



## **Allegato n. 3**

**Integrazioni Studio di Impatto Ambientale**

**Procedura di V.I.A.**

***Rilievo Geofisico 3D Permesso di Ricerca "Santa Croce"***

**\*\*\***

**VIBROMETRIE. MISURE, ELABORAZIONE DATO E DEFINIZIONE  
DEL MODELLO**

<b>GEOTEC SPA</b>	<b>VIBROMETRIE, MISURE, ELABORAZIONE DATI, DEFINIZIONE MODELLO</b>	Copertina	Pag. 1/14
		Data: 28/11/2016	
Contrattista GEOTEC S.p.A			

# Vibrometrie. Misure, elaborazione dato e definizione del modello

	DATA DI PRIMA EMISSIONE	REDAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE		
	28/11/2016	Ing. A.Di Lecce				
INDICE DI REVISIONE	DATA DI AGGIORNAMENTO	REDAZIONE	VISTO PER VERIFICA	SEGNALAZIONE TIPO MODIFICA	DATA DECORRENZA MODIFICA	APPROVAZIONE DIREZIONE
1						

**GEOTEC S.p.A.**

<b>GEOTEC SPA</b>	<b>VIBROMETRIE, MISURE, ELABORAZIONE DATI, DEFINIZIONE MODELLO</b>		Pag. 2/14
		Data:28/11/2016	
Contrattista GEOTEC S.p.A			

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	3
2	DESCRIZIONE DELLE SORGENTI.....	4
3	MISURAZIONI EFFETTUATE E POSIZIONE DEI TRASDUTTORI .....	5
4	ELABORAZIONE DEI DATI .....	6
5	RISULTATI PROVE VIBROMETRICHE.....	8
6	CONCLUSIONI .....	11

<b>GEOTEC SPA</b>	<b>VIBROMETRIE, MISURE, ELABORAZIONE DATI, DEFINIZIONE MODELLO</b>		Pag. 3/14
		Data: 28/11/2016	
Contrattista GEOTEC S.p.A			

## 1 INTRODUZIONE

Il documento presenta i risultati di prove vibrometriche, effettuate, conformemente alla norma UNI 9916-2014, durante due progetti di prospezioni geofisiche, uno realizzato nella pianura padana, nell'inverno del 2013 e l'altro nell'appennino meridionale nell'estate del 2016. I dati sono stati elaborati ed è stato ricavato un modello statistico. La validità del modello è stata effettuata analizzando i residui. I risultati esposti costituiscono un esempio di costruzione e valutazione del modello utilizzato per la definizione delle distanze di sicurezza. In base al tipo di sorgente, profondità dei fori e carica di esplosivo, utilizzata per l'energizzazione, sarà effettuata l'analisi statistica su misure vibrometrie registrate in condizioni di energizzazioni simili.

<b>GEOTEC SPA</b>	<b>VIBROMETRIE, MISURE, ELABORAZIONE DATI, DEFINIZIONE MODELLO</b>		Pag. 4/14
		Data: 28/11/2016	
Contrattista GEOTEC S.p.A			

## 2 DESCRIZIONE DELLE SORGENTI

La sorgente è di tipo impulsivo. Il fenomeno può essere considerato di breve durata in quanto si possono escludere problemi di fatica dovute a risonanze delle strutture stesse. L'esplosivo utilizzato è del tipo da mina (Esplosivo di II° Categoria). I progetti di prospezione geofisica, utilizzati per il modello sono i seguenti:

- Prospezione realizzata in Pianura Padana con l'impiego di cariche esplosive da 2 Kg posizionate in pozzetti di diametro 9cm e profondità di 12m.;
- Progetto realizzato sull'Appennino Meridionale con l'impiego di cariche esplosive da 7kg posizionate in pozzetti di diametro 9cm e profondità di 33m.;

<b>GEOTEC SPA</b>	<b>VIBROMETRIE, MISURE, ELABORAZIONE DATI, DEFINIZIONE MODELLO</b>	Data: 28/11/2016	Pag. 5/14
		Contrattista GEOTEC S.p.A	

### 3 MISURAZIONI EFFETTUATE E POSIZIONE DEI TRASDUTTORI

Le misure sono state effettuate con uno strumento equipaggiato con tre sensori di velocità, orientati nelle tre direzioni, verticale (Z); longitudinale (L); tangenziale (T), aventi frequenza di naturale pari ad 1 Hz.

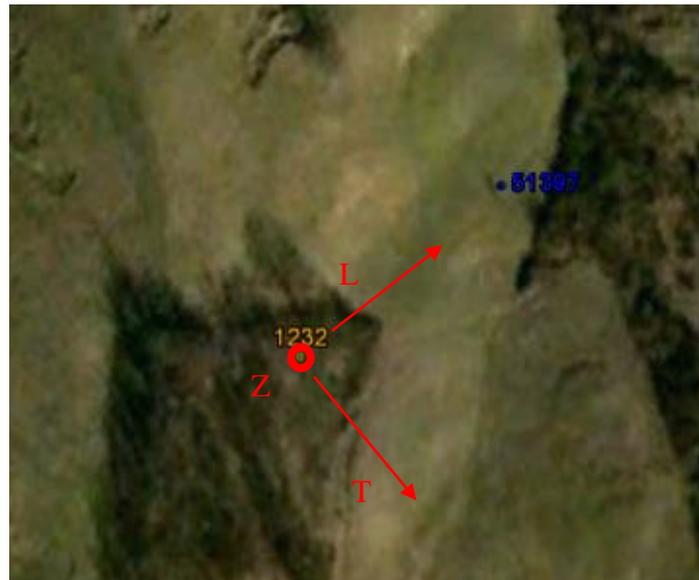


FIGURE 1. ESEMPIO DI POSIZIONAMENTO DEL SENSORE E DIREZIONE DELLE COMPONENTI DEI SENSORI

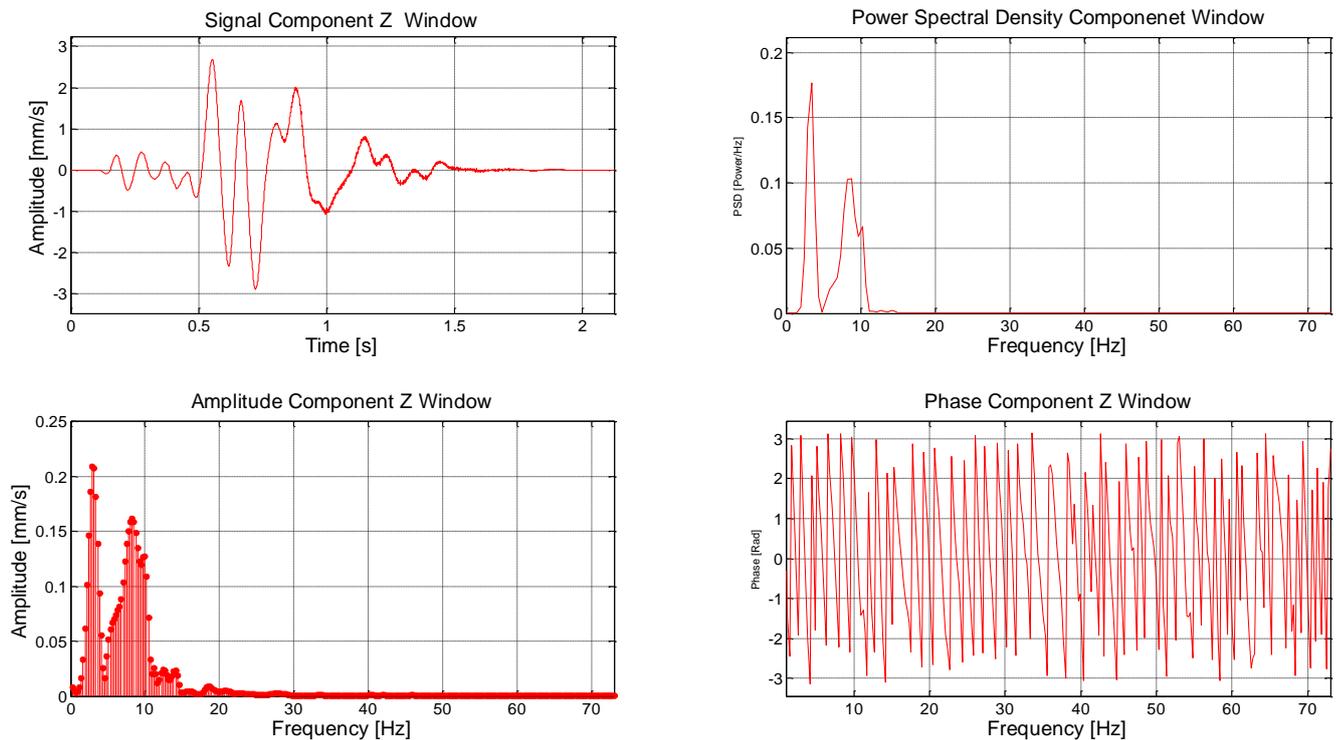
Il trigger dello strumento, che attiva la registrazione automaticamente al superamento di una soglia predefinita, è stato impostato a 0.5mm/s per tutte e tre le componenti (Z, L, T). La lunghezza di registrazione è stata impostata pari a 2 secondi. Il periodo di campionamento è pari ad 1ms. La risoluzione in frequenza è 0.47Hz.

Per ogni misura è stato registrato il punto esatto di posizionamento dei sensori. Dove possibile la posizione dei sensori è stata ubicata in prossimità di picchetti di linea, o punti di energizzazione rilevati con tecnica cinematica in tempo reale disegnata con l'acronimo RTKS. In prossimità delle abitazioni e di strutture sensibili le misurazioni sono state effettuate posizionando lo strumento in prossimità delle strutture stesse, in corrispondenza del piano campagna o in prossimità della recinzione delimitante la proprietà, registrando la posizione mediante GPS Garmin. La determinazione della posizione di misura, nel caso di rilevamento mediante Garmin, è affetta da un'incertezza di circa 3 metri. Nella tabella seguente sono riportati i punti di scoppio per i quali sono state effettuate le prove vibrometriche con indicazione della posizione del sensore.

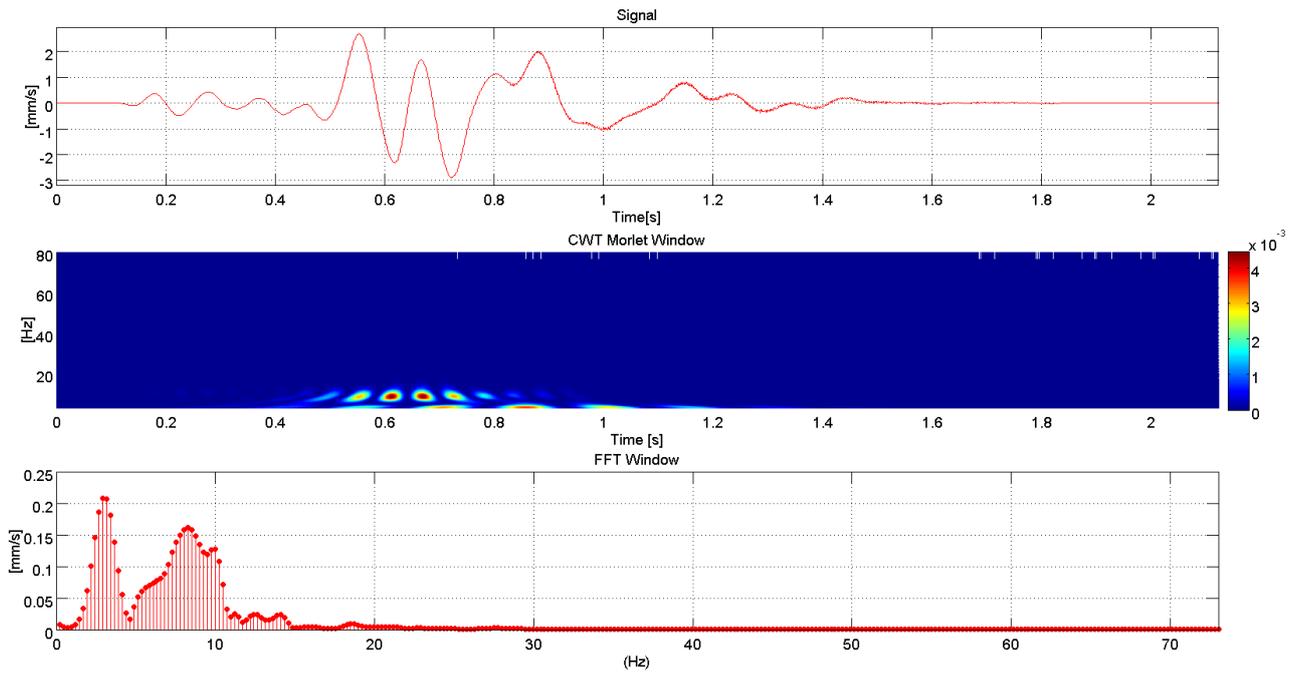
## 4 ELABORAZIONE DEI DATI

I dati registrati sono stati elaborati secondo le indicazioni della norma UNI 9916 -2014. Per la valutazione dei picchi è stato calcolato il massimo dei segnali delle tre componenti ed è stata effettuata la somma vettoriale. L'analisi armonica è stata effettuata sul segnale delle tre componenti dopo aver, applicando al segnale la finestra di Hanning, per considerare gli effetti dovuti alla limitazione nel tempo del segnale. Il valore di velocità da confrontare con i limiti stabiliti nell'appendice D1 (**DIN 4150**) è stato ricavato considerando il picco di velocità risultante dalla somma vettoriale dei picchi delle tre componenti ed associandovi, in via cautelativa, la frequenza minima a cui si sono manifestati i massimi delle singole componenti. Sono state inoltre analizzate le forme d'onda registrate utilizzando la trasformata *wavelet*, strumento sicuramente più idoneo della trasformata di Fourier per lo studio di segnali il cui contenuto armonico varia nel tempo.

A titolo di esempio nelle figure seguenti si riportano le analisi effettuate sui segnali registrati per la componente Z.



**FIGURE 2. ANALISI ARMONICA MEDIANTE TRASFORMATA DI FOURIER COMPONENTE Z DOPO APPLICAZIONE AL SEGNALE DELLA FINESTRA DI HANNING**



**FIGURE 3. SEGNALE, ANALISI ARMONICA MEDIANTE TRASFORMATA DI FOURIER E WAVELET COMPONENTE Z**

## 5 RISULTATI PROVE VIBROMETRICHE

Nelle figure seguenti sono mostrati i valori misurati e le curve di decadimento della velocità delle particelle. E' stato considerato il modulo dell'ampiezza. E' inoltre riportato il "prediction bound", applicabile in via conservativa, per stabilire le distanze di sicurezza.

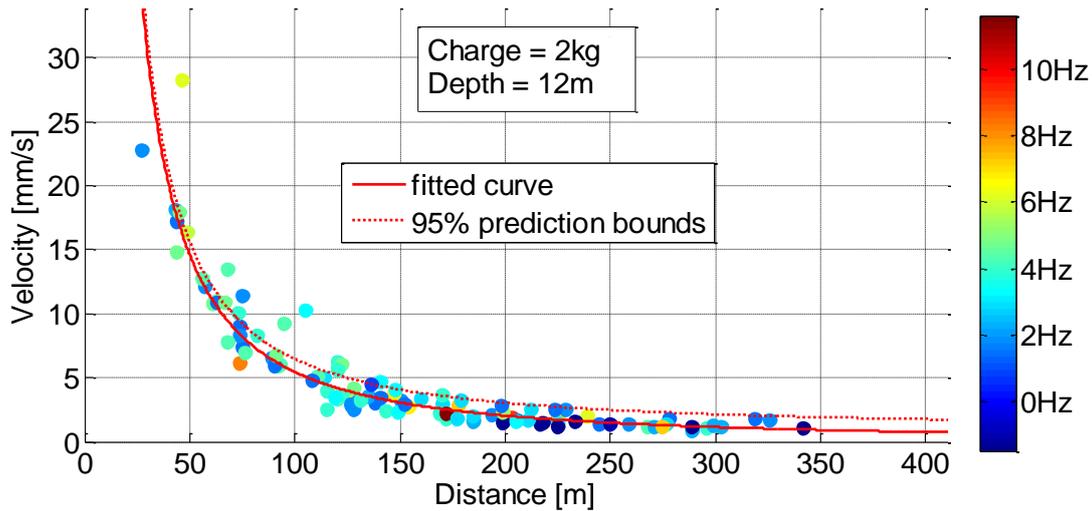


FIGURE 4. DECADIMENTO VELOCITÀ 2KG-12M

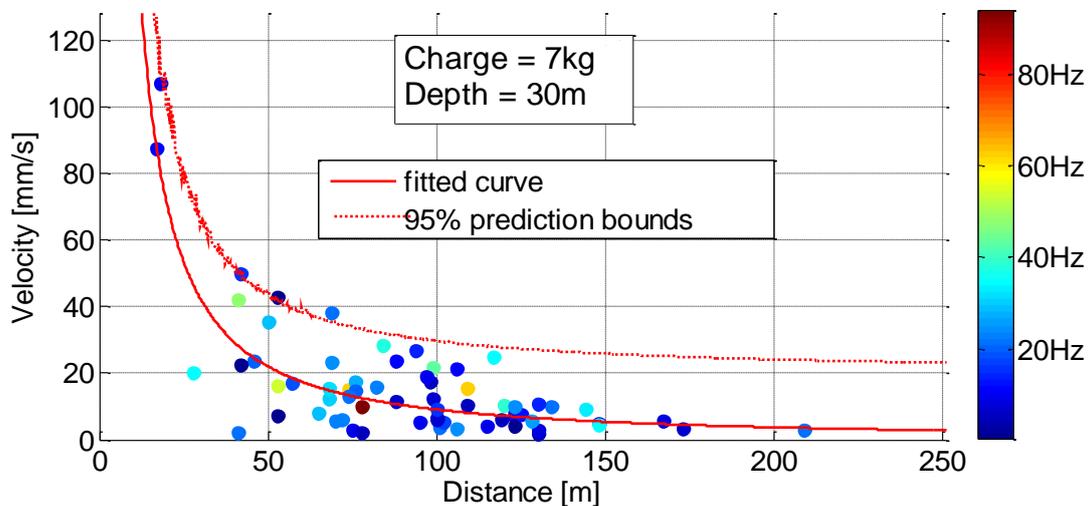


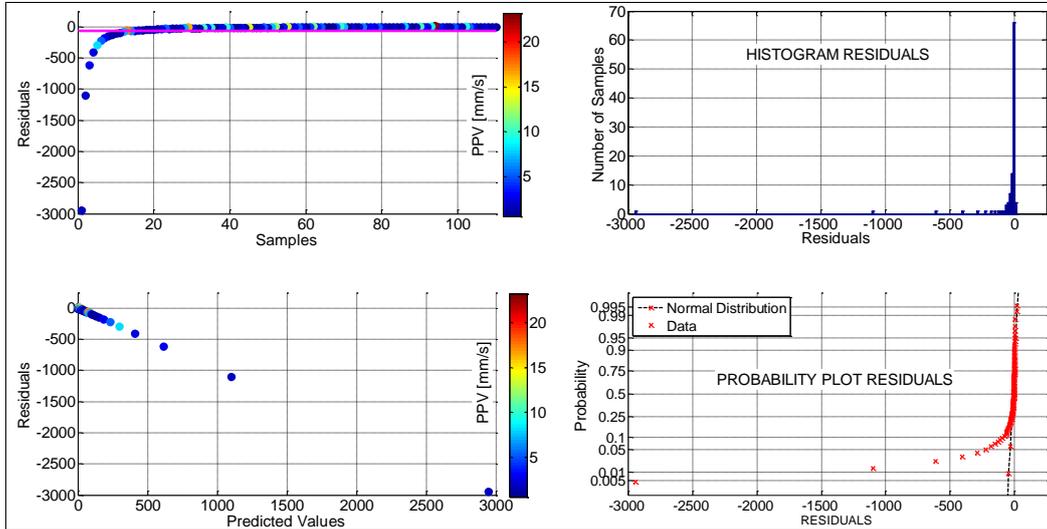
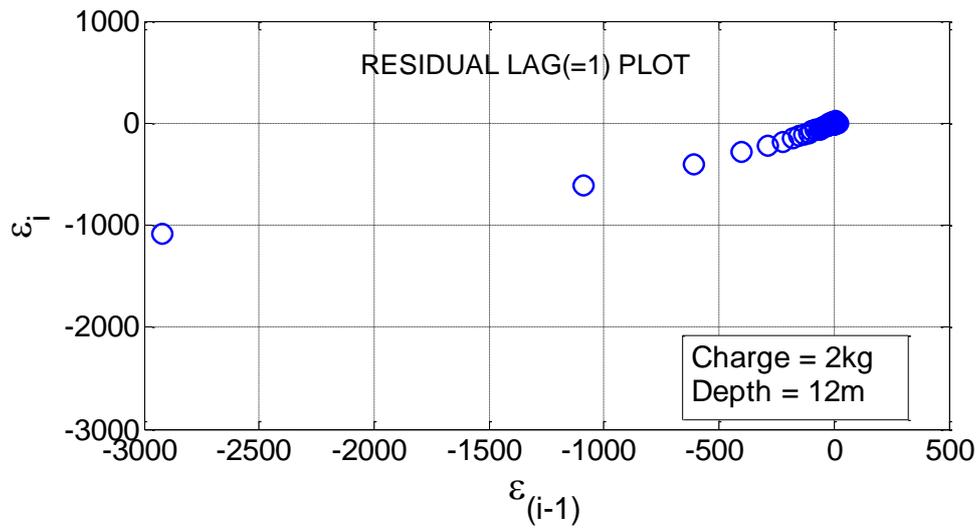
FIGURE 5. DECADIMENTO VELOCITÀ 7KG-30M

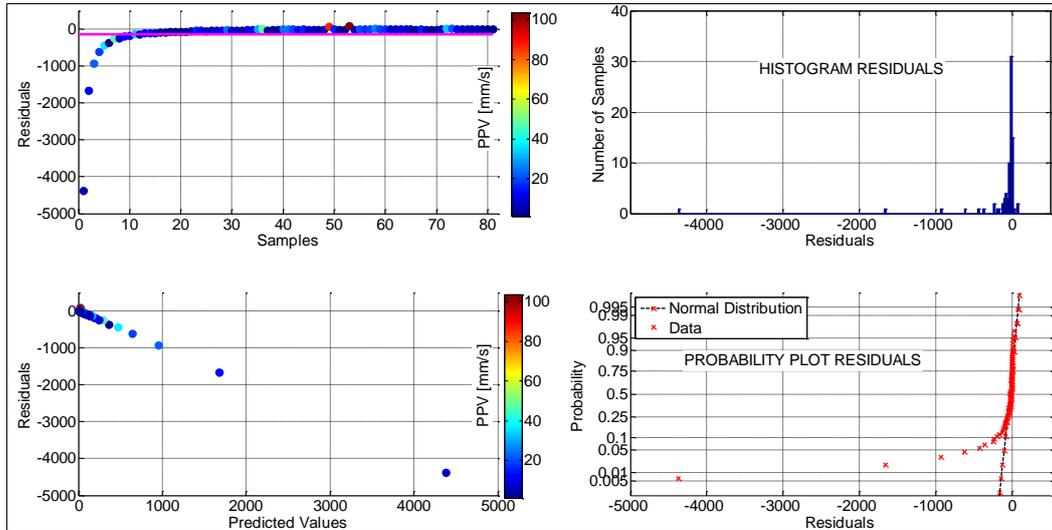
Nella tabella seguente sono riportati i parametri delle curve di interpolazione.

TABELLA 1. A GOOD OF FITNESS PARAMETERS, ROOT MEAN SQUARE ERROR AND ADJUSTED COEFFICIENT OF DETERMINATION

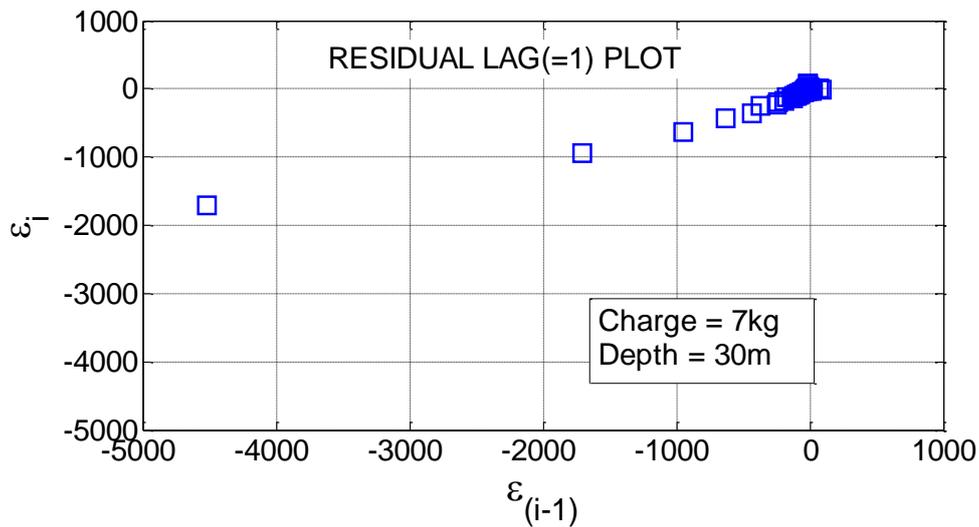
Pianura Padana					Appennino mridionale				
Hole Depth[m]	Charge [kg]	N° Samples	RMSE	R <sup>2</sup>	Hole Depth[m]	Charge [kg]	N° Samples	RMSE	R <sup>2</sup>
12	2	110	0.504	0.990	30	7	81	10.18	0.69

L'analisi dei residui è stata effettuata per valutare la validità del modello, curve di decadimento delle velocità, adottato.

**FIGURE 6. ANALISI DEI RESIDUI. 2KG-12M****FIGURE 7. LAG PLOT RESIDUI. 2KG-12M**



**FIGURE 8. ANALISI DEI RESIDUI. 7KG-30M**



**FIGURE 9. LAG PLOT RESIDUI. 7KG-30M**

L'analisi dei residui e dei parametri di interpolazione, evidenzia la presenza di alcuni valori anomali nelle misurazioni. Tali valori sono dovuti ad errata rilevazione della posizione dello strumento di registrazione, e conseguente errore nella valutazione della distanza dalla sorgente, mediante GPS garmin. Tale errore è attribuibile ad un numero di satelliti non sufficiente a rilevare la posizione entro la tolleranza stabilita dallo strumento, 3m circa.

## 6 CONCLUSIONI

La tabella seguente è un estratto dell'Appendice D della norma UNI9916.

TABELLA 2. APPENDICE D2 UNI 9916. PROSPETTO D1 (DIN 4150).

prospetto D.1

**Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni**

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v in mm/s			
		Fondazioni			Piano alto
		Da 1 Hz fino a 10 Hz	Da 10 Hz fino a 50 Hz	Da 50 Hz fino a 100 Hz <sup>1)</sup>	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ( $f=10$ Hz) fino a 40 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ( $f=50$ Hz) fino a 50 ( $f=100$ Hz)	40
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ( $f=10$ Hz) fino a 15 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ( $f=50$ Hz) fino a 20 ( $f=100$ Hz)	15
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ( $f=10$ Hz) fino a 8 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ( $f=50$ Hz) fino a 10 ( $f=100$ Hz)	8

<sup>1)</sup> Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.

Nelle figure seguenti sono riportati i valori misurati e limiti ammessi, in funzione della distanza e della frequenza.

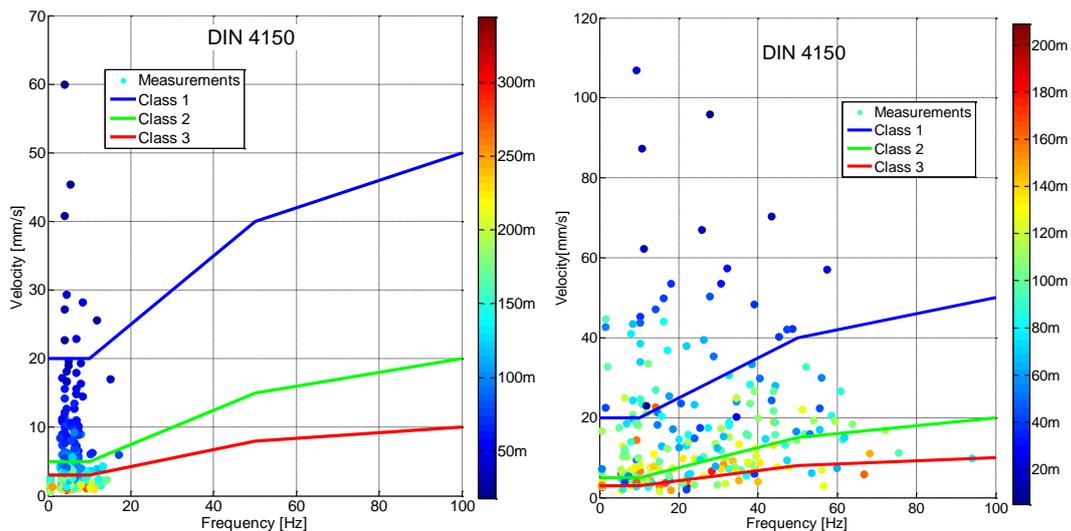
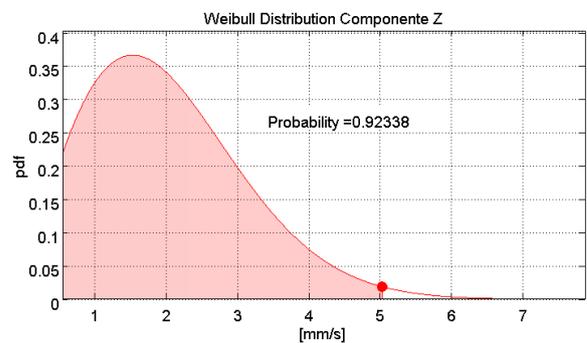
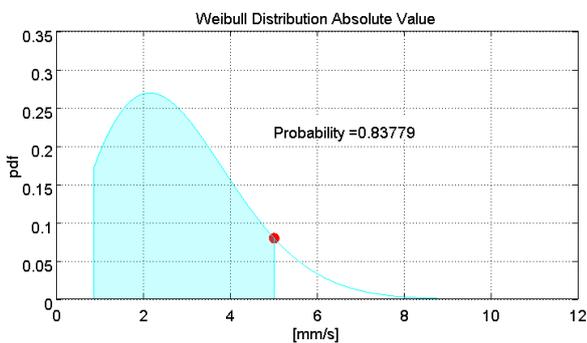
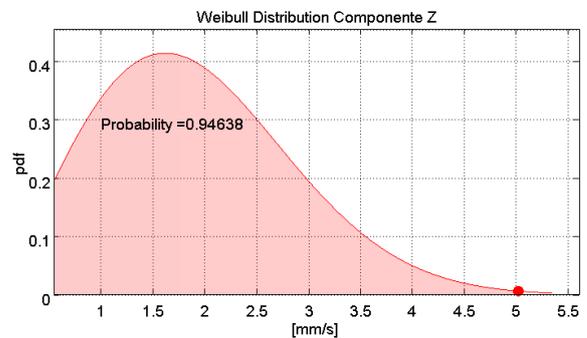
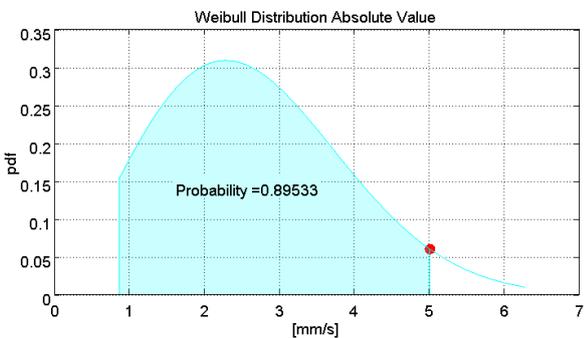
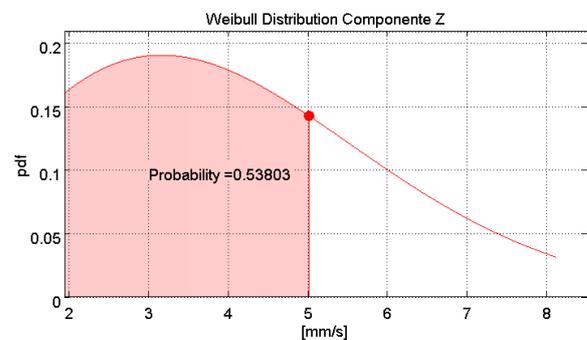
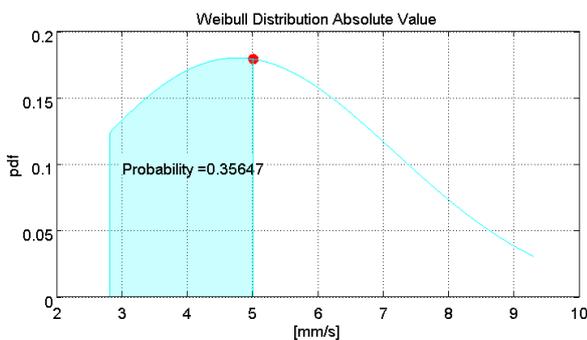


FIGURE 10. LIMITI NORMA DIN 4150. KG 2-12M (SINISTRA). KG 7-30M (DESTRA).

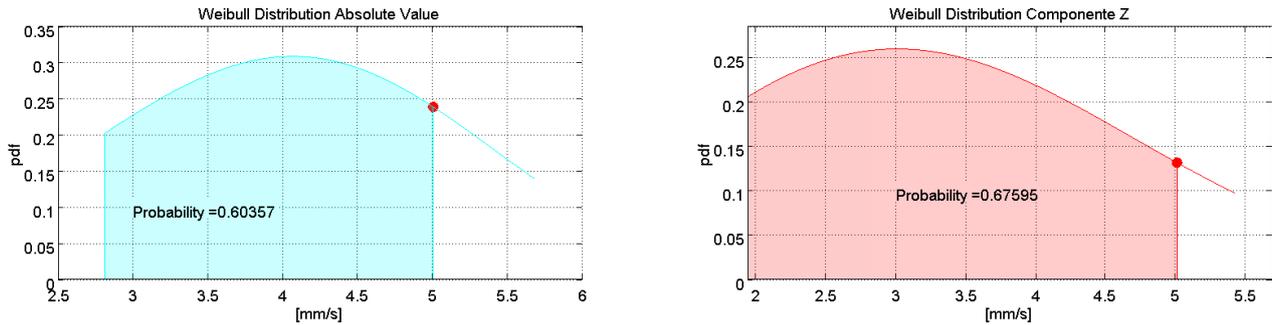
Nel caso di cariche da 2kg posizionate a 12m, il grafico a sinistra della figura 10 mostra che a distanza di circa 120m i valori misurati sono al disotto dei limiti della norma DIN 4150 per edifici di classe 2. Nel caso di cariche da 7kg posizionate a 30m, grafico a destra, la distanza alla quale i

limiti non sono superati, eccezion fatta per alcuni valori anomali dovuti ad errata registrazione della posizione, è di circa 140m.

Nelle figure seguenti, a sinistra sono riportati i grafici della funzione della densità di probabilità, relativi ai valori assoluti della velocità delle particelle e calcolati come somma vettoriale delle tre componenti. A destra sono riportati i grafici della funzione della densità di probabilità, relativi al valore della velocità delle particelle della componente Z. Dai dati analizzati risulta che la probabilità di avere valore inferiori a 5mm, limite della norma DIN a basse frequenze per gli edifici civili, e superiore all'80%.

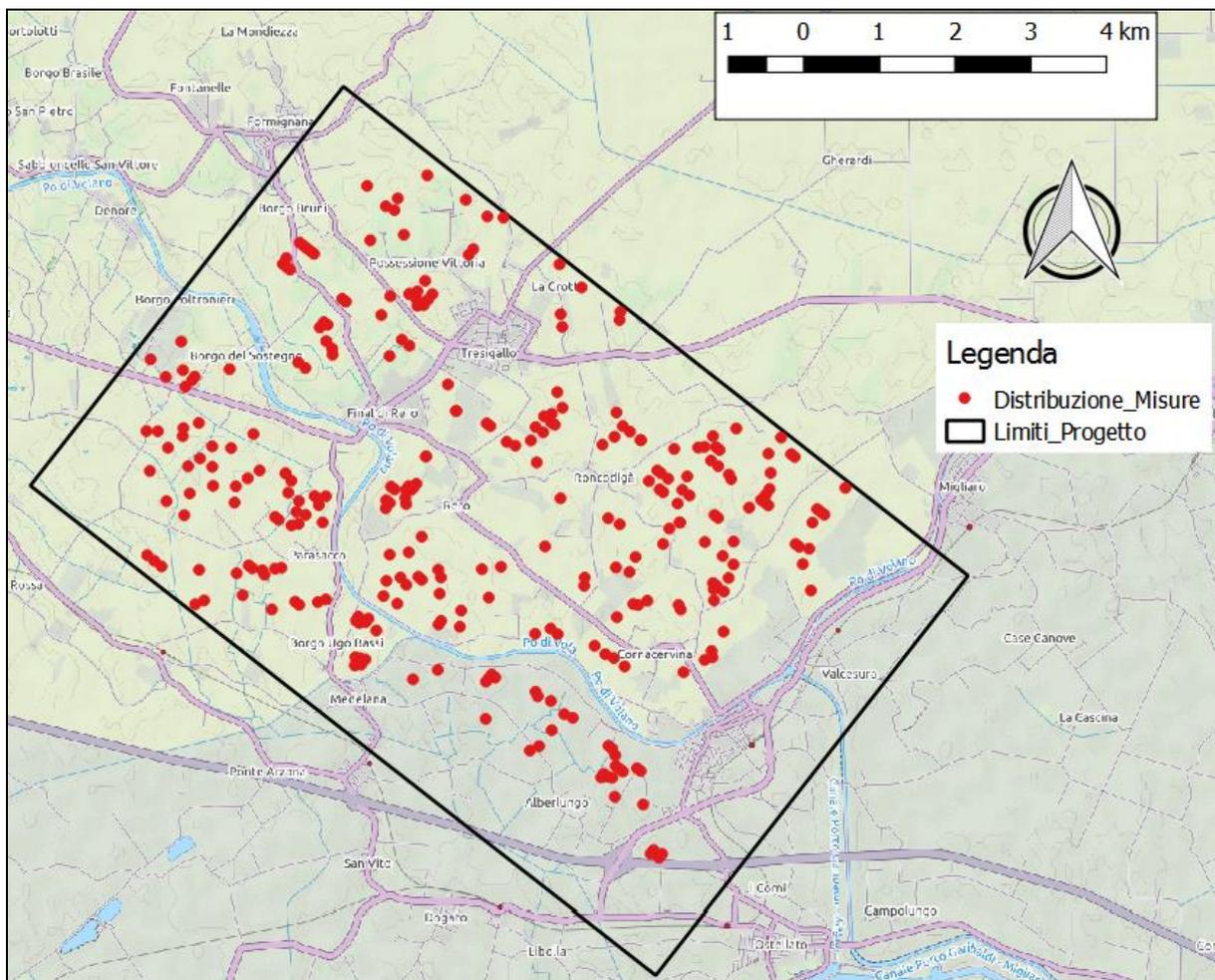
**FIGURE 11. PROBABILITÀ VALORI INFERIORI A 5MM/S A 100M. 2KG-12M****FIGURE 12. PROBABILITÀ VALORI INFERIORI A 5MM/S A 110M. 2KG-12M****FIGURE 13. PROBABILITÀ VALORI INFERIORI A 5MM/S A 140M. 7KG-30M**

Contrattista GEOTEC S.p.A

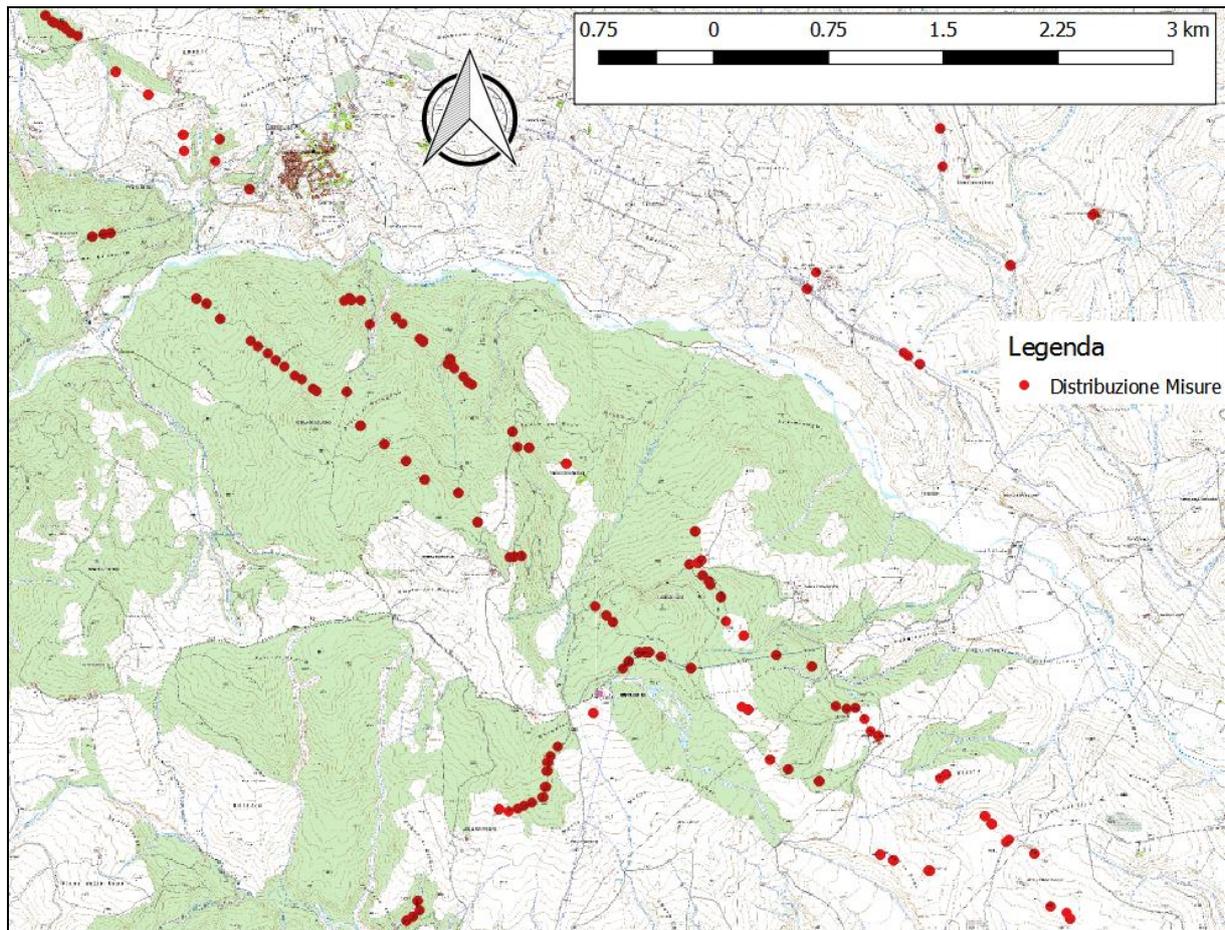
**FIGURE 14. PROBABILITÀ VALORI INFERIORI A 5MM/S A 150M. 7KG-30M**

L'indagine statistica, effettuata su misure effettuati in luoghi diversi, utilizzata per la definizione dei modelli, include risposte del suolo diverse dovute ad amplificazioni locali.

Nelle figure seguenti sono riportati i punti in cui sono state effettuate le misurazioni. L'area oggetto delle misure è molto vasta e con caratteristiche geologiche diverse.

**FIGURE 15. MAPPA DISTRIBUZIONE MISURE EFFETTUATE 2KG-12M**

Contrattista GEOTEC S.p.A

**FIGURE 16. MAPPA DISTRIBUZIONE MISURE EFFETTUATE 7KG-30M**

Dall'analisi dei dati, elaborati secondo la norma UNI 9916, e considerando i limiti riportati nell'appendice D1 della stessa norma, possono ritenersi non dannose le vibrazioni immesse nel terreno alle distanze di 120m dalla sorgente, nel caso di cariche di 2kg brillate a 12m, ed ad una distanza di 140m nel caso di cariche di 7kg fatte brillare ad una profondità di 30m.

Campobasso 23/12 /2016

Ing. Antonio Di Lecce



Ing. Roberto Scauzilli

