

# ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

## PA 12/09

### CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

### S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

### AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

## MONITORAGGIO AMBIENTALE IN CORSO D'OPERA

CONTRAENTE GENERALE

DIREZIONE LAVORI



— ITALCONSULT —

## MONITORAGGIO IN CORSO D' OPERA COMPONENTE VIBRAZIONI

### Report semestrale periodo Novembre 2015-Aprile 2016

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

6063-139

Codice Elaborato:

PA12\_09 - C 0 0 0 G E 2 2 7 M O 1 7 O R H 0 1 4 A Scala: ----

F						
E						
D						
C						
B						
A	Maggio 2016	EMISSIONE	C. FERONE	C. FERONE	A. ANTONELLI	P. PAGLINI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO

Il Progettista:

Il Consulente Specialista:

Il Geologo:

Il Coordinatore per la sicurezza  
in fase di esecuzione:

Il Direttore dei Lavori:



Responsabile del procedimento: Ing. ETTORE DE CESBRON DE LA GRENNELAIS

## Sommario

1. VIBRAZIONI .....	2
<b>1.1 Premessa</b> .....	2
<b>1.2 Normativa di riferimento</b> .....	3
<b>1.3 Strumentazione</b> .....	10
<b>1.4 Valutazione del disturbo</b> .....	11
<b>1.5 Modalità di monitoraggio e parametri rilevati</b> .....	12
<b>1.6 Punti di monitoraggio</b> .....	13
<b>1.7 Sintesi delle attività di monitoraggio Corso d’Opera – luglio 2014-aprile 2016</b> .....	14
<b>1.8 Risultati delle misurazioni</b> .....	15
<b>1.9 Conclusioni</b> .....	18

## 1. VIBRAZIONI

### 1.1 Premessa

La presente relazione riferisce in merito alle attività svolte per il monitoraggio delle Vibrazioni eseguito in corso d'opera (CO) relativamente al periodo luglio 2014-aprile 2016.

Il progetto prevede l'adeguamento a quattro corsie della S.S. 640 "di Porto Empedocle" lungo l'itinerario Agrigento - Caltanissetta - A19 del tratto ricadente nella Provincia di Caltanissetta, dal km 44+000 allo svincolo con l'A19.

La nuova infrastruttura ricade nel territorio provinciale di Caltanissetta, con un tracciato, dello sviluppo complessivo di circa 28 km, che in buona parte riutilizza il sedime esistente; l'intervento prevede essenzialmente il raddoppio e l'ammodernamento dell'attuale strada statale 640 "di Porto Empedocle" che al termine dei lavori sarà percorribile su quattro corsie, due per senso di marcia, con spartitraffico centrale (sezione tipo B del D.M. 5 novembre 2001).

Le attività di monitoraggio sono state eseguite secondo il programma e le specifiche tecniche previste nel PMA per tale componente.

Uno dei motivi principali per cui è stato necessario prevedere il monitoraggio della componente vibrazioni, è che quest'ultime possono provocare danni alle costruzioni ed ai manufatti in generale, sia per la loro propagazione alle strutture, attraverso i terreni, sia per gli assestamenti del terreno e quindi per eventuali suoi cedimenti.


Quest'ultimo effetto è spesso il più pericoloso quando si è in presenza di terreni a bassa densità e particolarmente nel caso delle terre sciolte incoerenti quali sabbie e ghiaie. La presenza dell'acqua aggrava il fenomeno.

Poiché gli assestamenti diminuiscono allontanandosi dalla sorgente delle vibrazioni, i cedimenti prodotti lungo una costruzione non sono uniformi e portano col tempo a inclinazioni e danni alle sovrastrutture.

A tal proposito, le misure eseguite hanno avuto il duplice scopo di monitorare il disturbo indotto sulla popolazione e di verificare che i ricettori interessati dalla realizzazione dell'infrastruttura siano soggetti ad una sismicità in linea con le previsioni progettuali e con gli standard di riferimento.

La normativa di settore sulle vibrazioni è ancora mancante, ma esiste una normativa tecnica di supporto per il disturbo alle persone (ISO 2361/UNI 9614) e per gli eventuali danni alle strutture (UNI 9916).

Nel caso di un'infrastruttura viaria, tra i sistemi in grado di attenuare il disturbo provocato dalle vibrazioni, assume un ruolo rilevante il controllo della regolarità della pavimentazione. Negli

 <p>Natura S.r.l. Via G. Rossini n.16 80026 Casoria (NA)</p>	<p>Relazione monitoraggio Vibrazioni periodo nov_15\apr_16</p>	<p>Pagina 2 di 18</p>
---	--	-----------------------

edifici prossimi a strade ed autostrade con flussi di traffico pesante, significativi possono, infatti, registrarsi i livelli di accelerazione prossimi ai limiti UNI 9614, soprattutto in presenza di pavimentazioni in cattivo stato di manutenzione, giunti, condotte interrato passanti al di sotto della carreggiata.

Nel caso di sorgenti fisse (come ad esempio le attrezzature o gli impianti fissi di cantiere) il problema consiste nella corretta progettazione e realizzazione del supporto della macchina o impianto che genera le vibrazioni. Tale aspetto è generalmente curato direttamente dal costruttore della macchina o dell'impianto.

## 1.2 Normativa di riferimento

Il problema delle vibrazioni negli ambienti di vita, attualmente, non è disciplinato da alcuna normativa nazionale. Pertanto, qualora si intenda procedere ad una valutazione strumentale di tale fenomeno fisico è bene affidarsi alle corrispettive norme tecniche.


Più precisamente la valutazione delle vibrazioni può essere condotta utilizzando gli standard appositamente elaborati sia in sede internazionale (ISO) sia in sede nazionale (UNI):

### Normativa Comunitaria

- NORMA INTERNAZIONALE ISO 2631/1 (edizione 1997) Stima dell'esposizione degli individui a vibrazioni globali del corpo - Parte 1: Specifiche generali
- NORMA INTERNAZIONALE 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).
- NORMA INTERNAZIONALE ISO 4866 (edizione 1990) Vibrazioni meccaniche ed impulsi - Vibrazioni degli edifici - Guida per la misura delle vibrazioni e valutazione dei loro effetti sugli edifici.
- DIN 4150-3 1999 Le vibrazioni nelle costruzioni Parte 3: Effetti sui manufatti

### Normativa Nazionale

- NORMA UNI 11048 (2003) Vibrazioni meccaniche ed urti - metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo
- NORMA UNI 9916 (1991) Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.
- NORMA UNI 9670 (prima edizione 1990) Risposta degli individui alle vibrazioni - Apparecchiatura di misura.

 <p>Natura S.r.l. Via G. Rossini n.16 80026 Casoria (NA)</p>	<p>Relazione monitoraggio Vibrazioni periodo nov_15\apr_16</p>	<p>Pagina 3 di 18</p>
---	--	-----------------------

- NORMA UNI 9614 (1990) Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.
- NORMA UNI 9513 (1989) Vibrazioni e Urti. Vocabolario

Le norme UNI 9614, UNI 9916 e DIN 4150-3 risultano di particolare interesse per il presente lavoro in quanto, oltre ad indicare le grandezze monitorate, riportano i valori limite mediante i quali è stato possibile valutare i valori rilevati.

Con riferimento alle norme sopra riportate si riportano, per completezza, le principali nozioni che sono state impiegate nello studio della componente "Vibrazioni".

La norma **UNI 9614** definisce il metodo di misura delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi. Inoltre, la norma prevede criteri di valutazione differenziati a seconda della tipologia della vibrazioni (di livello costante, di livello non costante e impulsive).

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.

La UNI 9614 indica come grandezza preferenziale per la misura delle vibrazioni ai ricettori il valore r.m.s. (root-mean-square) dell'accelerazione ponderata in frequenza definito come:

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w(t)^2 dt}$$

dove  $a_w(t)$  è il valore "istantaneo" dell'accelerazione subita dal un punto materiale (pesata in frequenza mediante i filtri di ponderazione) durante il moto vibratorio e T è il tempo di integrazione.


Il livello di accelerazione viene espresso in dB come:

$$L_w = 20 \times \text{Log} \frac{a_w}{a_0}$$

dove  $L_w$  è il livello espresso in dB,  $a_w$  è l'accelerazione espressa in  $m/s^2$  e  $a_0 = 10^{-6} m/s^2$  è il valore dell'accelerazione di riferimento.

Le vibrazioni sono rilevate lungo i tre assi di propagazione. Tali assi sono riferiti alla persona del soggetto esposto: l'asse x passa per la schiena ed il petto, l'asse y per le due spalle, l'asse z per la testa e i piedi (per la testa e i glutei se il soggetto è seduto).

Come prescritto dalla norma UNI 9614 le accelerazioni da valutare sono quelle comprese nel range di frequenza tra 1 e 80 Hz e il dato da considerare è il valore quadratico medio delle accelerazioni presenti durante l'intervallo di tempo esaminato.

 <p>Natura S.r.l. Via G. Rossini n.16 80026 Casoria (NA)</p>	<p>Relazione monitoraggio Vibrazioni periodo nov_15\apr_16</p>	<p>Pagina 4 di 18</p>
---	--	-----------------------

Considerando, inoltre, che la percezione da parte dei soggetti esposti varia a seconda della frequenza e dell'asse di propagazione, i valori rilevati sono ponderati in frequenza al fine di attenuare le componenti esterne agli intervalli di sensibilità, ottenendo così il livello equivalente ponderato dell'accelerazione  $L_{w,eq}$ .

La norma individua una soglia di percezione delle vibrazioni (che varia a seconda della frequenza considerata e dell'asse di riferimento) ed una soglia di percezione cumulativa da confrontarsi con i valori di accelerazione ponderata in frequenza secondo opportuni filtri di pesatura.

Tale soglia, come dimostrano le tabelle che seguono, si pone a  $5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$  (74 dB) per l'asse z e a  $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$  (71 dB) per gli assi x e y.

VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER L'ASSE z		
Destinazione d'uso	Accelerazione	
	$\text{m/s}^2$	dB
Aree critiche	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74
Abitazioni notte	$7,0 \cdot 10^{-3}$	77
Abitazioni giorno	$10,0 \cdot 10^{-3}$	80
Uffici	$20,0 \cdot 10^{-3}$	86
Fabbriche	$40,0 \cdot 10^{-3}$	92

Tabella 1 - Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per l'asse Z

VALORI E LIVELLI LIMITE DELLE ACCELERAZIONI COMPLESSIVE PONDERATE IN FREQUENZA VALIDI PER GLI ASSI x E y		
Destinazione d'uso	Accelerazione	
	$\text{m/s}^2$	dB
Aree critiche	$3,6 \cdot 10^{-3}$	71
Abitazioni notte	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74
Abitazioni giorno	$7,0 \cdot 10^{-3}$	77
Uffici	$14,4 \cdot 10^{-3}$	83
Fabbriche	$28,8 \cdot 10^{-3}$	89

Tabella 2 - Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per gli assi X e Y

Nel caso di vibrazioni di livello non costante il parametro da rilevare, in un intervallo di tempo rappresentativo, è l'accelerazione equivalente  $a_{w,eq}$  o il livello equivalente dell'accelerazione  $L_{w,eq}$  così definiti:

$$a_{w.eq} = \left[ \left( \frac{1}{T} \right) \int_0^T [a_w(t)]^2 dt \right]^{0.5}$$
$$L_{w.eq} = 10 \log \left[ \left( \frac{1}{T} \right) \int_0^T [a_w(t) / a_0]^2 dt \right]$$

dove  $a_w(t)$  è il valore "istantaneo" dell'accelerazione ponderata in frequenza, T è la durata del rilievo e  $a_0$  è il valore dell'accelerazione di riferimento, pari a  $10^{-6} \text{ m/s}^2$ .

Per la valutazione del disturbo, i valori dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza o i corrispondenti livelli possono essere confrontati con i limiti riportati nelle due tabelle precedenti. Fenomeni vibratori caratterizzati dal superamento di predetti limiti, possono essere considerati oggettivamente disturbanti per l'individuo esposto.


La norma **UNI 9916** non fornisce limiti ben definiti ma fornisce una guida relativa ai metodi di misura, di trattamento dei dati, di valutazione dei fenomeni vibratori allo scopo di permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

La norma considera per semplicità gamme di frequenza variabili da 0.1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.) nonché ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio ma, tuttavia, le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio.

La norma UNI 9916 conduce alla classificazione delle strutture in 14 categorie. 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.

La classificazione degli edifici è basata sulla loro resistenza strutturale alle vibrazioni oltre che sulla tolleranza degli effetti vibratori sugli edifici in ragione del loro valore architettonico, archeologico e storico.

 <p>Natura S.r.l. Via G. Rossini n.16 80026 Casoria (NA)</p>	<p>Relazione monitoraggio Vibrazioni periodo nov_15\apr_16</p>	<p>Pagina 6 di 18</p>
---	--	-----------------------

I fattori dai quali dipende la reazione di una struttura agli effetti delle vibrazioni sono:

- la categoria della struttura;
- le fondazioni;
- la natura del terreno.

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:

- GRUPPO 1: edifici vecchi e antichi o strutture costruite con criteri tradizionali;
- GRUPPO 2: edifici e strutture moderne.

L'associazione della categoria viene fatta risalire alle caratteristiche tipologiche e costruttive della costruzione e al numero di piani.

Le fondazioni sono classificate in tre classi.


- Classe A comprende fondazioni su pali legati in calcestruzzo armato e acciaio, platee rigide in calcestruzzo armato, pali di legno legati tra loro e muri di sostegno a gravità.
- Classe B comprende pali non legati in calcestruzzo armato, fondazioni continue, pali e platee in legno.
- Classe C infine comprende i muri di sostegno leggeri, le fondazioni massicce in pietra e la condizione di assenza di fondazioni, con 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.

L'Appendice D della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli delle vibrazioni con riferimento alla DIN 4150.

La parte 3 della DIN 4150 indica i punti in cui eseguire i rilievi all'interno di una abitazione e indica le velocità massime ammissibili per vibrazioni transitorie e continue.

	Natura S.r.l. Via G. Rossini n.16 80026 Casoria (NA)	Relazione monitoraggio Vibrazioni periodo nov_15\apr_16	Pagina 7 di 18
---	--	--	----------------



Per vibrazioni transitorie la DIN 4150 indica tre posizioni in cui eseguire i rilievi:

- in corrispondenza delle fondazioni;
- sul solaio più elevato in corrispondenza del muro perimetrale;
- al centro dei solai.

Nella tabella che segue applicabile per vibrazioni transitorie sono riportati, per diverse tipologie di costruzioni, i valori di riferimento per vi sulle fondazioni ed a livello del solaio superiore.

Riga	Tipi di edificio	Valori di riferimento per velocità di oscillazione in mm/s			
		Fondazioni frequenze			Ultimo solaio, orizzontale
		da 1 a 10 Hz	da 10 a 50 Hz	da 50 a 100 Hz *	Tutte le frequenze
1	Costruzioni per attività commerciale, costruzioni industriali e costruzioni con strutture similari	20	da 20 a 40	da 40 a 50	40
2	Edifici abitativi o edifici simili per costruzione o utilizzo	5	da 5 a 15	da 15 a 20	15
3	Edifici che per la loro particolare sensibilità alle vibrazioni non rientrano nelle precedenti classificazioni e che sono da tutelare in modo particolare (monumenti sotto la protezione delle belle arti)	3	da 3 a 8	Da 8 a 10	8

(\*) Per frequenze superiori ai 100 Hz possono essere adottati come minimo i valori per 100 Hz

**Tabella 3 - Valori di riferimento per velocità di oscillazione in relazione al tipo di edificio**

La figura riportata nella pagina che segue riassume quanto esposto per le vibrazioni transitorie. Nella lettura di tale figura si deve rammentare che:

- Nel caso di misure in staz. 1 (fondazione) si prende a riferimento il valore maggiore delle tre componenti;

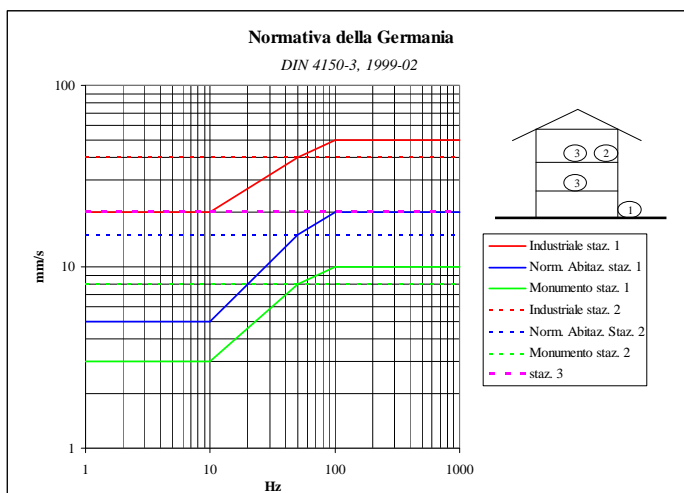


Figura 1 – Schema di misura secondo la normative DIN 4150-3

- Nel caso di misure in staz. 2 (ultimo solaio orizzontale del fabbricato) si prende in considerazione il valore maggiore tra le due componenti orizzontali;
- Nel caso di misure in staz. 3 (mezzera solaio) si prende in considerazione la vibrazione in direzione verticale.

Nel caso di vibrazioni prolungate la norma DIN 4150 richiede l'esecuzione di misure all'ultimo solaio dell'edificio e in mezzera dei solai. Nella tabella che segue sono riportati i valori di riferimento per ciascuna componente orizzontale misurate all'ultimo solaio dell'edificio

Riga	Tipo di edificio	Valori di riferimento per velocità di oscillazione in mm/s
		Ultimo solaio, orizzontale, tutte le frequenze
1	Costruzioni per attività commerciale, costruzioni industriali e costruzioni con strutture similari	10
2	Edifici abitativi o edifici simili per costruzione o utilizzo	5
3	Edifici che per la loro particolare sensibilità alle vibrazioni non rientrano nelle precedenti classificazioni e che sono da tutelare in modo particolare (monumenti sotto la protezione delle belle arti)	2,5

Tabella 4 - Valori di riferimento per velocità di oscillazione in relazione al tipo di edificio secondo la DIN 4150-3

Per velocità massima è da intendersi la velocità massima di picco. Essa è ricavabile dalla velocità massima r.m.s. attraverso la moltiplicazione di quest'ultima con il fattore di cresta F. Tale parametro esprime il rapporto tra il valore di picco e il valore efficace. Per onde sinusoidali si assume  $F = 1.41$ ; in altri casi si possono assumere valori maggiori. Nei casi più critici (ed es. esplosioni di mina) F può raggiungere il valore 6.

Infine la ISO 4866 fornisce una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo tre livelli:

- Danno di soglia: formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici in gesso o sulle superfici di muri a secco; inoltre formazioni di fessure filiformi nei giunti di malta delle costruzioni in muratura di mattoni.
- Danno minore: formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o di pezzi di intonaco dai muri; formazione di fessure in murature di mattoni.
- Danno maggiore: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nei pilastri; aperture di giunti; serie di fessure nei blocchi di muratura.

### 1.3 Strumentazione

I rilievi sono stati eseguiti per mezzo di un analizzatore di frequenza in tempo reale Soundbook, capace di acquisire contemporaneamente il segnale da 4 canali.

A tale analizzatore sono stati collegati 3 accelerometri sismici a tecnologia piezoelettrica PCB 393A03 s.n. 4112, 4111, 4110 e 4108. Tali accelerometri utilizzano la tecnologia ICP ed hanno le seguenti caratteristiche.

In aggiunta ai suddetti accelerometri è stato utilizzato anche un velocimetro triassiale marca Sinus mod. 902219.7.

PERFORMANCE	VALORE
Sensitivity( $\pm 5\%$ )	1000 mV/g
Measurement Range	$\pm 5$ g pk
Frequency Range( $\pm 5\%$ )	0.5 to 2000 Hz
Frequency Range( $\pm 10\%$ )	0.3 to 4000 Hz
Frequency Range( $\pm 3$ dB)	0.2 to 6000 Hz
Resonant Frequency	$\geq 10$ kHz
Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz)	0.00001 g rms
Non-Linearity	$\leq 1\%$
Transverse Sensitivity	$\leq 7\%$
Excitation Voltage	18 to 30 VDC

PERFORMANCE	VALORE
Constant Current Excitation	2 to 20 mA
Output Impedance	<250 ohm
Output Bias Voltage	8 to 12 VDC
Discharge Time Constant	1 to 3 sec
Settling Time	<15 sec
Spectral Noise(1 Hz)	2 µg/√Hz
Spectral Noise(10 Hz)	0.5 µg/√Hz
Spectral Noise(100 Hz)	0.2 µg/√Hz
Spectral Noise(1 kHz)	0.1 µg/√Hz
Electrical Isolation(Case)	≥ 108 ohm

Tabella 5 – Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata

Grazie alla tecnologia ICP, gli accelerometri contengono un circuito integrato di condizionamento del segnale: l'elettronica converte l'alta impedenza di carica generata dal sensore in una bassa impedenza prontamente trasmissibile su un cavo coassiale verso lo strumento di analisi del segnale. La bassa impedenza si può trasmettere anche su cavi molto lunghi o in ambienti difficili con poca degradazione del segnale.

I 3 accelerometri sono stati collegati all'analizzatore mediante cavi BNC e poi avvitati rigidamente ad una massa cubica in acciaio del peso di 10 kg, posizionato sul pavimento per mezzo di tre piedini gommati che ne assicurano l'aderenza e la messa in bolla, in modo da rappresentare la terna di riferimento spaziale X, Y, Z.

#### 1.4 Valutazione del disturbo

Per la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante, i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza o i corrispondenti valori riscontrati sui tre assi, sono stati confrontati con i limiti della UNI 9614 di seguito riportati, distinti in funzione della destinazione d'uso dell'edificio ove sono state rilevate.

	a (mm/s <sup>2</sup> )	L (dB)
Aree critiche	5,0 10 <sup>-6</sup>	74
Abitazioni (notte)	7,0 10 <sup>-6</sup>	77
Abitazioni (giorno)	10,0 10 <sup>-6</sup>	80
Uffici	20,0 10 <sup>-6</sup>	86
Fabbriche	40,0 10 <sup>-6</sup>	92

Tabella 6 – Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per l'asse Z

	a (mm/s <sup>2</sup> )	L (dB)
Aree critiche	3,6 10 <sup>-6</sup>	71
Abitazioni (notte)	5,0 10 <sup>-6</sup>	74
Abitazioni (giorno)	7,2 10 <sup>-6</sup>	77
Uffici	14,4 10 <sup>-6</sup>	83
Fabbriche	28,8 10 <sup>-6</sup>	89

Tabella 7 – Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per gli assi X e Y

### 1.5 Modalità di monitoraggio e parametri rilevati

Il monitoraggio ambientale della componente Vibrazioni è consistita in una campagna di misure atte a rilevare la presenza di moti vibratorii all'interno di edifici e a verificarne gli effetti sulla popolazione e sugli edifici stessi, in assenza di disturbi provenienti dalle lavorazioni.

In particolare, per quanto concerne gli effetti sulla popolazione, le verifiche hanno riguardato esclusivamente gli effetti di "annoyance", ovvero gli effetti di fastidio indotti dalle vibrazioni percettibili dagli esseri umani. Le norme di riferimento per questo tipo di disturbo 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.

Il monitoraggio in corso d'opera è stato effettuato in corrispondenza dei ricettori nei giorni feriali con due misure da 30 minuti effettuate una nel periodo diurno (07.00 – 22.00) e una nel periodo notturno (22.00 – 07.00), come prescritto dal Piano di Monitoraggio Ambientale.

Per quanto riguarda i descrittori vibrazionali, la grandezza primaria oggetto dei rilevamenti è il valore r.m.s. dell'accelerazione, misurato ad ogni istante  $t_0$  come

$$a_{t_0} = \left[ \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} a_t^2(t) dt \right]^{0.5},$$

per ogni banda di frequenza su intervalli di integrazione T=1 secondo.

I rilievi sono stati eseguiti contemporaneamente su 3 assi ortogonali X, Y, Z, dove l'asse Z è sempre rivolto verso l'alto mentre gli assi X e Y sono generalmente orientati come le strutture dell'edificio in cui si esegue la misura: ponendo quindi i sensori al centro di una stanza rettangolare, gli assi X e Y sono allineati in direzione ortogonale alle pareti, mentre l'asse Z è allineato in direzione perpendicolare al pavimento.

A partire dai valori di accelerazione in frequenza, sono stati riportati, nelle schede di misura:

- la time history delle accelerazioni, senza coefficienti di pesatura, in modo da confrontare i diversi andamenti del fenomeno vibrazionale sui 3 assi X,Y,Z
- la time history dell'accelerazione sull'asse Z (basamento e ultimo piano) ponderata in frequenza con il coefficiente di pesatura previsto dalla norma UNI 9614 (che recepisce i valori Wm della ISO 2631-2), sia nel periodo di riferimento diurno, che nel periodo di riferimento notturno.

## 1.6 Punti di monitoraggio


I punti di monitoraggio sono stati scelti adoperando il censimento adottato per lo studio della componente rumore, in quanto in esso sono inclusi ricettori entro una fascia di 250 metri per lato a partire dal bordo strada.

Considerando le tipologie di progetto, il posizionamento e la tipologia dei cantieri, la litologia presente e, soprattutto, la tipologia dei ricettori, sono state individuate tre situazioni di potenziale criticità nella fase ante operam dello studio di impatto ambientale.

La prima situazione interessa l'intorno dello svincolo di Caltanissetta sud, nella contrada Cialagra (km 12+600 circa). In quest'area sono presenti numerosi ricettori residenziali; la formazione geologica presente è costituita da sabbie e sabbie argillose da considerarsi terreni prevalentemente incoerenti ed eventualmente suscettibili di costipazione per vibrazione.

Il secondo caso è costituito dalla realizzazione della galleria S.Elia prevista sotto il centro abitato di Caltanissetta. La galleria sarà scavata quasi interamente all'interno della Formazione dei Trubi, costituita da calcari marnosi e marne calcaree. Al di sopra poggia la Formazione Marnoso-Arenacea costituita da calcareniti, sabbie, sabbie argillose, argille ed argille marnose. Con i litotipi presenti si può ipotizzare un'attenuazione delle vibrazioni indotte dallo scavo della galleria al piano campagna. Risulta anche influente, ad attenuare le vibrazioni, la profondità dello scavo stesso che si aggira intorno ai 120m circa.

L'ultima situazione potenzialmente critica, è rappresentata dalla realizzazione della galleria naturale in corrispondenza della chilometrica km 17+500 circa. Tale galleria attraversa una cresta argillosa costituita da argille grigio-azzurro tortoniane e marne argillose con cristalli di gesso e livelli conglomeratici. La presenza di ricettori a destinazione residenziale sulla cresta e l'esigua profondità dello scavo, circa 20 m, fanno presupporre la possibilità di innesco di vibrazioni.

 <p>Natura S.r.l. Via G. Rossini n.16 80026 Casoria (NA)</p>	<p>Relazione monitoraggio Vibrazioni periodo nov_15\apr_16</p>	<p>Pagina 13 di 18</p>
---	--	------------------------

Fra tutti i ricettori che rientrano nelle situazioni sopra riportate sono stati scelti quelli più rappresentativi. Queste postazioni saranno poi oggetto di misure anche nelle fasi successive di corso d'opera e post operam, in modo tale da poter monitorare le eventuali alterazioni indotte dalla cantierizzazione e dal successivo esercizio dell'infrastruttura.

Si riporta di seguito l'identificazione dei punti di misura, con l'indicazione delle coordinate e la progressiva di riferimento rispetto al tracciato di progetto.


Codice punto	Coordinate (X;Y)	Prog.
VIB_001	2423481; 4142001	1+300
VIB_002	2423786; 4142490	1+700
VIB_003	2424869; 4142713	2+850
VIB_004	2428639; 4145327	7+500
VIB_005	2428867; 4145488	7+800
VIB_006	2430906; 4145992	9+850
VIB_007	2431320; 4146648	10+600
VIB_008	2432188; 4147221	11+650
VIB_009	2432543; 4147882	12+350
VIB_010	2432776; 4147793	12+450
VIB_011	2432698; 4148027	12+600
VIB_012	2433009; 4148516	13+200
VIB_013	2435775; 4151759	17+500
VIB_014	2436169; 4152708	18+500
VIB_015	2436607; 4153525	19+400
VIB_016	2436991; 4153559	19+700
VIB_017	2442510; 4154610	25+800
VIB_018	2443101; 4155129	26+500
VIB_019	2443547; 4155062	26+850
VIB_020	2427298; 4143948	4+800
VIB_021	2433412;4149251;	5+200
VIB_022	2435322;4151068	8+700

Tabella 8 – Identificazione dei punti di misura

## 1.7 Sintesi delle attività di monitoraggio Corso d'Opera – luglio 2014-aprile 2016

Le misure di monitoraggio CO, oggetto del presente report, sono state eseguite nel periodo luglio 2014-aprile 2016.

Si precisa che in alcune stazioni di misura non è stato possibile accedere all'interno del recettore a causa dell'assenza del proprietario. In questo caso si è proceduto all'effettuazione della misura all'esterno dell'abitazione in corrispondenza del cancello o del pianerottolo di

 Natura S.r.l. Via G. Rossini n.16 80026 Casoria (NA)	Relazione monitoraggio Vibrazioni periodo nov_15\apr_16	Pagina 14 di 18
---	--	-----------------

ingresso.

Anche per le ore notturne non è stato possibile accedere alle abitazioni a causa del diniego da parte dei proprietari, a tal riguardo si è proceduto a determinare la misura per via analitica, mediante un opportuno algoritmo di calcolo, di seguito riportato:

- Misura in notturno solo al basamento esterno;
- Calcolo della amplificazione fra basamento e primo piano di quel specifico edificio, a partire dalla misura nel periodo diurno;
- Creazione della ponderazione "amplificazione+Wm";
- Calcolo dei valori al primo piano come somma tra l'accelerazione ponderata Wm al basamento e il valore di "amplificazione".

### 1.8 Risultati delle misurazioni

In allegato alla presente relazione sono riportate le schede dei risultati delle misure della componente vibrazione, effettuate nei punti di monitoraggio individuati nel PMA.

Per ogni misura delle vibrazioni effettuata è stata compilata la relativa "scheda di monitoraggio", con l'indicazione di:

- toponimo;
- coordinate di riferimento;
- stralcio planimetrico in scala 1:5000 del territorio.

allo scopo di consentire il riconoscimento ed il riallestimento dei punti di misura nelle diverse fasi temporali in cui si articola il programma di monitoraggio.

Ogni scheda di misura riporta inoltre alcune fotografie per testimoniare l'ubicazione della strumentazione in fase di registrazione del segnale e le relative time history riferite alle misurazioni effettuate. Le sorgenti indicate nelle schede sono quelle attualmente esistenti.

Si riportano di seguito le misurazioni effettuate relativamente alle accelerazioni registrate lungo l'asse principale Z, espresse in  $mm/s^2$ , per i periodi di osservazione diurno e notturno. Sono indicati, inoltre, i limiti stabiliti dalla Norma UNI 9614 per il rilievo del disturbo sulla popolazione, al fine di correlare i risultati con la normativa tecnica adottata sul territorio nazionale.



Punto di misura	N° di piani del recettore	Punto di misura	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3
			Valore di accelerazione lungo l'asse Z Periodo diurno [mm·s <sup>-2</sup> ]	Valore di accelerazione lungo l'asse Z Periodo diurno [mm·s <sup>-2</sup> ]	Valore di accelerazione lungo l'asse Z Periodo diurno [mm·s <sup>-2</sup> ]
VIB 01	1	basamento	0,07		
VIB 02	1	basamento	0,03		
VIB 03	1	basamento	0,03		
VIB 04	1	basamento	0,12		
VIB 05	1	basamento	0,39		
VIB 06	1	basamento	0,34		
VIB 07	1	basamento	0,08		
VIB 08	1	basamento	0,16	0,08	0,14
VIB 09	2	basamento	0,05	0,07	
		primo piano	0,03	-	
VIB 10	1	basamento	0,24	0,21	
VIB 11	1	basamento	0,22	0,42	
VIB 12	2	basamento	1,06		
		primo piano	1,16		
VIB 13	1	basamento	0,10		
VIB 14	1	basamento	0,11		
VIB 15	2	basamento	0,37		
		primo piano	-		
VIB 16	2	basamento	0,06		
		primo piano	-		
VIB 17	1	basamento	0,05		
VIB 18	2	basamento	0,07		
		primo piano	-		
VIB 19	1	basamento	0,15		
VIB 20	1	basamento	0,10		
VIB 21	2	basamento			
		secondo			
VIB 22	1	basamento			
<b>Limiti normativi stabiliti ai sensi della Norma UNI 9614</b>					<b>7,0 10<sup>-6</sup></b>

Tabella 9 – Valore di accelerazione lungo l'asse Z misurato nel periodo *diurno* espresso in  $mm \cdot s^{-2}$

Recettore	N° di piani del recettore	Punto di misura	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3
			Valore di accelerazione lungo l'asse Z <i>Periodo notturno</i> [ $mm \cdot s^{-2}$ ]	Valore di accelerazione lungo l'asse Z <i>Periodo notturno</i> [ $mm \cdot s^{-2}$ ]	Valore di accelerazione lungo l'asse Z <i>Periodo notturno</i> [ $mm \cdot s^{-2}$ ]
VIB 01	1	basamento	0,06		
VIB 02	1	basamento	0,03		
VIB 03	1	basamento	0,02		
VIB 04	1	basamento	0,08		
VIB 05	1	basamento	0,23		
VIB 06	1	basamento	0,16		
VIB 07	1	basamento	0,08	0,08	0,22
VIB 09	2	basamento	0,11	0,09	
		primo piano	0,08	-	
VIB 10	1	basamento	0,11	0,09	
VIB 11	1	basamento	0,30	0,11	
VIB 12	2	basamento	0,03		
		primo piano	0,10		
VIB 13	1	basamento	0,18		
VIB 14	1	basamento	0,05		
VIB 15	2	basamento	0,11		
		primo piano	-		
VIB 16	2	basamento	0,05		
		primo piano	-		
VIB 17	1	basamento	0,05		
VIB 18	2	basamento	0,03		
		primo piano	-		
VIB 19	1	basamento	0,07		
VIB 20	1	basamento	0,04		
VIB 21	2	basamento			
		secondo			
VIB 22	1	basamento			

Recettore	N° di piani del recettore	Punto di misura	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3
			Valore di accelerazione lungo l'asse Z <i>Periodo notturno</i> [mm·s <sup>-2</sup> ]	Valore di accelerazione lungo l'asse Z <i>Periodo notturno</i> [mm·s <sup>-2</sup> ]	Valore di accelerazione lungo l'asse Z <i>Periodo notturno</i> [mm·s <sup>-2</sup> ]
Limiti normativi stabiliti ai sensi della Norma UNI 9614					10,0 10 <sup>-6</sup>

Tabella 10 – Valore di accelerazione lungo l'asse Z misurato nel periodo *notturno* espresso in mm·s<sup>-2</sup>

## 1.9 Conclusioni

Il presente documento riferisce dell'attività di monitoraggio ambientale svolta in fase Ante Operam sui lavori di Ammodernamento e adeguamento alla Cat. B del D.M. 5.11.2001 dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 della S.S. n° 640 "di Porto Empedocle".

Il monitoraggio in CO oggetto el presente report è stato eseguito nel periodo luglio 2014-aprile 2015.

Le misure eseguite, mirate all'acquisizione dei livelli vibratorii attuali, hanno fornito risultati espressi sotto forma di grafici (che si allegano alla presente) relativi ai confronti tra i valori di accelerazione misurati ed i limiti imposti dalle norme, in particolare alla UNI 9614 relativa al disturbo vibrazionale arrecato alla popolazione.

Dai risultati delle misure si evince che le tutte le registrazioni rilevate in fase ante operam nei punti prestabiliti nel PMA risultano essere al di sotto dei limiti vigenti.

Si precisa che sui ricettori VIB\_09, VIB\_15 e VIB\_18 non è stato possibile eseguire la misura al primo piano dell'edificio a causa della indisponibilità dei proprietari.