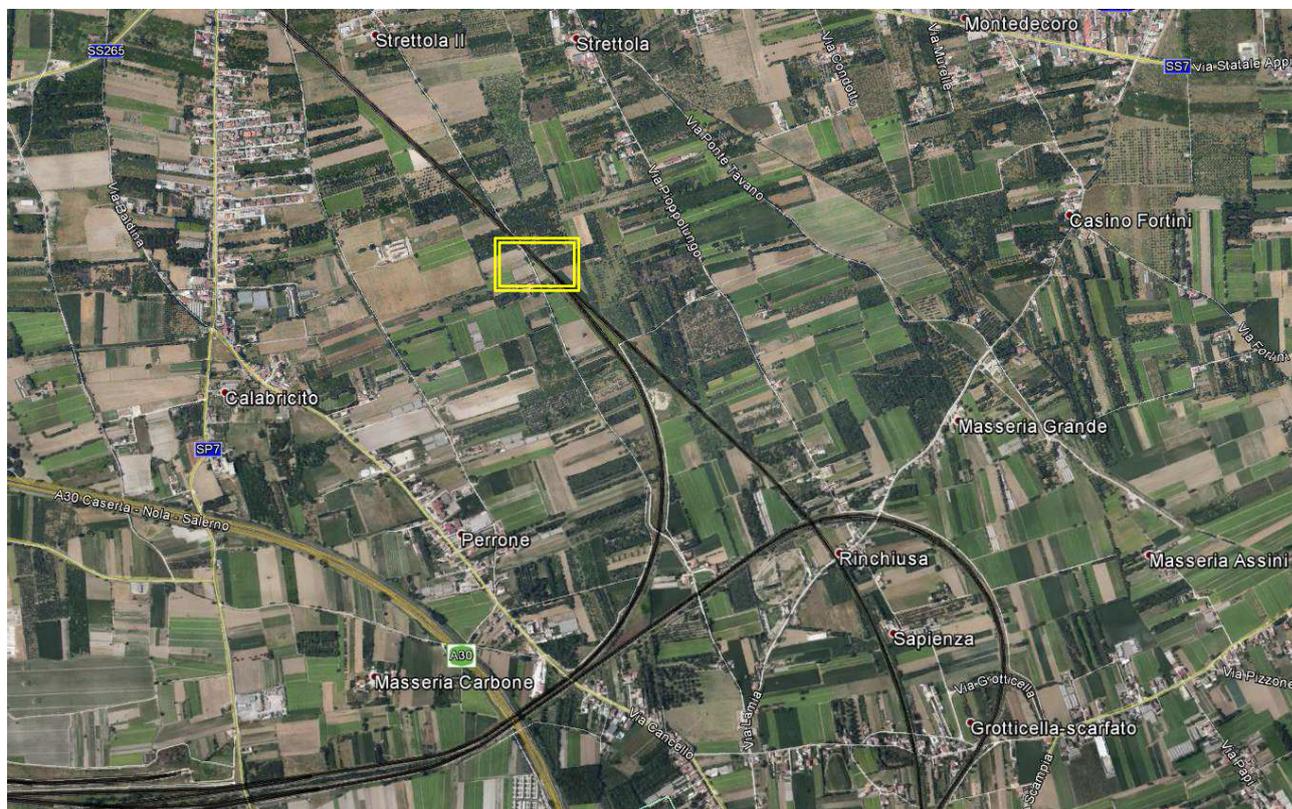
complessivi 4 punti di misura in contemporanea. I rilievi hanno interessato tutte le tipologie di treni in transito, secondo il quadro sinottico sotto riportato.

Treni rilevati durante le misure	Periodo Diurno		Periodo Notturno	
	Dir. Nord	Dir. Sud	Dir. Nord	Dir. Sud
Regionali	40	40	7	6
Metropolitani	12	12	0	0
Inter city	0	0	2	3
Merci	1	0	2	1
Totale	53	52	11	10

Le 4 terne accelerometriche sono state così posizionate:

- Terna 2: all'esterno dell'edificio oggetto di indagine, in prossimità dei binari (distanza 8m dall'asse del binario);
- Terna 1: all'esterno dell'edificio oggetto di indagine, in prossimità dei binari (distanza 16m dall'asse del binario);
- Terna 4: al piede dell'edificio;
- Terna 3: al piano terra dell'edificio.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.	<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.	TRATTA NAPOLI-CANCELLO				
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM.00.0.6.002	REV. PAGINA A 11 di 21



Localizzazione della sezione dei rilievi vibrazionali

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	ROCKSOIL S.p.A.	TRATTA NAPOLI-CANCELLO		
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM.00.0.6.002	REV. PAGINA A 12 di 21
		IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				



Localizzazione delle terne accelerometriche in corrispondenza della sezione dei rilievi vibrazionali

I valori dei livelli di accelerazione associati ai transiti dei convogli rilevati sperimentalmente si attestano su valori superiori a 70 dB lungo gli assi X e Y solo in corrispondenza delle terne poste in prossimità della linea ferroviaria, mentre lungo l'asse Z si attestano già a valori inferiori a 70 dB nei medesimi punti (valori ponderati secondo la Norma UNI 9614). A distanze maggiori (65m, in corrispondenza dell'edificio esaminato) i valori dei livelli di accelerazioni si attestano a circa 70 dB lungo gli assi X e Y ed a circa 55 lungo l'asse Z.

4.3 LA PROPAGAZIONE DELLE ONDE VIBRAZIONALI

4.3.1 L'attenuazione geometrica

L'attenuazione geometrica per una linea di emissione di lunghezza infinita (lunghezza del treno maggiore della distanza sorgente-ricettore) si esprime come:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM.00.0.6.002	REV. PAGINA A 13 di 21

$$A_g = 20 * \log_{10}((d+d_0)/d)^n$$

dove:

$d+d_0$ = distanza dall'asse della linea ferroviaria;

d_0 = distanza di riferimento;

$n = 0,5$ per galleria, $n = 1$ per tracciato di superficie.

4.3.2 La propagazione delle onde nei terreni sciolti

La varietà delle formazioni geologiche comporta le maggiori incertezze di valutazione della propagazione delle vibrazioni. I fattori che possono influire nella determinazione dell'attenuazione nel terreno sono molteplici. I più determinanti sono costituiti dalla natura del mezzo, dal suo grado di costipazione, dall'attrito statico fra i granuli e quindi dalla granulometria, dalla fratturazione del mezzo, dalla presenza di acqua, e da altri fattori la cui differente combinazione può determinare gradi di attenuazione differenti in mezzi litologicamente simili.

Agli effetti dell'analisi del terreno alle azioni dinamiche risulta quindi determinante la suddivisione tra terreni lapidei e terreni sciolti.

In generale i terreni lapidei trasmettono tutta la gamma di frequenze, e principalmente le più alte, mentre quelli sciolti lasciano passare solo le basse frequenze, che comunque corrispondono a quelle di risposta degli edifici.

I ricettori interessati dallo studio sorgono esclusivamente su terreni sciolti di varia natura e granulometria.

L'analisi delle caratteristiche geolitologiche degli strati superficiali del terreno è finalizzata al riconoscimento dei parametri correlabili alla propagazione delle vibrazioni nel terreno. I valori tipici di densità, velocità di propagazione e fattore di perdita, noti esclusivamente per alcune classi geologiche e in presenza di un ammasso omogeneo, sono riassunti nella sottostante tabella.

TIPO DI TERRENO	DENSITA'	VELOCITA' DI PROPAGAZIONE	FATTORE PERDITA η
	[t/m ³]	[m/s]	
Roccia compatta	2.65	3500	0.01
Sabbia, limo, ghiaia, loess	1.6	600	0.1
Argilla, terreni argillosi	1.7	1500	0.2÷0.5

L'attenuazione dovuta all'assorbimento del terreno è stata calcolata con la formula:

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI									
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO					
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA				
		IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	14 di 21				

$$A_t = 4,34 \cdot \Omega \eta x/c$$

dove:

x = distanza dall'asse della linea ferroviaria

Ω = frequenza [rad*s⁻¹]

η = coeffic. di assorbimento del terreno (fattore di perdita)

$$c = (E/d)^{1/2}$$

c = velocità di propagazione dell'onda longitudinale nel terreno

E = modulo elastico

d = densità del terreno

L'attenuazione dovuta alle discontinuità del terreno è stata considerata in modo semplificato ammettendo che l'onda di compressione si sposti dal suolo "a" al suolo "c" e che incida perpendicolarmente alla superficie di separazione dei due mezzi:

$$A_i = 20 \cdot \log[(1 + d_c \cdot c_c / d_a \cdot c_a) / 2]$$

dove:

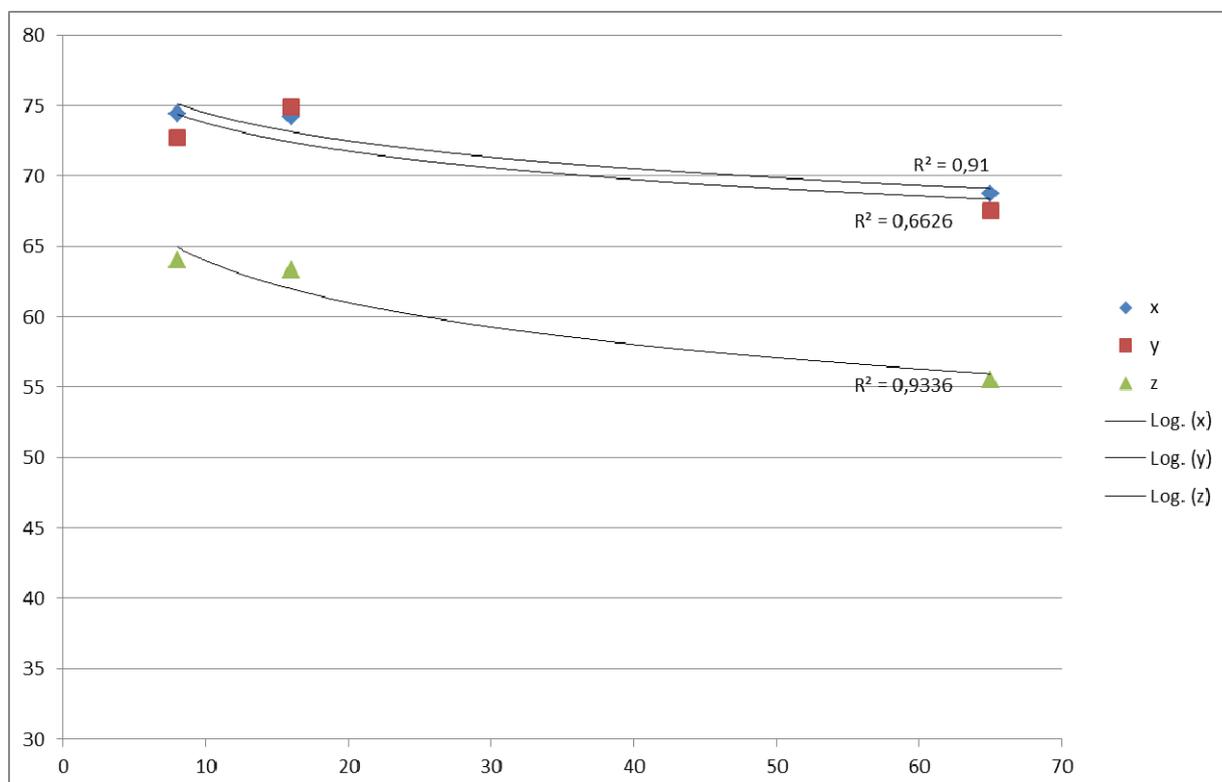
d_c, d_a = densità dei suoli "c" e "a"

c_c, c_a = velocità di propagazione nei suoli "c" e "a"

In considerazione della tipologia dei terreni interessati, per la costruzione del modello sperimentale sono stati utilizzati i dati rilevati dalla campagna di rilievi già citata; si nota che, conoscendo la mutua distanza tra le postazioni, dai dati sperimentali è possibile estrapolare le funzioni di attenuazione che descrivono la propagazione nel terreno dell'onda vibrazionale in funzione della distanza.

In considerazione dei terreni interessati dal tracciato di progetto, si è proceduto sia a valutazioni teoriche sulla propagazione, sia all'utilizzazione di una curva sperimentale di regressione per la trasmissione delle vibrazioni nel terreno lungo i tre assi, come riportato nelle immagini seguenti (livelli medi di accelerazione nelle tre componenti, ponderati per "postura non nota").

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI								
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO				
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM.00.0.6.002	REV. A	PAGINA 15 di 21			
						IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				



Curve di attenuazione in funzione della distanza dall'asse del binario più vicino, ricavate dai rilievi sperimentali sull'attuale linea in esercizio lungo i tre assi

4.3.3 La propagazione nelle strutture edilizie

La propagazione delle vibrazioni negli edifici antistanti le linee ferroviarie e la risposta di pareti e solai dipende dalle caratteristiche costruttive dell'edificio. Al fine delle valutazioni è importante separare due aspetti fondamentali del fenomeno:

- l'interazione suolo-fondazioni
- la propagazione nel corpo dell'edificio

Il primo aspetto è legato al fatto che la mancanza di solidarietà all'interfaccia terreno-struttura dà luogo a fenomeni dissipativi. Detto fenomeno è perciò condizionato dalla tipologia delle fondazioni (fondazioni a platea, fondazioni su plinti isolati, pali di fondazioni, ecc.). Nel caso di fondazioni a platea la grande area di contatto con il terreno determina una perdita di accoppiamento praticamente nulla alle basse frequenze fino alla frequenza di risonanza della fondazione. Per le altre tipologie di fondazioni possono essere utilizzate curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione della fondazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A. ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> SYSTRA S.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione	IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	16 di 21

La propagazione nel corpo dell'edificio è determinante sia per il disturbo agli abitanti sia per la resistenza delle strutture in quanto i pavimenti, pareti e soffitti degli edifici sono soggetti a significative amplificazioni delle vibrazioni rispetto a quelle trasmesse dalle fondazioni. In molti casi la risonanza delle strutture orizzontali può causare un'amplificazione delle vibrazioni nel campo di frequenze comprese tra 10 e 30 Hz. I problemi maggiori si verificano quando la frequenza di risonanza dei solai coincide con la frequenza di picco dello spettro di vibrazione del terreno. Negli edifici multipiano un valore di attenuazione delle vibrazioni da piano a piano è approssimativamente pari a 3 dB. I risultati di misure sperimentali (Ishii e Tachibana) in un edificio a 10 piani fuori terra con struttura in calcestruzzo armato e acciaio mostrano un'attenuazione di circa 1 dB alle basse frequenze in corrispondenza dei piani alti e maggiore di 3 dB ai primi piani.

La norma DIN 4150 riferisce che, nel caso di vibrazioni orizzontali le frequenze proprie dei piani di un edificio seguono all'incirca la legge $f = 10/n$, essendo n il numero del piano. Per la componente verticale si hanno circa $f = 10$ Hz per pavimenti poco rigidi e $f = 30$ Hz per pavimenti molto rigidi. Gli incrementi per risonanza possono essere dell'ordine di 3÷8 volte, con rari casi di incrementi fino a 15 volte.

Risultati analoghi sono stati ottenuti nel corso di misure eseguite dalle Ferrovie Svizzere: generalmente si ha un'attenuazione nelle componenti orizzontali x e y ($f = 0÷80$ Hz) tra suolo e piano terra degli edifici ma si verifica un'amplificazione della componente verticale z tra suolo e piano terra e suolo-primo piano. Mediamente l'amplificazione sul pavimento è di 5 dB per frequenze di risonanza di circa 20 Hz, ma può arrivare anche a 20 dB nel caso del pavimento del piano terra con frequenza di risonanza di circa 40 Hz.

La differenza tra il livello di vibrazione del terreno e quello delle strutture di fondazione è detta attenuazione per perdita di accoppiamento (coupling loss). Sono disponibili valori sperimentali medi della perdita di accoppiamento in funzione della frequenza per fondazioni su pali nel terreno o su plinti di edifici in muratura, con o senza intelaiatura. Per fondazioni a platea generale, dato che la vibrazione della stessa può essere considerata simile a quella che si verificherebbe nel terreno senza la presenza della platea, la perdita di accoppiamento è zero alle basse frequenze fino alla frequenza di risonanza della platea.

Le tipologie edilizie prevalenti in adiacenza al tracciato sono rappresentate da edifici storici in muratura, con fondazioni direttamente immorsate nel terreno, e edifici di recente edificazione con ossatura in cemento armato e fondazioni continue.

Per quanto riguarda la propagazione delle vibrazioni nel corpo della struttura i problemi maggiori riguardano i solai: la vibrazione può essere amplificata in corrispondenza della frequenza fondamentale degli orizzontamenti, che dipende dalla luce del solaio e dalla sua tipologia costruttiva. L'amplificazione dei solai spazia in un ambito che va da 5 dB per frequenze proprie di circa 20 Hz a valori limite di 20 dB per frequenze proprie di circa 40 Hz.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM.00.0.6.002	REV. PAGINA A 17 di 21
		IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				

Le frequenze proprie degli orizzontamenti più diffusi si situano tra 10 Hz e 20 Hz. La frequenza propria di un solaio si può esprimere come:

$$f_{propria} = (k/m)^{1/2}$$

dove "k" viene assunto approssimativamente come la rigidezza per carichi concentrati in mezzera ed "m" come la massa della striscia di solaio considerata (il calcolo preciso proviene dalla risoluzione di un integrale di Duhamel).

Nella tratta in esame, l'edificazione appare omogenea e precisamente caratterizzata da abitazioni isolate o palazzine con struttura in c.a. e altezza massima di 3 piani.

A supporto di quanto sopra esposto la legge di trasferimento, riferita ai valori globali della vibrazione trasmessa, è stata desunta da rilievi sperimentali. L'effetto combinato è quindi pari a:

$$\Delta L = 4,76 - 0,25 N_p \text{ [dB]}$$

dove N_p è il numero di piani abitati.

4.3.4 Rumore trasmesso per via solida dalle strutture

Il rumore solido all'interno degli edifici è il risultato delle onde acustiche irradiate dalle superfici della stanza, includendo le pareti, i pavimenti, i soffitti e tutti gli altri elementi normalmente presenti quali finestre, porte, ecc. La relazione tra le ampiezze di vibrazione delle superfici della stanza ed i livelli di pressione sonora all'interno della stanza stessa è funzione del valore medio del coefficiente di assorbimento acustico che caratterizza le superfici, dalla dimensione e forma della stanza e della distribuzione del campo di vibrazione sulle superfici vibranti.

Studi basati su considerazioni teoriche e soprattutto su rilievi in sito hanno consentito di formulare la seguente relazione che lega i livelli di pressione sonora con i livelli di vibrazione in accelerazione rilevabili in corrispondenza dell'orizzontamento della stanza:

$$L_p = L_a - 20 \cdot \log(f) + 16$$

dove:

L_p = livello di pressione sonora in dB (0 dB = 20 μ Pa)

L_a = livello di vibrazione di accelerazione all'orizzontamento in dB (0 dB = 1 μ g)

F = frequenza per bande a terzi di ottava in Hz

L'applicazione del modello di propagazione del rumore solido per i ricettori analizzati nel presente studio non evidenzia situazioni di criticità preventivabili. Lo stato degli infissi di

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A. ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI TRATTA NAPOLI-CANCELLO IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> SYSTRA S.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione	IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	18 di 21

ciascun edificio, classificato “cattivo” in fase di censimento ricettori, potrebbe rendere possibile l’insorgere di condizioni di attenzione per gli stessi ricettori potenzialmente interessati da livelli di vibrazioni disturbanti, qualora i vetri entrino in risonanza, vibrino ed emettano all’interno del locale un rumore avente le medesime frequenze.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO				
<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.		IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
Studio vibrazionale – Relazione	IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	19 di 21

5 INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITA' E PREVISIONE DELL'IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO

L'individuazione delle criticità che si potranno verificare con la realizzazione del progetto ha reso indispensabile determinare preventivamente i criteri di valutazione della sensibilità del territorio: a tale scopo è stato utilizzato come riferimento il censimento dei ricettori acustici.

Per quanto riguarda l'individuazione di criticità, in via cautelativa, si è fatto riferimento ai limiti indicati dalla norma UNI 9614 per le vibrazioni di livello costante (per abitazioni 77 dB per il giorno / 74 dB per la notte relativamente agli assi x-y; 80 dB per il giorno / 77 dB per la notte relativamente all'asse z).

Applicando i modelli di calcoli precedentemente descritti e le funzioni di trasferimento sperimentali, si rileva che i valori di riferimento di cui alla norma UNI 9614 sono generalmente rispettati per quasi tutti i ricettori posti in prossimità del nuovo tracciato ferroviario. Considerando tipologie edilizie sia in c.a. sia in muratura (con luci di solaio di 4 m) e attraversamenti litologici tipici dell'area in esame, si è giunti al calcolo della distanza dalla sorgente a cui il livello di accelerazione ponderata risulta inferiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa UNI 9614 per i residenti nel periodo notturno lungo tutti gli assi. In assenza però di dati precisi per ciascun edificio analizzato (terreno, fondazioni, strutture) le valutazioni previsionali possono risentire di variazioni anche apprezzabili. Si fa presente che lungo la tratta in esame non è stata evidenziata la presenza di ricettori classificabili come Aree Critiche.

La distanza "critica" entro la quale i livelli di accelerazione ponderata lungo le tre direzioni potrebbero presentare valori superiori a quelli di riferimento citati nella norma UNI9614 risulta pari a 20m circa; per l'identificazione di aree potenzialmente critiche per il disturbo da vibrazioni si è verificato se siano presenti ricettori (residenziali) entro una fascia di 25-30m dall'asse del binario di progetto più esterno.

Tale assunzione risulta molto cautelativa, in quanto deriva da condizioni al contorno più severe di quelle che si verificheranno con la realizzazione dell'opera ferroviaria, in quanto:

- in presenza di rilevato, il corpo ferroviario stesso funge da "filtro" per le vibrazioni, soprattutto quelle trasversali e longitudinali (assi X e Y); si ricorda che i rilievi sono stati eseguiti lungo una sezione a raso;
- in presenza di viadotti, l'opera d'arte determina una riduzione decisamente maggiore rispetto alla sezione in rilevato, in quanto il fenomeno vibratorio incontra ulteriori discontinuità del mezzo (fondazioni pile/terreno) e la sorgente diventa puntiforme in corrispondenza di ogni pila (invece che lineare come nel caso del rilevato), con una divergenza geometrica funzione del quadrato della distanza (invece che lineare con la distanza)

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI				
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO				
<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A. ROCKSOIL S.p.A.		IN VARIANTE TRA LE PK 0+000 E PK 15+585, INCLUSE LE OPERE ACCESSORIE, NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTI DI CUI AL D.L. 133/2014, CONVERTITO IN LEGGE 164 / 2014				
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO IF1M	LOTTO 0.0.E.ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO IM.00.0.6.002	REV. PAGINA A 20 di 21

- la nuova linea ferroviaria sarà costituita da un armamento nuovo e pertanto più levigato rispetto a quello della linea ferroviaria esistente sulla quale sono stati eseguiti i rilievi

Tenendo conto della livelletta ferroviaria e delle caratteristiche dei fabbricati (escludendo ovviamente gli edifici oggetto di demolizione) nella tabella seguente sono riportati i ricettori oggetto di potenziale disturbo. La codifica dei ricettori fa riferimento alle tavole del censimento ricettori dello Studio acustico alle quali si rimanda (elaborati da IF1M.0.0.E.ZZ.P7.IM.00.0.6.001-A a IF1M.0.0.E.ZZ.P7.IM.00.0.6.020-A)

Ricettore potenzialmente impattato	destinazione d'uso	tipo di corpo ferroviario	distanza dall'asse (m)
4139	commerciale/servizi	galleria	14
1008	industriale/artigianale	rilevato	23
1013	commerciale/servizi	viadotto	25
1017	commerciale/servizi	viadotto	20
1023	residenziale	rilevato	23
1024	residenziale	rilevato	30
2032	residenziale	viadotto	11
2033	residenziale	viadotto	33
1026	residenziale	viadotto	12
2001	commerciale/servizi	rilevato	26

Come si evince dalla tabella precedente 5 ricettori hanno una destinazione d'uso commerciale/industriale e pertanto caratterizzati da valori limite maggiori rispetto ai ricettori residenziali. Per i restanti ricettori residenziali 3 risultano in prossimità di viadotti e 2 in prossimità di rilevati ad una distanza maggiore di 20 m dal binario più esterno.

In sintesi, alla luce di quanto sopra riportato, appare dunque lecito escludere in questa fase un disturbo indotto da vibrazioni presso tali ricettori.

In ogni caso, una volta che la linea ferroviaria sarà in esercizio, sarà possibile verificare i livelli di accelerazione all'interno delle abitazioni presenti tra i ricettori sopra indicati, e determinare la necessità o meno di interventi di mitigazione.

APPALTATORE: <u>Mandatario:</u> SALINI IMPREGILO S.p.A.	<u>Mandante:</u> ASTALDI S.p.A.	LINEA FERROVIARIA NAPOLI - BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> SYSTRA S.A.		<u>Mandante:</u> SYSTRA-SOTECNI S.p.A.		ROCKSOIL S.p.A.		TRATTA NAPOLI-CANCELLO	
PROGETTO ESECUTIVO Studio vibrazionale – Relazione		PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINA
		IF1M	0.0.E.ZZ	RG	IM.00.0.6.002	A	21 di 21

6 EVENTUALI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO VIBRATORIO

Poiché la verifica dell'eventuale disturbo da vibrazioni potrà essere eseguita solo successivamente alla messa in esercizio della nuova linea ferroviaria, è necessario prevedere una tipologia di intervento che sia realizzabile senza interferenza con il traffico ferroviario.

Recenti studi hanno proposto, quale eventuale opera di mitigazione delle vibrazioni indotte dai transiti ferroviari, la realizzazione di setti paralleli alla linea ferroviaria ed in adiacenza ad essa, di profondità ed estensioni tali da intercettare la propagazione del fenomeno vibratorio nel terreno. Tali dimensioni possono essere definite compiutamente solo in funzione dell'entità dei livelli di accelerazione in gioco e dello spettro di frequenze ad essi associate, e pertanto solo a valle dei rilievi sperimentali in corrispondenza dei ricettori eventualmente impattati.

In linea del tutto generale, si possono ipotizzare setti di profondità pari almeno alla lunghezza d'onda della frequenza con contenuto energetico maggiore (ovviamente tenendo conto della ponderazione dei livelli di accelerazione prevista dalla norma UNI 9614), e con lunghezza tale da fornire una schermatura a 45° del fabbricato da proteggere.

Si precisa che, così come già previsto nel Progetto Definitivo, la realizzazione degli eventuali interventi di mitigazione che dovessero scaturire da eventuali rilievi successivi all'entrata in esercizio dell'opera non saranno a carico dell'Appaltatore: gli interventi saranno gestiti e realizzati direttamente da RFI a valle della realizzazione e dell'entrata in esercizio dell'opera ferroviaria in questione.