



**COMUNE DI PANDINO**  
*Provincia di Cremona*

**PIANO ATTUATIVO NELL'AMBITO  
DI TRASFORMAZIONE CR9 IN FRAZ. GRADELLA**

**PROPRIETA': AZ. AGR. GRADELLA S.P.A.**

**RELAZIONE GEOLOGICA E  
GEOTECNICA**

**GEOLOGO**  
**dott. Mattia Lucchi**

**MAGGIO 2017**

## **PREMESSA**

E' in progetto la costruzione di due nuovi edifici residenziali ubicati in corrispondenza del comparto CR9 in via Valletta, fraz Gradella che si colloca nella porzione settentrionale del comune di Pandino. La posizione è riportata negli allegati "Corografia", scala 1:10.000 ed in Estratto di planimetria in scala 1:200 modificata.

La seguente perizia è eseguita ai sensi del *D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni"*, le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

Al fine di determinare le caratteristiche dei terreni di fondazione, si sono presi in esame i dati forniti dall'analisi di 8 prove penetrometriche dinamiche (SCPT) eseguite, il 11/05/2017 in corrispondenza dell'area di intervento.

E' stata inoltre operata uno studio geofisico tipo MASW i cui risultati sono visibili in allegato relazione sismica.

La relazione che qui segue contiene l'indicazione della tipologia e delle dimensioni delle fondazioni; sono stati inoltre eseguiti i calcoli per una ipotesi della capacità portante del terreno e la stima dei cedimenti attesi.

## **1 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

Il territorio comunale di Pandino occupa una posizione centrale rispetto alla valle del fiume Tormo e si colloca a nord ovest del territorio cremasco.

L'area studiata è caratterizzata da superfici pianeggianti o debolmente ondulate all'interno delle quali, più in dettaglio, si distinguono aree debolmente rilevate, circondate da aree morfologicamente depresse poco più ribassate dove corrono le rogge ed i colatori che costituiscono il fitto reticolo idrico minore; queste ultime evidenziano tracce di forme fluviali con presenza di idrografia anastomotica, riferibili, in ultima analisi, all'andamento del fiume Tormo.

I depositi fluviali sono di natura ghiaioso sabbiosa debolmente limosi, con abbondanza di scheletro nei suoli.

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio oggetto dell'indagine, è costituito interamente dal Sistema delle piane intermedie, soggiacente, stratigraficamente, al Sistema di alluvionamento wurmiano, che costituisce il Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.) e che qui è visibile almeno un chilometro ad est, in corrispondenza dell'orlo di terrazzo morfologico su cui si colloca l'abitato di cascine Gandini.

Il territorio del comune di Pandino risulta influenzato dall'azione morfogenetica di antiche linee di deflusso superficiale, a prevalente andamento meridiano, che, nelle fasi iniziali del cataglaciale wurmiano, hanno modellato la superficie del L.F.d.P. portando alla formazione di morfostrutture minori, le più evidenti delle quali sono occupate dalle linee d'acqua del Tormo e dei suoi affluenti e derivatori.

## 2 – INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

### 2.1. Idrografia

Il reticolo idrico minore è particolarmente fitto e sviluppato; il territorio è infatti attraversato da numerosi corpi idrici, il più importante dei quali è il corso principale del fiume Tormo, il cui andamento anastomizzato viene localmente suddiviso in numerose rogge. Due di queste diramazioni del Tormo, le rogge Nuova e Roggetto, corrono nell'abitato di Pandino e tra esse a quest'ultima, si affiancherà un tratto della fognatura in discussione.

Tutti i rami del Tormo sono alimentati, direttamente o indirettamente dall'acquifero superficiale con il quale sono in stato di equilibrio.

Il canale Vacchelli, che taglia da ovest ad est il territorio di Pandino, è invece l'ultima grande opera idraulica ottocentesca, deriva acqua dall'Adda e la trasferisce ai navigli cremonesi che corrono trenta chilometri più ad est; nel territorio di Pandino ha corso sostanzialmente pensile.

Più ad ovest corre, sempre con andamento prevalentemente meridiano, roggia Pandina che assolve alla funzione di irrigare il territorio rurale, esaurendo qui la portata d'acqua derivata dall'Adda.

A roggia Gradella fa invece riferimento il complesso di corsi d'acqua, alimentati da fontanili, che si collocano nella porzione occidentale del comune e che vuotano, non nel Tormo ma direttamente verso Adda.

Il fiume Tormo è incluso nel Terzo degli Elenchi Suppletivi delle Acque Pubbliche (D. P.R. 1.2.57 in G.U. 14.6. 57n. 149) .

### 2.2. Idrogeologia

L'idrogeologia della zona in esame è ricostruita dalla sezione ottenuta correlando tra loro le stratigrafie di alcuni pozzi pubblici, il primo posto a nord dell'abitato di Pandino ed il secondo in zona castello, in prossimità del sito d'indagine e che oggi è dismesso nella sezione N –S, per la sezione W –E si sono utilizzati i pozzi Pandino ovest, centro ed est.

In base a quanto osservato in ambito locale è possibile indicare il seguente modello idrogeologico di riferimento, basato sulla suddivisione del sottosuolo nelle due distinte litozone:

- litozona superficiale: sede di falda freatica o semifreatica, costituita da una facies a ghiaie e sabbie. La potenza dello strato varia tra 40 e 45 m, l'alimentazione dell'acquifero sotterraneo è diretta dalla superficie o per infiltrazione di acqua meteorica o irrigua. Vulnerabilità molto elevata.
- litozona intermedia: ospita falde più semiartesiane verso il tetto, decisamente artesiane verso il letto della litozona che può essere collocato intorno a 100-120 m. Sabbie alternate a livelli argillosi con torbe denunciano un ambiente di deposizione di transizione tra continente e mare. Le falde sono sufficientemente ricche di acque ed alimentate per infiltrazione non dalla superficie immanente

ma da zone remote o dalla falda soprastante. Buona la protezione costituita dagli acquedotti potenti 10-20 m.

- litozona profonda: è costituita da argille prevalentemente alternate a sabbie, forte presenza di torbe, talora con resti fossili. E' sede di falde artesiane.

### 3- INDAGINE GEOGNOSTICA

Per un puntuale dettaglio si fornisce qui di seguito l'interpretazione delle verticali di prova e, conseguentemente, la verifica dei parametri di fondazione che si ritiene opportuno adottare. Per un maggiore dettaglio, in fase esecutiva si potrà approfondire con ulteriori indagini penetrometriche.

La quota di partenza delle prove corrisponde all'attuale piano campagna.

#### S.C.P.T. n° 1

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.60	Terreno agrario sabbioso limoso medio fine.	2 - 6
0.60 - 6.30	Sabbia con ghiaietto da mediamente a ben addensata.	Da 9 a > 20

#### S.C.P.T. n° 2

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.60	Terreno agrario limoso sabbioso	2 - 3
0.60 - 2.10	Sabbia fine con limo a poco addensata.	Da 3 a > 5
2.10 - 5.10	Sabbia con raro ghiaietto da mediamente a poco addensata.	Da 5 a 11
5.10 - 6.30	Sabbia e ghiaietto ben addensata.	> 22

S.C.P.T. n° 3

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 1.20	Sabbia leggermente limosa mediamente addensata	6 - 8
1.20 - 3.30	Lente di argilla e limo a bassissima consistenza . Pessime qualità geotecniche	Da 1 a 3
3.30 - 6.30	Sabbia con raro ghiaietto da mediamente a poco addensata.	Da 5 a 10

S.C.P.T. n° 4

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.30	Terreno agrario sabbioso limoso medio fine.	2
0.60 - 6.30	Sabbia con ghiaietto da mediamente a ben addensata. Locale lente sabbioso argillosa tra -3,90 e -4,80 m	Da 10 a > 20

S.C.P.T. n° 5

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.30	Terreno agrario smosso	1
0.30 - 2.10	Sabbia medio fine da poco a mediamente addensata.	Da 5 a 8
2.10 - 6.30	Sabbia e ghiaietto da mediamente a ben addensata.	Da 10 a >20

S.C.P.T. n° 6

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.60	Terreno agrario smosso	1 - 2
0.60 - 1.80	Sabbia fine limosa poco addensata.	Da 2 a 4
1.80 - 6.30	Sabbia e ghiaietto da mediamente a ben addensata.	Da 8 a >20

S.C.P.T. n° 7

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.60	Terreno agrario smosso	1 - 3
0.60 - 2.40	Sabbia fine limosa poco addensata.	Da 3 a 5
2.40 - 6.30	Sabbia e ghiaietto da mediamente a ben addensata.	Da 10 a 20

S.C.P.T. n° 8

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.30	Terreno agrario smosso	1
0.60 - 3.00	Sabbia fine limosa poco addensata. Lente ghiaiosa tra -1.20 e -1,80 m	Da 3 a 6
3.00 - 6.30	Sabbia e ghiaietto da mediamente a ben addensata.	Da 10 a 14

Le prove SCPT eseguite, mostrano una certa disomogeneità, soprattutto nei primi -3,0 m da p.c.

Si distingue una prima stratificazione prevalentemente sabbioso limosa medio fine a basso addensamento in corrispondenza di prova 2 – 5 - 6 7 e 8 . Tale livello raggiunge la quota di – 2,0 – 3,0 m .

In corrispondenza di prova 3 è stata individuata una lente argillosa a bassissima consistenza fino a -3,30 m da p.c. In fase di scavo si dovrà determinare la corretta estensione spaziale ed eventualmente provvedere ad un intervento di bonifica.

Più in profondità sono presenti terreni sabbiosi con ghiaietto caratterizzati da elevati valori di resistenza penetrometrica e buone qualità geotecniche fino alla massima profondità di indagine.

Il livello della falda è stato raggiunto dal perforo di prova, e corrisponde ad una quota di circa – 1,90 da p.c.. Tale valore è suscettibile di un probabile innalzamento durante periodi irrigui o particolarmente piovosi di circa 40 – 60 cm rispetto al livello attuale.

#### 4. VERIFICA IPOTESI DI FONDAZIONE

Sono in progetto nuovi edifici residenziali con locali interrati e composti da non più di 2- 3 piani fuori terra. Il piano di posa delle fondazione è uniformemente individuato a –2,60 m da piano prova. (La quota di partenza delle prove penetrometriche corrisponde al livello del terreno coltivato).

Si riporta qui si seguito la verifica del carico massimo ammissibile dei terreni sede della fondazione .

**CASO 1) CALCOLO CON D.M. 14/01/08 – SLU E D.M. 11/03/88**  
**FONDAZIONE A TRAVE ROVESCIA CONTINUA, IN TERRENO A DOMINANTE LITOLOGICA GRANULARE (PIANO DI FONDAZIONE –2,60 m . B= 1,20 m D= 0,60 m)**

#### APPROCCIO 1/COMBINAZIONE 1 (STR)

Formula di Terzaghi in terreni granulari in presenza di falda risulta:

Stimando un valore di angolo di attrito interno, per terreni prevalentemente incoerenti, pari a  $\varphi = 27,5^\circ$

$$Q_{lim} = (B/2 \times \gamma_{t2w} \times N_\gamma + (\gamma_{t1w} \times D_f) \times N_q) =$$

dove:

$\gamma_{t1w}$  -  $\gamma_{t2w}$  = peso specifico rispettivamente del terreno sopra la fondazione e sotto la fondazione (in falda)

$D_f = 0,60$  m incastro della fondazione fuori falda

$B = 1,20$  m larghezza minima della fondazione

$N_\gamma$  -  $N_q$  = fattori di capacità portante  $f(\varphi)$

$\gamma_M = \gamma_\phi$  = parametro secondo tab 6.2.II = 1,0

Sviluppo del calcolo:

$$Q_{lim} = (0,60 \times 0,80 \times 18) + (0,85 \times 0,60) \times 21 = (8,64 + 10,71) = \\ = 19,35 \text{ t/m}^2 \sim 1,93 \text{ Kg/cm}^2 \sim 193 \text{ KN/m}^2 =$$

$$R_d = Q_{lim} / \gamma_R = 1,93 / 1,0 = 1,93 \text{ Kg/cm}^2$$

In tali condizione la fondazione ha portata complessiva, compreso il peso proprio, di:  
19,35 x LUNG x LARG = ..... ton

**CASO 1) CALCOLO CON D.M. 14/01/08 – SLU**  
**FONDAZIONE A TRAVE ROVESCIA CONTINUA, IN TERRENO A DOMINANTE LITOLOGICA GRANULARE (PIANO DI FONDAZIONE –2,60 m . B= 1,20 m D= 0,60 m)**

### APPROCCIO 1/COMBINAZIONE 2 (GEO)

Il valore stimato di angolo di attrito interno, per terreni prevalentemente incoerenti di origine alluvionale, risulta  $\varphi = 27,5^\circ$ .

$$Q_{lim} = (B/2 \times \gamma_{t2w} \times N_\gamma + \gamma_{t1w} \times D_f \times N_q) =$$

dove:  $\gamma_{t1w}$  -  $\gamma_{t2w}$  = peso specifico rispettivamente del terreno sopra la fondazione e sotto la fondazione,

$D_f = 0,60$  m incastro della fondazione

$B = 1,20$  m larghezza minima della fondazione o lato del plinto quadrato

$N_\gamma$  -  $N_q$  = fattori di capacità portante  $f(\varphi)$  ridotto

$\gamma_\phi$  = parametro secondo tab 6.2.II = 1,25

$\varphi$  ridotto =  $(\text{tg } 27,5^\circ / \gamma_\phi) \times \text{arctg} = 22,60^\circ$

$$Q_{lim} = (0,6 \times 0,80 \times 12 + 0,85 \times 0,6 \times 13) = (5,76 + 6,63) = 12,39 \text{ t/m}^2 \sim 1,23 \text{ Kg/cm}^2 \sim 123 \text{ KN/m}^2$$

Il  $K_w$  (coefficiente di winkler) calcolato è pari a  $2,9 \text{ Kg/cm}^3$

$$R_d = Q_{lim} / \gamma_R = 1,23 / 1,8 = 0,688 \text{ Kg/cm}^2$$

In tali condizioni la fondazione ha una portata complessiva, compreso il peso proprio, di:

$$\underline{6.88 \times \text{lunghezza} \times \text{larghezza} = \dots \text{ t}}$$

**CASO 1) CALOCOLO CON D.M. 14/01/08 – SLU E D.M. 11/03/88**

**FONDAZIONE A TRAVE ROVESCIA CONTINUA, IN TERRENO A DOMINANTE LITOLOGICA GRANULARE (PIANO DI FONDAZIONE –2,60 m . B= 1,20 m D= 0,60 m)**

**APPROCCIO 2**

Formula di Terzaghi in terreni granulari in presenza di falda risulta:

Stimando un valore di angolo di attrito interno, per terreni prevalentemente incoerenti, pari a  $\varphi = 27,5^\circ$

$$Q_{lim} = (B/2 \times \gamma_{t2w} \times N_\gamma + (\gamma_{t1w} \times D_f) \times N_q) =$$

dove:

$\gamma_{t1w}$  -  $\gamma_{t2w}$  = peso specifico rispettivamente del terreno sopra la fondazione e sotto la fondazione (in falda)

$D_f = 0,60$  m incastro della fondazione fuori falda

$B = 1,20$  m larghezza minima della fondazione

$N_\gamma$  -  $N_q$  = fattori di capacità portante  $f(\varphi)$

$\gamma_M = \gamma_\phi$  = parametro secondo tab 6.2.II = 1,0

Sviluppo del calcolo:

$$Q_{lim} = (0,60 \times 0,80 \times 18) + (0,85 \times 0,60) \times 21 = (8,64 + 10,71) =$$

$$= 19,35 \text{ t/m}^2 \sim 1,93 \text{ Kg/cm}^2 \sim 193 \text{ KN/m}^2 =$$

$$R_d = Q_{lim} / \gamma_R = 1,93 / 2,3 = 0,839 \text{ Kg/cm}^2$$

In tali condizione la fondazione ha portata complessiva, compreso il peso proprio, di:

$$\underline{8,39 \times LUNG \times LARG = \dots \text{ ton}}$$

Il  $K_w$  (coefficiente di winkler) calcolato è pari a  $2,9 \text{ Kg/cm}^3$

**5. STIMA DEI CEDIMENTI**

Il calcolo, qui di seguito riportato, è relativo ai carichi ed alla verticale di prova penetrometrica dinamica eseguita e descritta in precedenza ed ha valore indicativo non essendo la SCPT standardizzata. Metodo tratto dalle formule di *Buisman e Boussinesq*.

Per quanto riguarda i parametri di fondazione si è ipotizzato di associare la tipologia di fondazione con carico ammissibile pari a **84 KPa**, carico superiore a quello stimato di esercizio previsto per gli edifici di progetto.  $R_{pm} = N_{scpt} \times 4$ .

**S.C.P.T. 1**

Strato (m)	h comp. (cm)	$R_{pm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\alpha$	$Mv$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	$\Delta p$ (kg/cmq)	$\Delta h$ (cm)
2.60 - 6.30	370	65	1.65	0,0093	0.168	0.58

**Tot. cm. 0,58**

**S.C.P.T. 2**

Strato (m)	h comp. (cm)	$R_{pm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\alpha$	$Mv$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	$\Delta p$ (kg/cmq)	$\Delta h$ (cm)
2.60 - 5.10	250	34	2.45	0,0120	0.19	0.57
5.10 - 6.30	120	80	1.55	0,0080	0.09	0.09

**Tot. cm. 0,66**

**S.C.P.T. 3**

Strato (m)	h comp. (cm)	$R_{pm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\alpha$	$Mv$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	$\Delta p$ (kg/cmq)	$\Delta h$ (cm)
2.60 - 3.30	70	4	4.5	0,055	0.25	0.96
3.30 - 6.30	300	34	2.45	0,012	0.145	0.52

**Tot. cm. 1,48**

**S.C.P.T. 4**

Strato (m)	h comp. (cm)	$R_{pm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\alpha$	$Mv$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	$\Delta p$ (kg/cmq)	$\Delta h$ (cm)
2.60 - 6.30	370	65	1.65	0,0093	0.168	0.58

**Tot. cm. 0,58**

**S.C.P.T. 5**

<b>Strato (m)</b>	<b>h comp. (cm)</b>	<b><math>R_{pm}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>Mv</math> (Kg/cm<sup>2</sup>)<sup>-1</sup></b>	<b><math>\Delta p</math> (kg/cmq)</b>	<b><math>\Delta h</math> (cm)</b>
2.60 - 6.30	370	65	1.65	0,0093	0.168	0.58

**Tot. cm. 0,58**

**S.C.P.T. 6**

<b>Strato (m)</b>	<b>h comp. (cm)</b>	<b><math>R_{pm}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>Mv</math> (Kg/cm<sup>2</sup>)<sup>-1</sup></b>	<b><math>\Delta p</math> (kg/cmq)</b>	<b><math>\Delta h</math> (cm)</b>
2.60 - 6.30	370	62	1.65	0,0097	0.168	0.60

**Tot. cm. 0,60**

**S.C.P.T. 7**

<b>Strato (m)</b>	<b>h comp. (cm)</b>	<b><math>R_{pm}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>Mv</math> (Kg/cm<sup>2</sup>)<sup>-1</sup></b>	<b><math>\Delta p</math> (kg/cmq)</b>	<b><math>\Delta h</math> (cm)</b>
2.60 - 6.30	370	65	1.65	0,0093	0.168	0.58

**Tot. cm. 0,58**

**S.C.P.T. 8**

<b>Strato (m)</b>	<b>h comp. (cm)</b>	<b><math>R_{pm}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>Mv</math> (Kg/cm<sup>2</sup>)<sup>-1</sup></b>	<b><math>\Delta p</math> (kg/cmq)</b>	<b><math>\Delta h</math> (cm)</b>
2.60 - 3.00	40	20	3.9	0,0128	0.55	0.28
3.00 - 6.30	330	65	1.65	0,0093	0.155	0.47

**Tot. cm. 0,75**

Il cedimento massimo è pari a 1,48 cm in corrispondenza della verticale di prova SCPT 3 , in quanto è presente una lemte a bassissima consistenza.

I cedimenti delle altre prove risulta medio bassi con valori inferiori al centimetro . Si ricorda che per una stima analitica dei cedimenti è necessaria l'esecuzione di prove di carico su piastra

## **6. LIQUEFACIBILITA' DELLE SABBIE**

Questo tipo di analisi rappresenta una fase peculiare delle indagini in zona sismica in seguito alla notevole importanza ai fini della stabilità statica dell'edificio. Per una verifica della suscettibilità alla liquefazione esistono vari metodi che sono concordi nell'ammettere la possibilità di liquefazione solo nei livelli che presentino le seguenti caratteristiche:

- *eventi sismici di magnitudo  $M$  superiori a 5*
- *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0,1 g*
- *siano costituiti da sabbie o sabbie limose;*
- *profondità media stagionale della falda inferiore a 15 m dal piano campagna, per p.c.c sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
- *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica  $< 30 (N_1)_{60}$  normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa.*
- *distribuzione del fuso granulometrico delle sabbie compreso tra 0.01 mm e 1 mm.*

Secondo la normativa vigente la verifica può essere omessa quando non si manifesti almeno una delle condizioni sopra esposte.

L'analisi effettuata sui dati di campagna prendendo in considerazione la prove eseguite nell'area di intervento rileva l'assenza di livelli potenzialmente liquefacibili per la litologia prevalentemente limoso sabbiosa del sub strato iniziale e sabbioso ghiaiosa meglio addensata in profondità.

Tali caratteristiche riducono quindi in maniera rilevante la possibilità che fenomeni di liquefazione possano verificarsi nei terreni interessati dalle fondazioni.

## **7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Il terreno di fondazione su cui si interverrà presenta caratteri tipici della sedimentazione fluvio glaciale recente che porta ad avere alternanze di livelli variamente addensati e dalle caratteristiche granulometriche variabili.

Sulla base delle analisi e dei dati in nostro possesso possiamo pertanto stabilire:

- a) l'intervento dal punto di vista geologico tecnico è fattibile nel rispetto delle indicazioni riportate nei paragrafi "Verifica ipotesi di fondazione" e "Stima dei cedimenti".
- b) condizione indispensabile: la fondazione deve essere imposta su terreno naturale, non rimaneggiato.

- c) In corrispondenza di prova 3 è stata individuata una lente argillosa a bassissima consistenza fino a -3,30 m da p.c. In fase di scavo si dovrà determinare la corretta estensione spaziale ed eventualmente provvedere ad un intervento di bonifica.
- d) in presenza di materiali non idonei dovrà essere prevista la loro asportazione e sostituzione con inerte di idonea granulometria opportunamente costipato.
- e) I terreni indagati mostrano discrete qualità geotecniche e resistenza penetrometrica maggiore di 6 - 8 Nspt nella zona di imposta delle fondazioni. E' possibile, pertanto, operare in sicurezza con un valore di Resistenza del sistema geotecnico Rd pari a quello esposto nei casi calcolati al capitolo 3.
- f) si possono ragionevolmente escludere fenomeni di liquefazione dei sedimenti sabbiosi.
- g) Alla luce dell'indagine eseguita è possibile far rientrare l'area indagata nella **categoria di suolo di fondazione tipo C (vedasi relazione sismica allegata).**

## **GEOLOGO**

**dott. Mattia Lucchi**

**maggio 2017**

## ALLEGATI:

- Corografia, scala 1:10.000
- Estratto di planimetria e ubicazione delle indagini geognostiche, scala 1:200 modificata
- N. 8 Prove penetrometriche SCPT
- Caratteristiche del penetrometro

# ***COMUNE DI PANDINO***

***Provincia di Cremona***

**PIANO ATTUATIVO NELL'AMBITO  
DI TRASFORMAZIONE CR9 IN FRAZ. GRADELLA**

**PROPRIETA': AZ. AGR. GRADELLA S.P.A.**

## **RELAZIONE GEOFISICA TECNICO ILLUSTRATIVA**

**ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO IN LOMBARDIA  
FINALIZZATI ALLA DEFINIZIONE DELL'ASPETTO SISMICO PER NUOVO  
PIANO ATTUATIVO SECONDO QUANTO PREVISTO DAL D.M. 14/09/2005,  
DALL'ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI N. 3274  
DEL 20/03/2003, DELLA D.G.R. N. 14964 DEL 07/11/2003 E DELLA D.G.R. DEL  
28/05/08 N. 8/7374**

**IL GEOLOGO  
dott. Mattia Lucchi**

**MAGGIO 2017**

## **PREMESSA**

La relazione seguente illustra, le fasi e gli elaborati necessari per l'adempimento della procedura relativa all'Analisi del rischio sismico" in Comune di Pandino ricadente in zona sismica 3 con in progetto un piano attuativo residenziale in via Valletta frazione Gradella .

Per la caratterizzazione geologica dell'area si sono svolte n. 2 indagini geognostiche, la prima costituita da 8 prove penetrometriche S.C.P.T. che hanno raggiunto la massima profondità di 6,30 m ed illustrate nella relazione geologico tecnica e la seconda rappresentata dall'esecuzione di uno stendimanto MASW di riferimento il 11/05/2017, posto all'interno dell'area di progetto, che ha permesso la caratterizzazione sismica dell'area in oggetto.

L'indagine Masw, gli allegati grafici ed i risultati ottenuti sono visibili in allegato.

Pertanto di seguito viene esposto all'approfondimento di primo livello, (in cui sono state individuate le aree a pericolosità sismica locale con le perimetrazioni tipo indicate nella Tabella 1 dell'Allegato 5 del D.M. 14/09/2005.) , ed anche l'approfondimento di secondo livello con la stima del valore di Fattore di Amplificazione (Fa) e la verifica della compatibilità con il valore di soglia previsto per il Comune in oggetto così come deliberato dalla normativa regionale vigente.

Per ogni dettaglio riguardante i provvedimenti deliberati dalla Regione Lombardia si rimanda alle normative sopra citate e successive.

## **1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO**

Il territorio comunale di Pandino occupa una posizione centrale rispetto alla valle del fiume Tormo e si colloca a nord ovest del territorio cremasco.

L'area studiata è caratterizzata da superfici pianeggianti o debolmente ondulate all'interno delle quali, più in dettaglio, si distinguono aree debolmente rilevate, circondate da aree morfologicamente depresse poco più ribassate dove corrono le rogge ed i colatori che costituiscono il fitto reticolo idrico minore; queste ultime evidenziano tracce di forme fluviali con presenza di idrografia anastomotica, riferibili, in ultima analisi, all'andamento del fiume Tormo.

I depositi fluviali sono di natura ghiaioso sabbiosa debolmente limosi, con abbondanza di scheletro nei suoli.

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio oggetto dell'indagine, è costituito interamente dal Sistema delle piane intermedie, soggiacente, stratigraficamente, al Sistema di alluvionamento wurmiano, che costituisce il Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.) e che qui è visibile almeno un chilometro ad est, in corrispondenza dell'orlo di terrazzo morfologico su cui si colloca l'abitato di cascine Gandini.

Il territorio del comune di Pandino risulta influenzato dall'azione morfogenetica di antiche linee di deflusso superficiale, a prevalente andamento meridiano, che, nelle fasi iniziali del cataglaciaie wurmiano, hanno modellato la superficie del L.F.d.P. portando alla formazione di morfostrutture minori, le più evidenti delle quali sono occupate dalle linee d'acqua del Tormo e dei suoi affluenti e derivatori.

## **2. APPROFONDIMENTO DI 1° LIVELLO, TIPO “QUALITATIVO”**

### **2.1 CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE**

La carta della pericolosità sismica locale ha come finalità l'individuazione di scenari di pericolosità sismica legati a particolari forme e strutture geologiche e geomorfologiche. Il riferimento per la classificazione di tali scenari è la Tabella 1 dell'allegato 5 del 3° Supplemento straordinario del Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia del 19/01/05 e relativo alla L.R. 11/03/05 n. 12 art. 57 ed alla successiva D.G.R. n. 8/7374 del 25/05/08 .

Nella carta allegata in scala 1:10.000 è riportata la classificazione dello scenario con la relativa descrizione delle forme e delle strutture soggette ad effetti di instabilità, amplificazioni topografiche , litologiche e geometriche ed a comportamenti differenziali.

Per ogni scenario possibile è stato eseguito uno studio ed una ricerca sul territorio comunale, attraverso un rilevamento speditivo e la consultazione delle carte, delle stratigrafie e degli elaborati forniti dall'indagine geologica per il PGT comunale.

La situazione emersa è contraddistinta dalla presenza di un solo scenario a pericolosità sismica locale e rappresentato dalla sigla Z4a “ Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi”. E' pertanto stata individuata la classe di pericolosità sismica H2 così come previsto dalla Tabella 2 dell'Allegato 5 già precedentemente citato.

Nella carta in oggetto è indicato il MASW eseguito in corrispondenza dell'area del futuro edificio, mentre in allegato relazione geologico tecnica e e relazione geofisica sono ubicate le prove SCPT di riferimento ed il MASW con maggiore precisione e dettaglio.

Le indagini geognostiche eseguite sono utilizzate per il successivo approfondimento di 2° Livello per l'area P.I.I..

La carta della pericolosità sismica è sovrapponibile alla Carta di Fattibilità Geologica e delle Azioni di Piano senza la necessità di modificazioni delle classi di fattibilità geologica definite in precedenza.

### **3. APPROFONDIMENTO DI 2° LIVELLO, TIPO “SEMIQUANTITATIVO”**

Il Comune di Pandino ricade in zona sismica 3 con  $A_g \max = 0,084703$ , e si è proceduto ad una analisi di 2° livello per l'area destinata al nuovo lottizzo considerato a tutti gli effetti di legge un comparto non strategico.

La caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica è stata eseguita attraverso i risultati ottenuti dall'esecuzione di n. 8 prove penetrometriche SCPT utilizzate per la “taratura” e dallo stendimento MASW ubicate in allegato. Dall'indagine geognostica posta in essere si è distinta la litologia prevalente del sottosuolo indagato e la definizione dei Vs per strati omogenei.

La correlazione dei risultati ha permesso l'elaborazione di un modello geologico di riferimento e la successiva implementazione dei dati per il calcolo del valore di Fattore di Amplificazione (Fa) con la procedura proposta dalla normativa regionale vigente.

Si allegano alla presente i risultati delle prove MASW eseguite e le tabelle dei valori dei Vs calcolati.

Il passo successivo è rappresentato dall'utilizzo delle schede di valutazione di riferimento proposte dalla D.G.R. n. 8/7374 del 25/05/08 .

La scheda di valutazione è stata scelta sulla base della litologia prevalente, dell'andamento dei Vs con la profondità e del modello geofisico – geotecnico di riferimento.

Verificata la compatibilità della scheda si è proceduto alla scelta della curva appropriata (indicata con il numero ed il colore di riferimento) per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5s (curva 1, 2 e 3 e relative formule) e nell'intervallo 0,5 – 1,5 s (unica curva e relativa formula) sulla base del periodo proprio di sito **T**.

L'intervallo tra 0.1 – 0.5s è da ritenersi adeguato a strutture ed a edifici relativamente bassi, regolari e piuttosto rigidi, mentre l'intervallo 0.5 – 1.5s si riferisce a strutture più alte e flessibili.

Per una migliore comprensione dell'utilizzo delle schede di valutazione si rimanda alla loro visione presente in allegato.

### **4. VERIFICA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE (Fa) E RISULTATI RAGGIUNTI**

Il fattore di amplificazione Fa è stato calcolato per gli effetti litologici per entrambi gli intervalli di periodo indicati nella scheda di valutazione, per quanto riguarda i valori di Fa per gli effetti morfologici non è stato calcolato alcun valore, in quanto non sono presenti per l'area di indagine scenari di pericolosità sismica legati a particolari forme morfologiche.

In allegato è visibile il modello geologico e geofisico di riferimento.

Qui di seguito vengono esposti i risultati raggiunti per il calcolo del valore di  $F_a$  ed il relativo confronto con il valore di soglia (considerando una variabilità di  $\pm 1$ ) proprio del Comune di Pandino:

È stata effettuata una indagine sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves), presso un area in località Gradella in comune di Pandino (CR).

La prova è stata ubicata come indicato dalla committenza e visualizzato nella scheda allegata a fine testo.

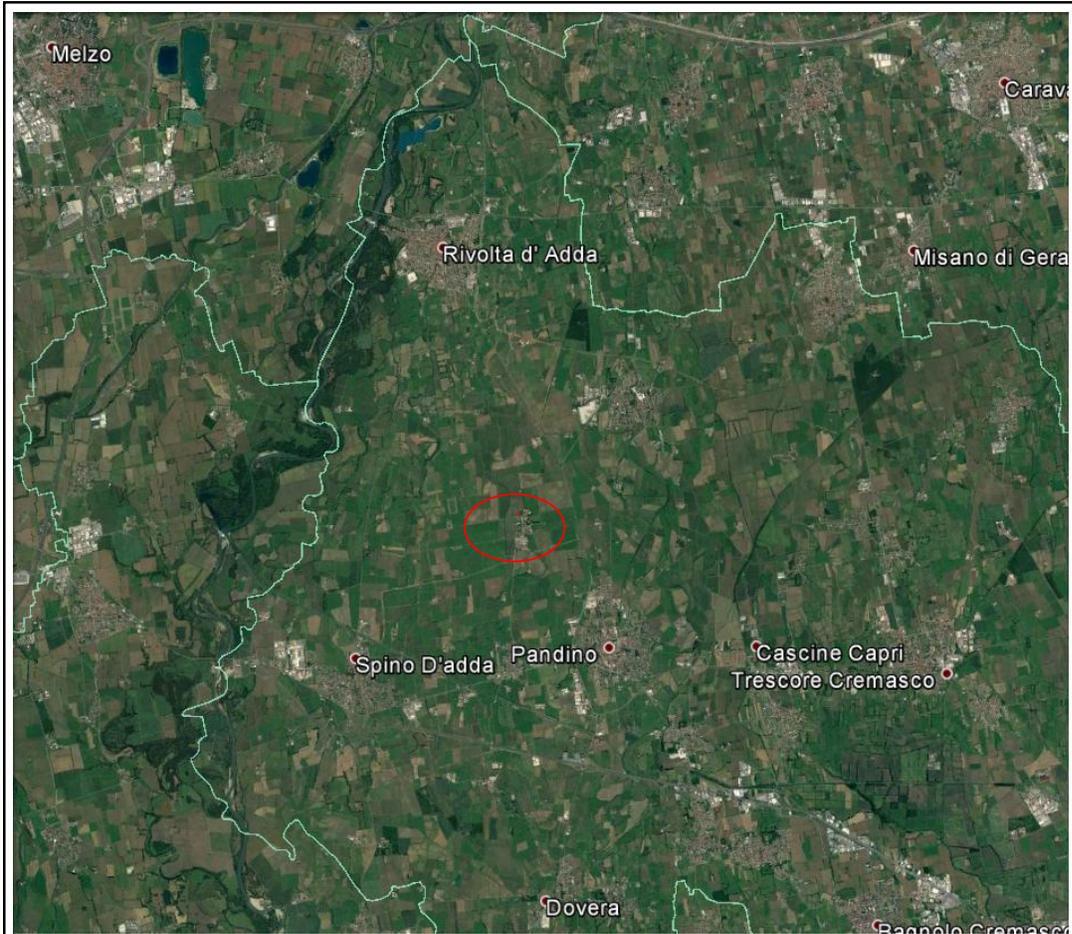


Fig.1 Ubicazione area di indagine

L'indagine MASW è indirizzata a misurare le velocità delle onde sismiche ( $V_s$ ) del sottosuolo e la valutazione del parametro  $V_{s30}$  come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".*

Si ricorda che la normativa richiede l'azione sismica di progetto sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore  $a_g$

dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 1) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove  $V_{S_i}$  e  $h_i$  sono la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello stato  $i$ -esimo.

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30 (m/sec)
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{S_{30}}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S_{30}}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360-800 ( $N_{spt} > 50$ ) ( $C_u > 250$ KPa)
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S_{30}}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180-360 ( $15 < N_{spt} < 50$ ) ( $70 < C_u < 250$ KPa)
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S_{30}}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	<180 ( $N_{spt} < 15$ ) ( $C_u < 70$ KPa)
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_{S_{30}} > 800$ m/s)	
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{S_{30}}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100 ( $10 < C_u < 20$ Kpa)

<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	
-----------	---	--

**Tabella1:** classificazione del tipo di suolo secondo le "Nuove norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008

Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive) mod.

### Caratteristiche attrezzatura

Le indagini in sito sono state eseguite utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24 a 24 canali. Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows xp 32bit
-Canali:	24 (espandili sino a 48)
-Display:	VGA colori LCD_TFT 10,4" touch screen
-Supporto memorizz.:	Hard Disk stato solido
-Risoluzione acquisizione:	6/24 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷65536 ms    Riflessione, 32÷16384 ms,
-Tempi campionamento:	da 125 µs a 2 ms su 24 ch
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz)    Passa    Basso (100÷250 Hz) Notch (50÷180 Hz)
-Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

### Altra strumentazione:

- 24 geofoni da 4,5 Hz
- un cavo con lunghezza 65 m per collegare in serie i geofoni
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.

## Metodologia d'indagine MASW

L'indagine sismica di tipo MASW, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area in oggetto ( $V_{s30}$ ). L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà e/o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro es. Cross-Hole e Down-Hole).

La tecnica sismica Masw, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (*NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; le tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremori di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine, sino alle volte, anche a centinaia di metri (*Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009*) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Inoltre diversi autori (*Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008*), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei per terreni alluvionali, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica ( $>2,5-3$ ) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, ecc.

Valutando le sopracitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo Vs/profondità è stata realizzata una prospezione Masw, (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva).

Dal punto di vista operativo l'indagine è stata eseguita stendendo lungo una linea 24 ricevitori (geofoni), ad una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad una estremità dello stendimento con una mazza su una piastra di alluminio. La distanza tra il punto di energizzazione e il primo geofono è denominata "offset".

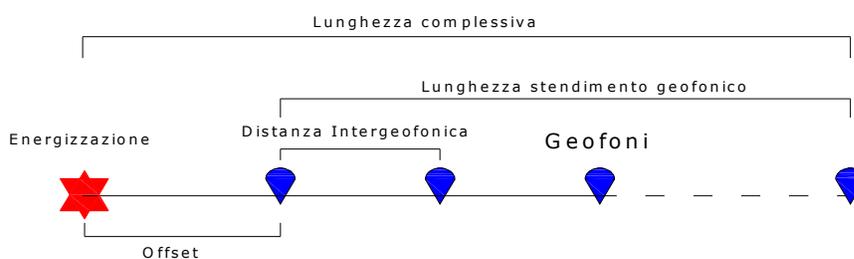


Fig.2 Schema illustrativo prova Masw

La linea Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la con geometria come sotto indicato:

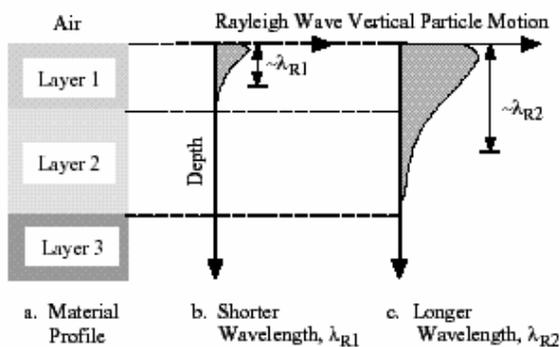
➤ <b>Numero geofoni</b>	<b>24</b>
➤ <b>Distanza Intergeofonica</b>	<b>2,0 m</b>
➤ <b>Lunghezza stendimento geofonico</b>	<b>46 m</b>
➤ <b>Distanza punto di shot da ultimo geofono "offset"</b>	<b>10 m</b>
➤ <b>Lunghezza complessiva</b>	<b>56 m</b>

Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Quindi le basi teoriche della tecnica di Acquisizione delle Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dalle onde P od S degli stendimenti di simica a riflessione o rifrazione). Perciò nell'acquisizione con tecnica Masw, non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi). Nella tecnica Masw non si misurano dei tempi, ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio f-k. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5 m e 3,0 m. (con array a parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0 m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato.

Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende più propriamente dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio  $V_s$  e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione quindi che meglio consente di valutare la profondità di indagine di un'indagine masw, è legata più che alla dimensione dello smentimento, al valore della  $V_s$  assegnata ad una determinata profondità  $z$  dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè :

$$z = \frac{\lambda}{(1,5 / 2,0)}$$

Inoltre si evidenzia che:

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di Rayleigh, costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione  $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$  (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO)

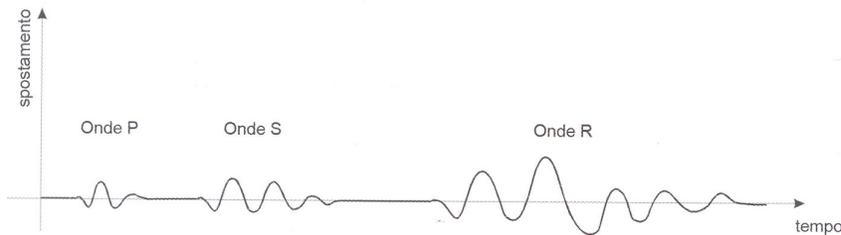


Fig. 3: sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

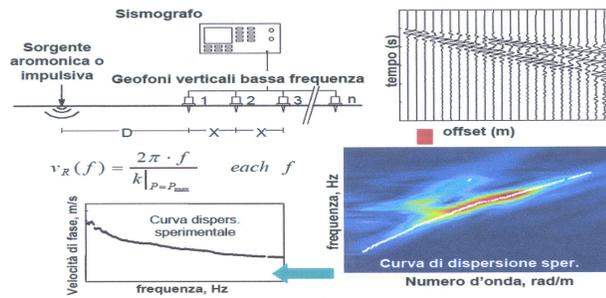
La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di  $V_s$  viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione ( $V_R$  in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura sotto esposta (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:

### tecniche attive - Metodi multistazione



Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici  $V(\text{fase})/f(\text{frequenza})$ , tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili  $V_s$  / profondità.

### Interpretazione dati acquisiti

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

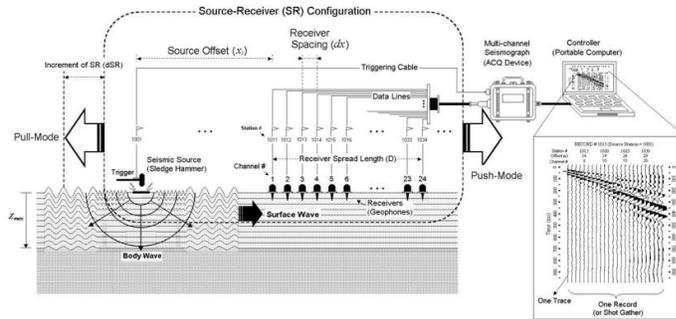
Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.

La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza massima 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità  $V_s$ , ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un massimo di circa 2-3 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, **frequenza (f) – numero d’onda (k)**, le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:  $V_R(f)=f/k$ .

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame, è ottenuto tramite il software (**SWAN@** vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una “analisi spettrale” si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

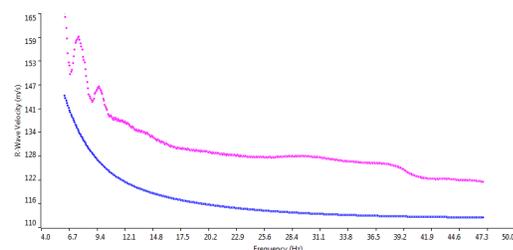
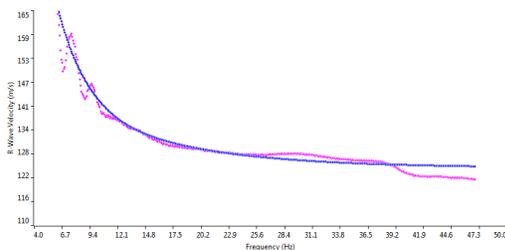
- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per “ottimizzare” i record stessi in modo da migliorare la qualità dell’interpretazione cioè eventuale filtraggio o “pulizia” dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell’onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN@** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l’errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti “try and error”) l’inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito  $\epsilon$  (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere  $< 2-3\%$ . L’inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell’inversione ( $\epsilon_{MIN}$ ) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d’inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30,

assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale cioè l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste *"cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame."*).

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc.) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale.
- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando.
- E' fuorviante e sbagliato attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del  $\pm 10\%$ , quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando  $\cdot 0,9$  le Vs dei singoli strati), perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Infatti ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Match fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate.



<p>Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità. Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve</p>	<p>Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità. Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello NON ACCETTABILE</p>
---	--

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerare indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione; sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0.45-0.48) e  $V_{s30} \approx 190$  m/sec (grafico a sinistra) e  $V_{s30} \approx 170$  m/sec (grafico a destra).

#### **Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto $V_{s30}$ )**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da art. 3.2 del DM 14-1-08) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie, opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.) e delle prove penetrometriche eseguite in sito,

i valori della velocità media delle onde di taglio Vs risultano pertanto:

#### **metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:**

1° strato:	velocità media onde Vs 220 m/sec	spessore medio 1,34 m
2° strato:	velocità media onde Vs 270 m/sec	spessore medio 3,16 m
3° strato:	velocità media onde Vs 400 m/sec	spessore medio 6,30 m
4° strato:	velocità media onde Vs 460 m/sec	spessore medio 11,50 m
5° strato:	velocità media onde Vs 590 m/sec	spessore medio $\geq 7,70$ m

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-3-2003 e art. 3.2.2 DM 14-1-08), ai vari strati sismo stratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità Vs direttamente misurate, consentendo di ottenere la Vs30, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}} \quad \text{dove}$$

hi = spessore dello strato i-esimo

V<sub>si</sub> = velocità onde S nello stato i-esimo

N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti,

Prospezione MASW

$V_{s30} = 419$  m/sec (da p.c. a -30 m)

Si ricorda che in base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC08, "Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse,..",

quindi considerando il piano di posa fondale a - 0,80 m da pc (comunicato dal progettista):

$V_{s30} = 433$  m/sec (da - 0,80. a - 31,80. m)

Da cui si evince che il terreno corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s)

Si ricorda che in base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC08, "Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse,..",

### Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

### Il valore assegnato di amplificazione topografica è $T1 = 1,0$

**Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST**

Categoria topografica Ubicazione dell'opera o dell'intervento ST
T1 - 1,0
T2 In corrispondenza della sommità del pendio 1,2
T3 In corrispondenza della cresta del rilievo 1,2
T4 In corrispondenza della cresta del rilievo 1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove ST assume valore unitario.

### **La scheda di valutazione compatibile con i parametri rilevati dalla prova in oggetto è la "Scheda litologica Sabbiosa"**

Tale scelta è motivata dalla litologia prevalente, dai principali parametri geotecnici e dai valori di  $V_s$  medi che sono visibili in allegato e riportati nelle tabelle e nei grafici relativi alla prova eseguita.

Con periodo proprio di sito **T = 0,191** e suolo tipo **C**

**(la scelta di utilizzare il suolo di tipo C e non il B è motivata dall'aumento della soglia comunale per questa categoria che in tal modo risulta compatibile e verificata anche per Fa 0.1 – 0.5 s)**

**Fa 0.1 – 0.5s= 1,55      valore di soglia comunale = 1,8**

**Fa 0.5 – 1.5s= 1,20      valore di soglia comunale = 2,4**

**Lo scenario descritto dalla categoria C è ben rappresentato dallo spettro di norma.**

## **5. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI**

Con valori di Fa inferiori al valore di soglia comunale la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito .

Non è pertanto necessario, in fase progettuale, procedere alla analisi di 3°Livello o in alternativa utilizzare i parametri di progetto prevista dalla normativa nazionale per la zona sismica 2 anziché quelli della zona sismica 3.

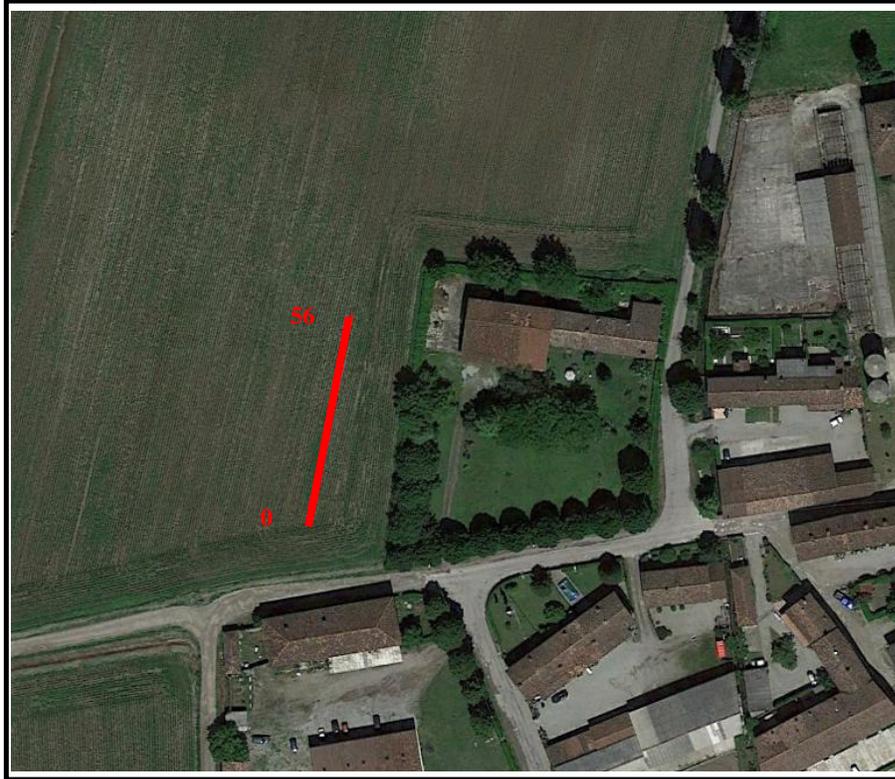
Si rimanda alla relazione geologo tecnica per la caratterizzazione dettagliata del sottosuolo oggetto di intervento.

**Geologo**  
**dott. Mattia Lucchi**  
**Maggio 2017**

Allegati:

- Carta della pericolosità sismica locale
- Prova MASW certificato
- Scheda di valutazione del F.A. (litologia sabbiosa)

**Allegati**



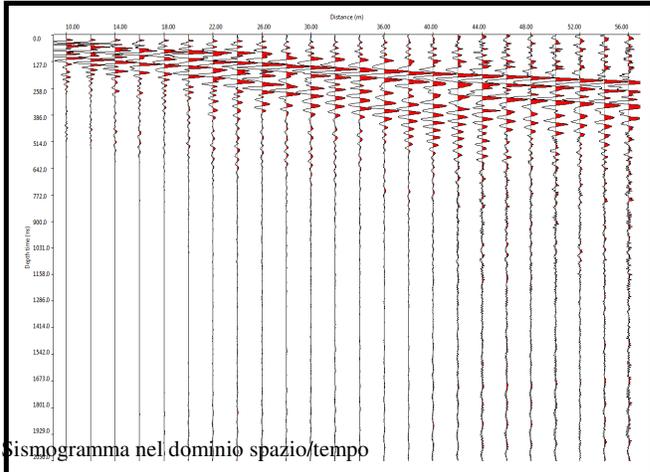
**Ubicazione Masw**

- 0 Punto di Shot
- 56 ubicazione geofono 24

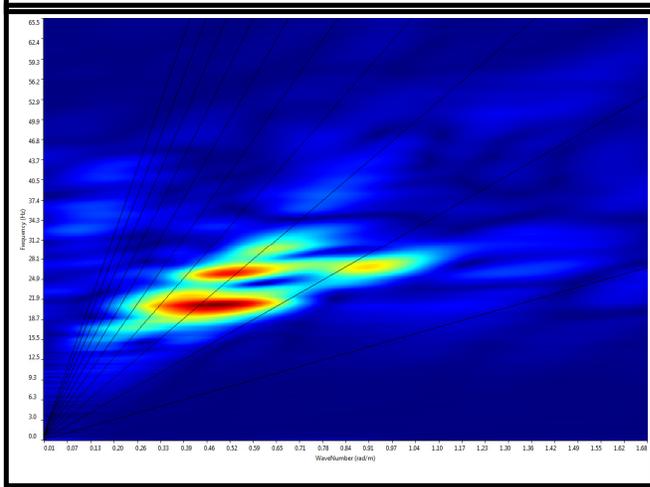


Piazzamento Masw

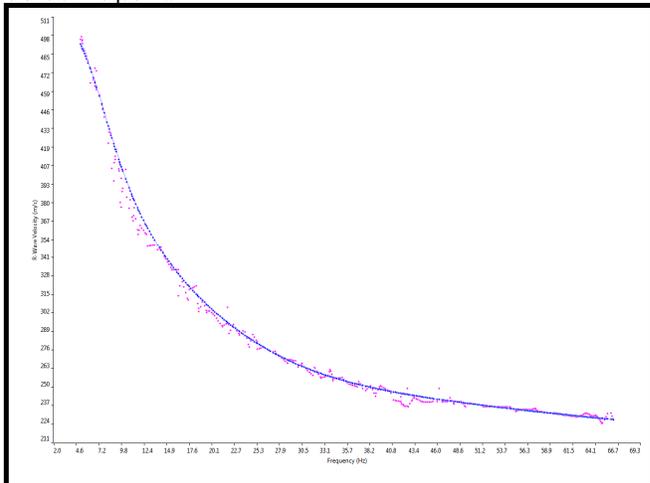
**Scheda Indagine MASW**



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata /curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

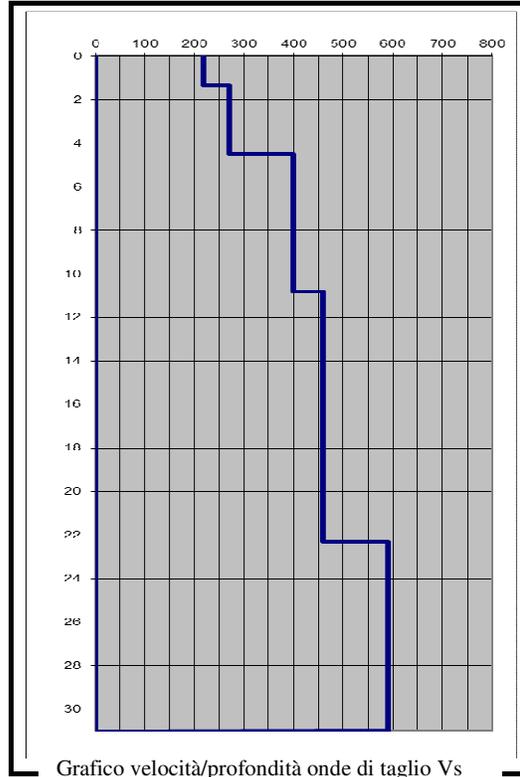


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

**Risultati Elaborazione MASW**

Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0.00	1.34	1.34	220
Strato2	1.34	4.50	3.16	270
Strato3	4.50	10.80	6.30	400
Strato4	10.80	22.30	11.50	460
Strato5	22.30	30.00	≥7.70	590

**$V_{s30} = 419 \text{ m/sec}$**

Che corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **B** (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s)

EFFETTI LITOLGICI - SCHEDE LITOLOGIA SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

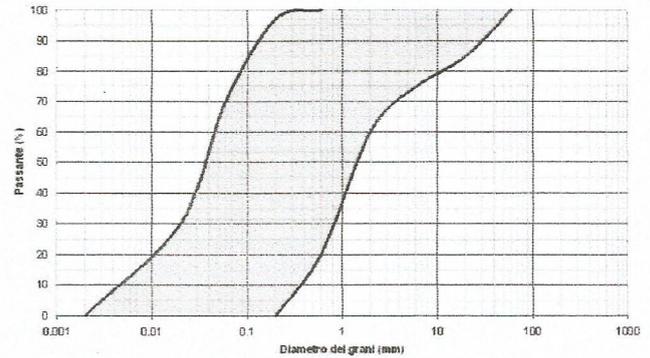
GRANULOMETRIA:

Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

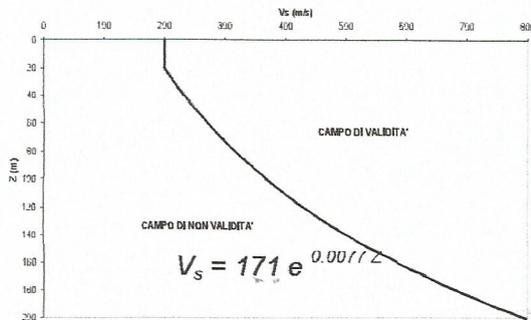
NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Clasti con  $D_{max} > 20$  cm inferiori al 15%
- Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
- Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



ANDAMENTO DELLE  $V_s$  CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA



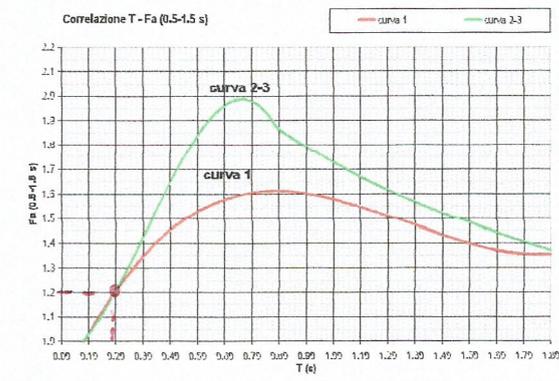
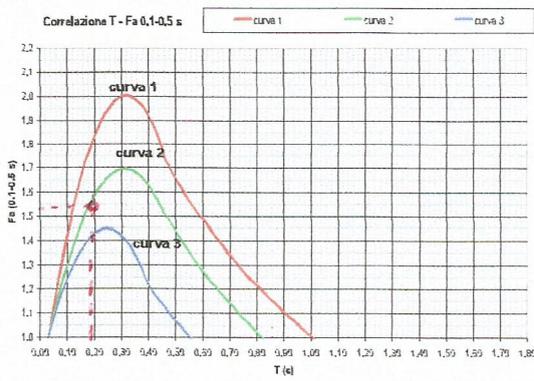
Velocità primo strato (m/s)	Profondità primo strato (m)																					
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3													
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA							
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA					
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA					
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA				
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA		
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA

ove la sigla NA indica  $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1

CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media  $V_s$  minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5-12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.55 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.88 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.52 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$	
2 3	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -5.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$



**COMUNE DI PANDINO (CR)**

**PIANO ATTUATIVO NELL'AMBITO DI TRASFORMAZIONE CR9**

**UBICAZIONE: FRAZ. GRADELLA VIA VALLETTA**

**ESTRATTO DI PLANIMETRIA E UBICAZIONE DELLA PROVE GEOGNOSTICHE**

**Legenda:**



**PROVA SCPT**



**INDAGINE MASW**

**COMUNE DI PANDINO**  
*Provincia di Cremona*

**COROGRAFIA**

scala 1:10.000

**LEGENDA**



ubicazione dell'intervento



Geologo  
dott. Mattia Lucchi

**COMUNE DI PANDINO**  
*Provincia di Cremona*

**Carta della pericolosità  
sismica locale**

scala 1:10.000

**LEGENDA**



Z4a: zona di fondovalle, con  
presenzadi depositi  
alluvionali e/o fluvio  
glaciali granulari e/o coesivi.



Ubicazione MASW



Geologo

dott. Mattia Lucchi

## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': loc Gardella - Pandino

Data: 11/05/2017

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

Profondità della falda = 1.9 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 1

### VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	2	2	4
0.6	7	6	12
0.9	12	10	20
1.2	15	13	26
1.5	14	12	23
1.8	4	3	5
2.1	19	16	27
2.4	24	20	32
2.7	18	15	23
3.0	9	8	12
3.3	9	8	12
3.6	13	11	16
3.9	16	14	19
4.2	17	16	22
4.5	6	6	8
4.8	5	5	7
5.1	10	10	13
5.4	8	8	10
5.7	20	19	23
6.0	28	27	32
6.3	23	25	29

z = profondità

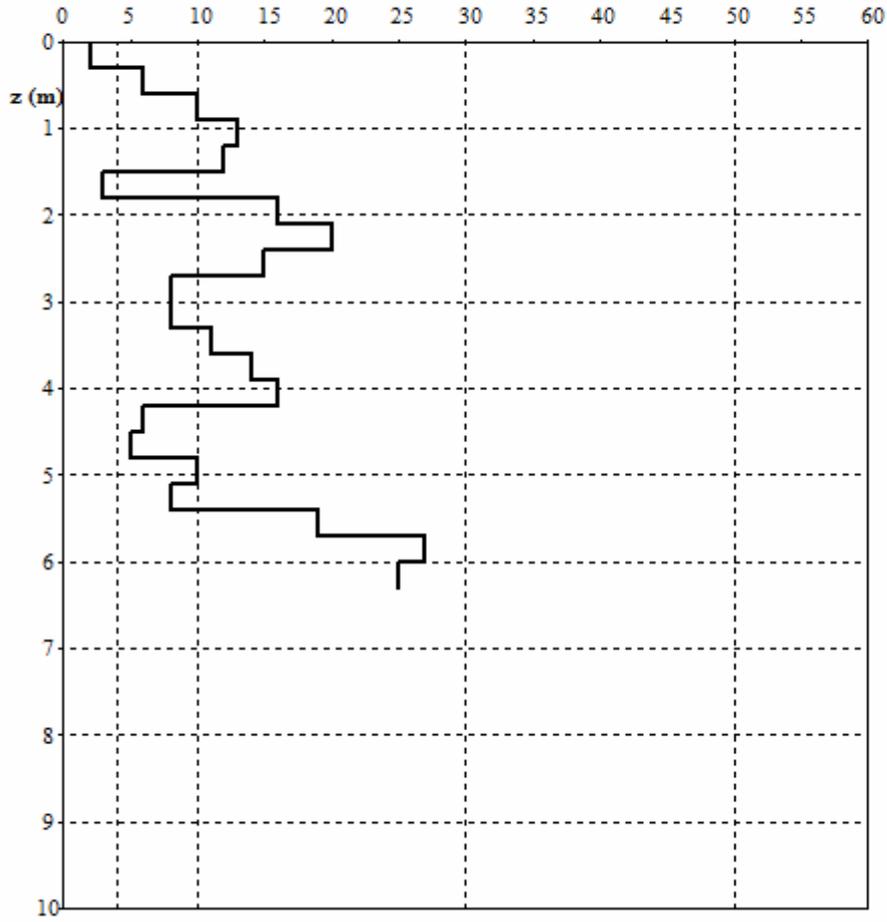
N = numero colpi originale

N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

**Prova penetrometrica dinamica continua 1**  
**loc Gardella - Pandino -**

N60



## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': loc Gardella - Pandino

Data: 11/05/2017

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

Profondità della falda = 1.9 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 2

### VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	2	2	4
0.6	4	3	6
0.9	5	4	8
1.2	2	2	4
1.5	3	3	6
1.8	3	3	6
2.1	5	4	7
2.4	12	10	17
2.7	16	14	23
3.0	11	9	14
3.3	8	7	11
3.6	8	7	11
3.9	5	4	6
4.2	2	2	3
4.5	4	4	6
4.8	6	6	8
5.1	9	9	12
5.4	26	25	33
5.7	23	22	28
6.0	26	25	31
6.3	27	29	35

z = profondità

N = numero colpi originale

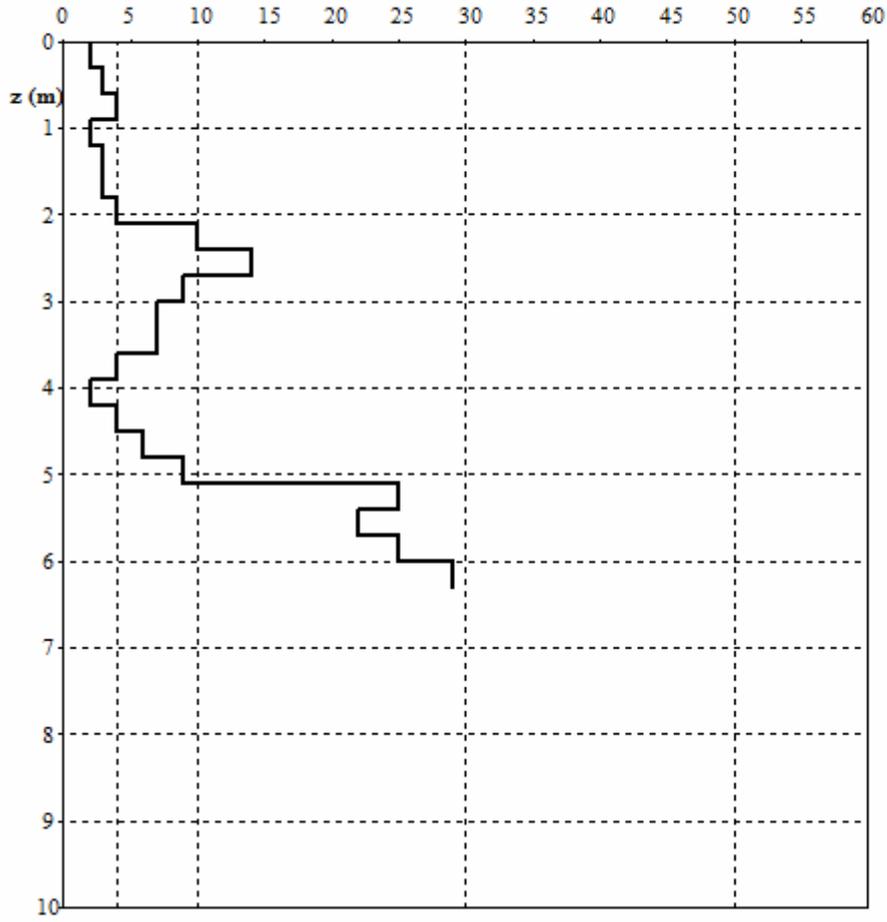
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

**Prova penetrometrica dinamica continua 2**

loc Gradella - Pandino -

N60



## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': loc Gardella - Pandino

Data: 11/05/2017

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

Profondità della falda = 1.9 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 3

### VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	2	2	4
0.6	14	12	24
0.9	7	6	12
1.2	6	5	10
1.5	2	2	4
1.8	1	1	2
2.1	1	1	2
2.4	1	1	2
2.7	1	1	2
3.0	2	2	3
3.3	3	3	5
3.6	8	7	11
3.9	5	4	6
4.2	5	5	7
4.5	3	3	4
4.8	9	9	13
5.1	10	10	14
5.4	11	11	15
5.7	9	9	12
6.0	7	7	9
6.3	11	12	15

z = profondità

N = numero colpi originale

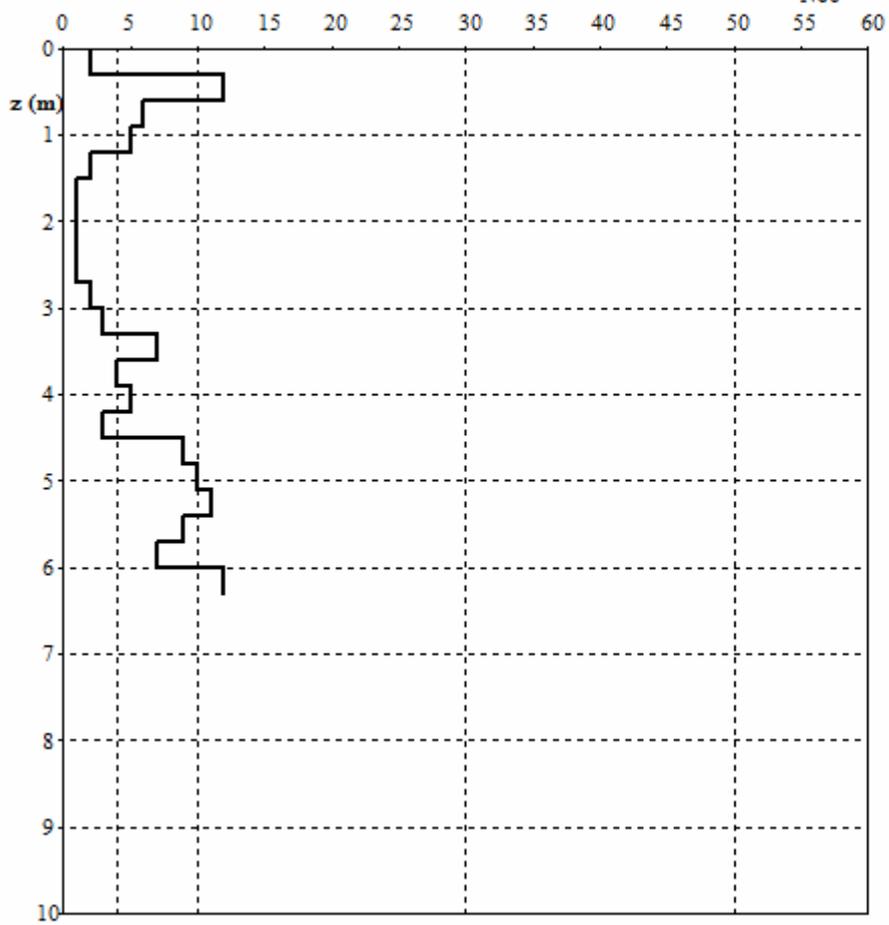
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

**Prova penetrometrica dinamica continua 3**

loc Gradella - Pandino -

N60



## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': loc Gardella - Pandino

Data: 11/05/2017

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

Profondità della falda = 1.9 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 4

### VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	2	2	4
0.6	13	11	22
0.9	18	15	30
1.2	17	14	28
1.5	19	16	30
1.8	24	20	34
2.1	28	24	38
2.4	28	24	37
2.7	25	21	31
3.0	27	23	33
3.3	26	22	30
3.6	20	17	23
3.9	12	10	13
4.2	4	4	5
4.5	3	3	4
4.8	3	3	4
5.1	7	7	9
5.4	12	12	15
5.7	15	14	17
6.0	10	10	12
6.3	10	11	13

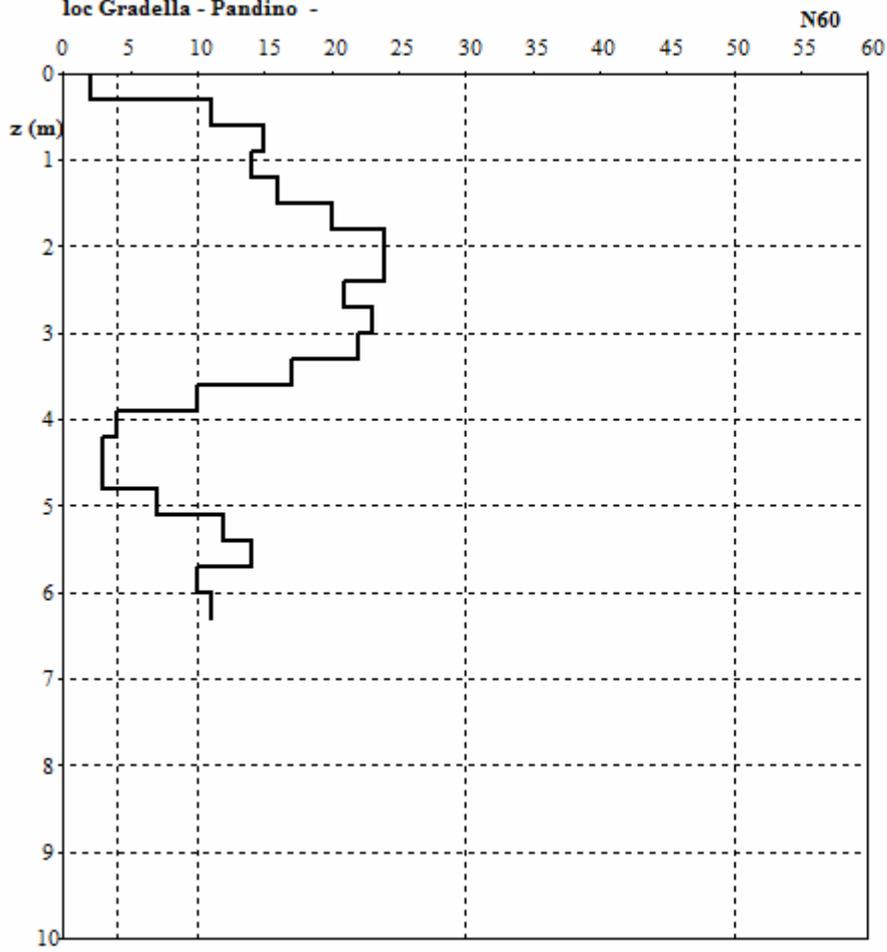
z = profondità

N = numero colpi originale

N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 4  
loc Gradella - Pandino -



## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': loc Gardella - Pandino

Data: 11/05/2017

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

Profondità della falda = 1.9 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 5

### VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	1	1	2
0.6	10	8	16
0.9	7	6	12
1.2	8	7	14
1.5	9	8	16
1.8	3	3	5
2.1	5	4	7
2.4	13	11	18
2.7	19	16	26
3.0	21	18	28
3.3	20	17	25
3.6	36	31	44
3.9	31	26	36
4.2	25	24	32
4.5	21	20	26
4.8	19	18	23
5.1	15	14	17
5.4	7	7	9
5.7	6	6	7
6.0	10	10	12
6.3	17	18	21

z = profondità

N = numero colpi originale

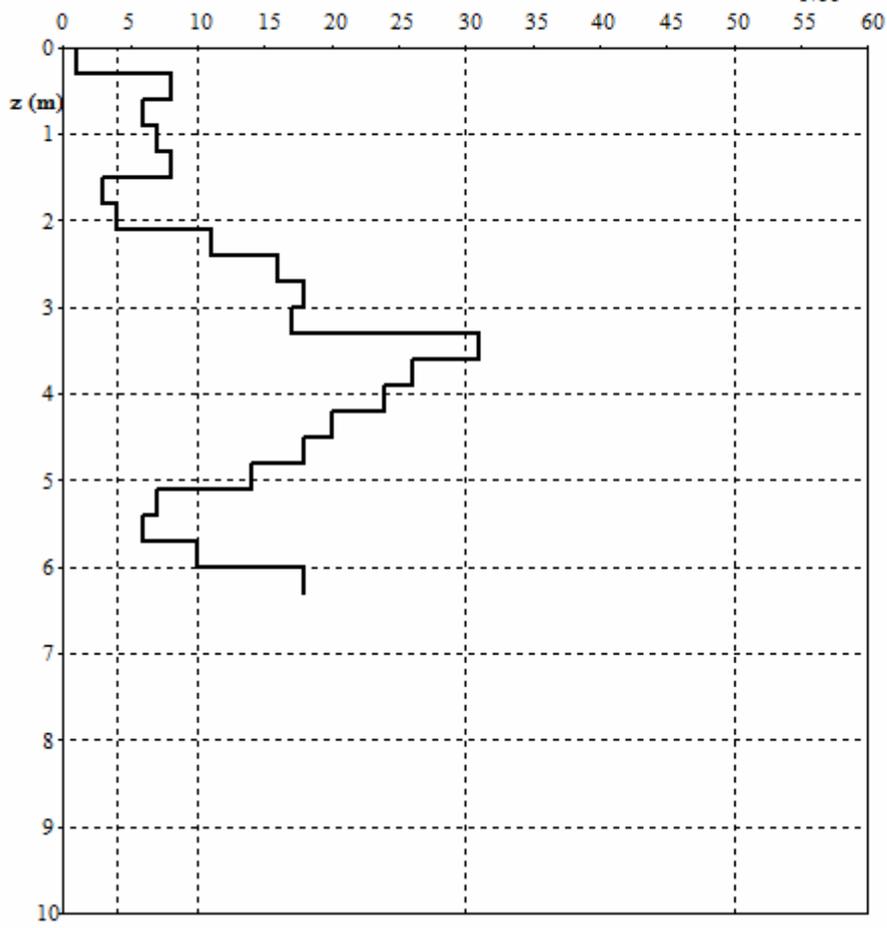
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

**Prova penetrometrica dinamica continua 5**

loc Gradella - Pandino -

N60



## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': loc Gardella - Pandino

Data: 11/05/2017

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

Profondità della falda = 1.9 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 6

### VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	1	1	2
0.6	2	2	4
0.9	4	3	6
1.2	3	3	6
1.5	2	2	4
1.8	5	4	7
2.1	8	7	12
2.4	8	7	12
2.7	17	14	23
3.0	22	19	30
3.3	8	7	11
3.6	3	3	4
3.9	12	10	15
4.2	18	17	24
4.5	13	12	16
4.8	22	21	28
5.1	25	24	31
5.4	19	18	23
5.7	12	12	15
6.0	18	17	21
6.3	18	19	22

z = profondità

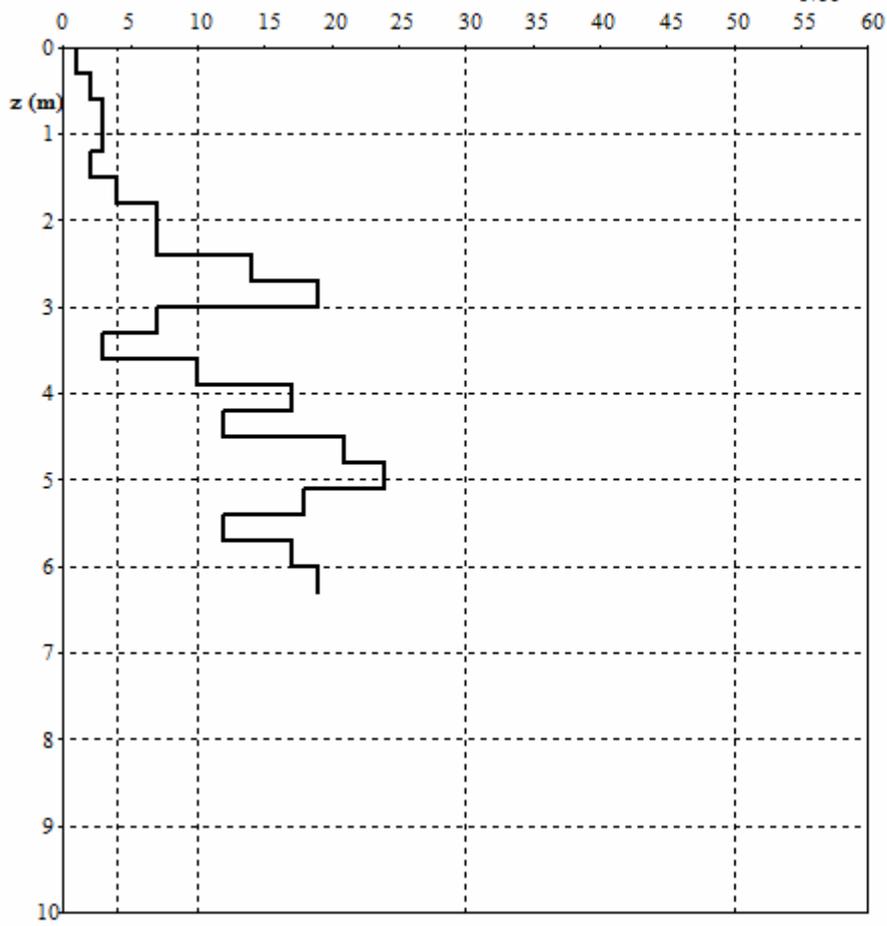
N = numero colpi originale

N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

**Prova penetrometrica dinamica continua 6**  
**loc Gradella - Pandino -**

**N60**



## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': loc Gardella - Pandino

Data: 11/05/2017

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

Profondità della falda = 1.9 m.

ROVA PENETROMETRICA n. 7

### VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	1	1	2
0.6	3	3	6
0.9	5	4	8
1.2	5	4	8
1.5	4	3	6
1.8	9	8	15
2.1	4	3	5
2.4	2	2	3
2.7	15	13	21
3.0	19	16	25
3.3	16	14	21
3.6	12	10	15
3.9	11	9	13
4.2	8	8	11
4.5	7	7	10
4.8	10	10	14
5.1	18	17	22
5.4	20	19	24
5.7	15	14	18
6.0	19	18	22
6.3	23	25	30

z = profondità

N = numero colpi originale

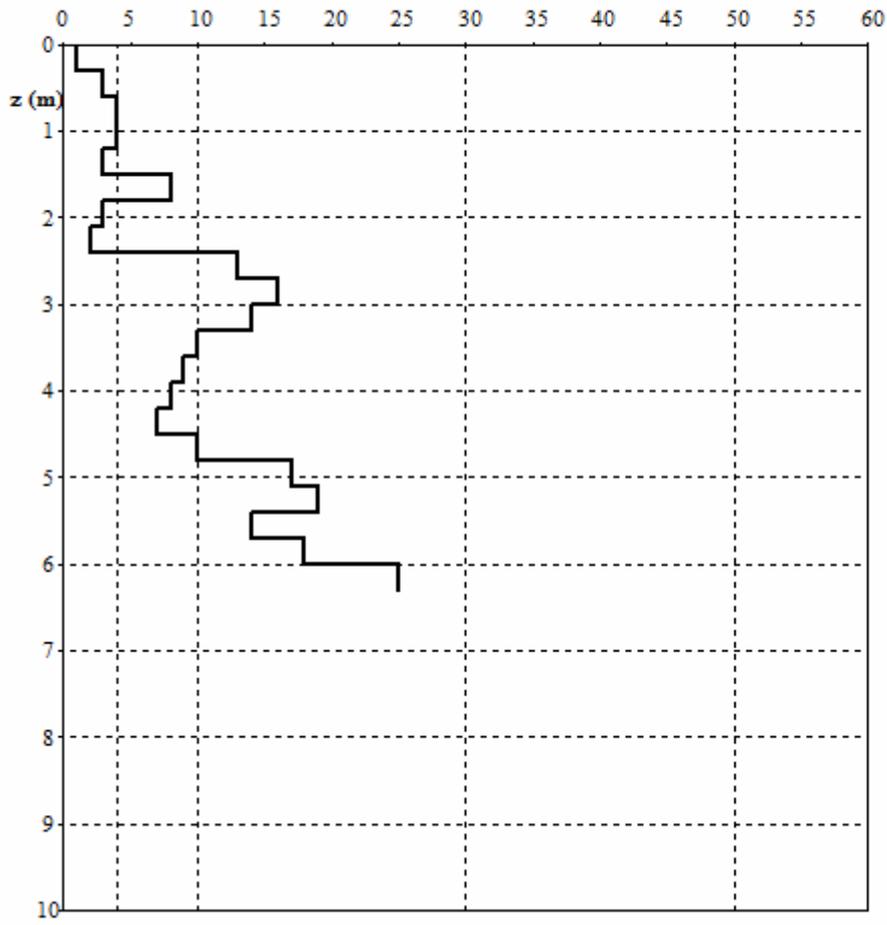
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 7

loc Gradella - Pandino -

N60



## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': loc Gardella - Pandino

Data: 11/05/2017

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

Profondità della falda = 1.9 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 8

### VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	1	1	2
0.6	7	6	12
0.9	8	7	14
1.2	15	13	26
1.5	20	17	33
1.8	17	14	24
2.1	4	3	5
2.4	3	3	5
2.7	5	4	6
3.0	6	5	8
3.3	11	9	14
3.6	10	8	12
3.9	14	12	17
4.2	14	13	18
4.5	14	13	18
4.8	10	10	13
5.1	17	16	21
5.4	11	11	14
5.7	14	13	16
6.0	18	17	21
6.3	12	13	15

z = profondità

N = numero colpi originale

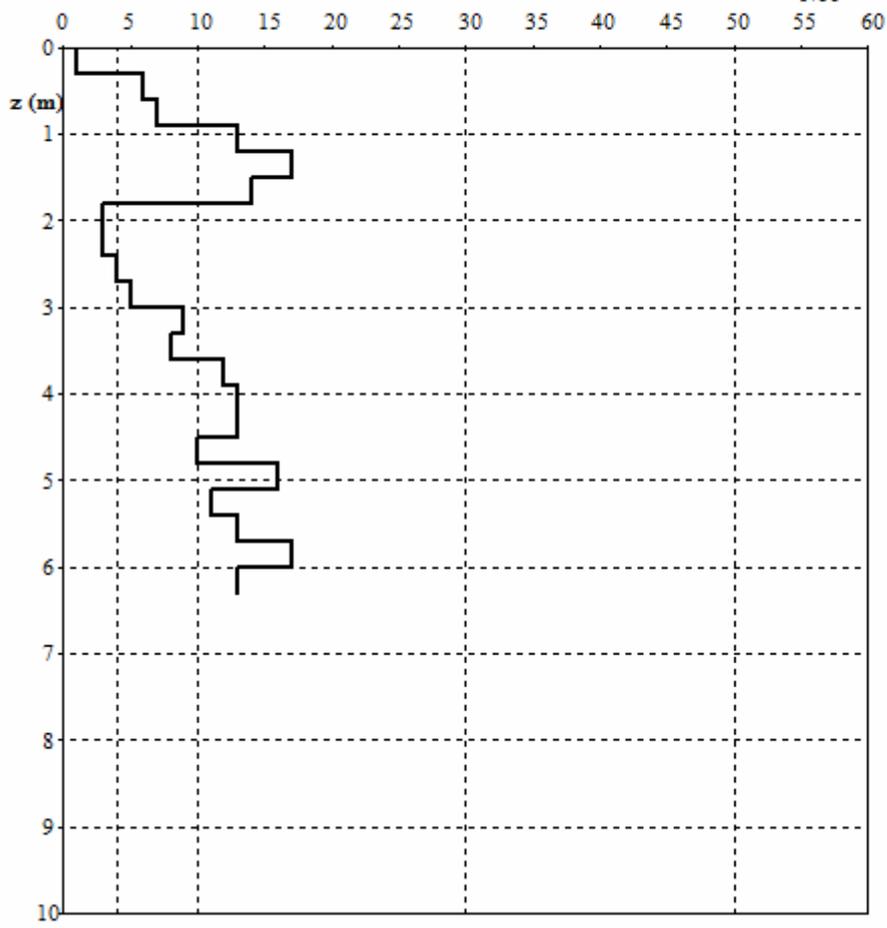
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

**Prova penetrometrica dinamica continua 8**

loc Gradella - Pandino -

N60





1.1 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR IX 2616/2011 all. 5 p.to 2.2

- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS)\*
- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)\*
- Analisi di secondo livello non effettuata

\* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. IX/2616/2011

2. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR IX 2616/2011 p.to 3.1

- 1 senza particolari limitazioni
- 2 con modeste limitazioni
- 3 con consistenti limitazioni
- 4 con gravi limitazioni

2.1 TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR IX 2616/2011 p.to 3.2

- a) Instabilità dei versanti dal punto di vista statico
- b) Vulnerabilità idrogeologica
- c) Vulnerabilità idraulica
- d) Scadenti caratteristiche geotecniche
- nessuna particolare limitazione

**DICHIARA INOLTRE**

C. di aver seguito tutte le prescrizioni previsti dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di PANDINO.....

D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR IX/2616 del 30 novembre 2011:

- Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)
- Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)
- Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)
- Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)
- Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede
- Nessun particolare approfondimento

E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:

- indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo .....
- indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo .....

F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:

- analisi di risposta sismica locale  
 procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo, di cui al punto 3.2.2 delle NTC, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione :  
A      B      C      D      E  
mediante la seguente tipologia d'indagine .....  
la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione

G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:

- analisi di risposta sismica locale  
 procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica, di cui al punto 3.2.2 delle NTC, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione:  
T1      T2      T3      T4  
mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala .....  
la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione

H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:

- esclusione della verifica (punto 7.11.3.4.2 NTC), opportunamente motivata in relazione  
 verifica di stabilità (punto 7.11.3.4.3 NTC) mediante la seguente metodologia .....  
.....

I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:

- senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio  
 previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto  
 previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:  
 non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente  
 sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

#### ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti di cui all'art. 10 della legge 675/96 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Data .....

IL GEOLOGO

\_\_\_\_\_  
(timbro e firma)

### **MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – AMPLIFICAZIONE**

Nel caso di scenari PSL di tipo Z3, Z4 e relativi sottotipi (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616), qualora l'analisi sismica di II° livello non fosse stata eseguita nel sito d'indagine, sebbene obbligatoria, o fosse stata eseguita ma il fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) risulti maggiore del valore di soglia comunale (FAS), \*previo specifica tolleranza ammessa dalla normativa regionale (Allegato 5 D.G.R. IX/2616); tali approfondimenti saranno da prevedere anche nel caso dello scenario PSL di tipo Z5 (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616)

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Modello sismo-stratigrafico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Analisi di II° livello ai sensi dell'Allegato 5 DGR IX/2616 applicata al sito oggetto di intervento, previa verifica dei requisiti di applicabilità, ovvero: 1- Assenza di fenomeni 2D legati alla risonanza di bacino 2- Assenza di inversioni di velocità significative 3- Contrasti di impedenza sismica < 3 4- Valori di $V_{SH} > 250$ m/s		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al $V_{S30}$ misurato <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S30}$ misurato	<input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$  Nel caso non siano disponibili schede di II° livello valide per la situazione investigata o nel caso si voglia aumentare il grado di accuratezza delle previsioni  2° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Non applicabilità dell'analisi di II° livello  Obbligo del 3° grado di approfondimento  Oppure nel caso <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S30}$ misurato  3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input checked="" type="checkbox"/> Indagine sismica di tipo MASW e/o rifrazione onde SH	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Verifica ed integrazione del modello geofisico del sottosuolo e analisi numeriche, utilizzando gli accelerogrammi di input regionali e calcolo di FAC	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input checked="" type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al $V_{S30}$ misurato <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S30}$ misurato	Nel caso <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S30}$ misurato  3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Indagini di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione <b>Fine approfondimento</b>



DICHIARAZIONE / ASSEVERAZIONE DELL'ESTENSORE DELLA RELAZIONE GEOTECNICA DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOTECNICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PUNTO 6.2.2 DELLE N.T.C. DM 14/01/08

Il sottoscritto MATTIA LUCCHI  
iscritto OR. GEOLOGI LOMBARDIA 1214 AP, incaricato in data 05/05/15  
da AZ AGR. GRADELLA S.P.A.

per conto di .....  
di redigere la relazione geotecnica relativa al seguente intervento .....

PIANO ATTUATIVO NELL'AMBITO DI TRASFORMAZIONE CR9

eseguito in Comune di PANDINO Località GRADELLA  
Via VALLETTA n° ..... CAP .....  
Comune Catastale PANDINO..... Foglio n. .... Mappale o Particella .....

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del succitato D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

- A. di aver fatto riferimento al modello geologico desunto da specifica relazione a firma del Geologo MATTIA LUCCHI
- B. di aver redatto il modello geotecnico del sito considerando un volume significativo di terreno compatibile con le caratteristiche dell'intervento e la natura e caratteristiche del sottosuolo
- C. di aver considerato nei relativi calcoli geotecnici l'effetto delle azioni sismiche attese, tenendo adeguatamente in considerazione:
  - 1. gli effetti di amplificazione stratigrafica, attraverso:
    - analisi di risposta sismica locale
    - procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo (punto 3.2.2 delle NTC2008):
      - A       B       C       D       E

2. gli effetti di amplificazione topografica, attraverso:

analisi di risposta sismica locale

procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica (punto 3.2.2 delle NTC2008):

T1

T2

T3

T4

D. di aver adeguatamente tenuto in considerazione i risultati della verifica di sicurezza del terreno di fondazione nei confronti della liquefazione

E. di aver individuato i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

peso dell'unità di volume: 0,80 T/MC CONDIZIONI SATURE.....

angolo di resistenza al taglio: 27,5.....

coesione efficace: .....

coesione non drenata: .....

F. di aver eseguito i calcoli geotecnici:

in condizioni drenate

in condizioni non drenate

G. di avere redatto la presente relazione conformemente a quanto previsto dalle norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14-01-2008

### ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti e delle relative istruzioni applicative.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti di cui all'art. 10 della legge 675/96 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

L'ESTENSORE DELLA RELAZIONE GEOTECNICA

DOTT. GEOL. MATTIA LUCCHI

(timbro e firma)