

**COMUNE DI CASALGRANDE  
PROVINCIA DI REGGIO EMILIA  
REGIONE EMILIA ROMAGNA**



**MODELLAZIONE GEOLOGICA E SISMICA DI UN'AREA UBICATA  
IN VIA TURATI IN COMUNE DI CASALGRANDE (RE),  
LOC. SANT'ANTONINO**

COMMITTENTE:



Sede Legale:

Via Panaria Bassa, 22/A  
41034 Finale Emilia (MO)

**IL TECNICO**

Dott. Geol. Fabio Parmeggiani

Giugno 2014



## Sommario

<b>1. Premessa .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Inquadramento geografico ed individuazione dell'area .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Analisi della Pianificazione Territoriale e dei vincoli presenti sull'area .....</b>	<b>5</b>
2.1.1. P.T.C.P. della Provincia di Reggio Emilia .....	5
2.1.2. PRG 2013 del Comune di Casalgrande .....	9
<b>3. Realizzazione delle indagini geologiche, geotecniche e geofisiche .....</b>	<b>10</b>
<b>4. Modellazione sismica .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1. Classificazione sismica .....</b>	<b>11</b>
<b>4.2. Misure sismiche .....</b>	<b>12</b>
4.2.1. Classificazione del suolo di fondazione (MASW) .....	12
4.2.2. Misure passive a stazione singola (HVSr) .....	12
<b>4.3. Pericolosità sismica di base .....</b>	<b>14</b>
4.3.1. Pericolosità sismica di sito .....	15
<b>4.4. Valutazione dei coefficienti di amplificazione sismica .....</b>	<b>21</b>
<b>5. Modellazione geologica .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1. Geologia e geomorfologia generale .....</b>	<b>22</b>
<b>5.2. Geologia e geomorfologia del sito .....</b>	<b>23</b>
<b>5.3. Litologia di superficie .....</b>	<b>24</b>
<b>5.4. Idrografia .....</b>	<b>24</b>
<b>5.5. Idrogeologia .....</b>	<b>25</b>
<b>5.6. Caratterizzazione del primo sottosuolo .....</b>	<b>27</b>
5.6.1. Ricostruzione litostratigrafica .....	27
5.6.2. Prove penetrometriche statiche .....	28
<b>6. Elaborazione dei dati .....</b>	<b>32</b>
<b>6.1. Valori caratteristici e valori di progetto .....</b>	<b>34</b>
<b>7. Analisi del rischio liquefazione .....</b>	<b>37</b>
<b>8. Pericolosità geologica e problematiche geologico-tecniche .....</b>	<b>37</b>
<b>8.1. Rischio idraulico / idrologico / idrogeologico .....</b>	<b>37</b>
<b>8.2. Rischio dissesto e movimenti gravitativi .....</b>	<b>37</b>
<b>8.3. Vulnerabilità ambientale .....</b>	<b>37</b>
<b>9. Conclusioni .....</b>	<b>38</b>

### ALLEGATI

- Prove penetrometriche
- Relazione sismica relativa alle prove MASW e HVSr

## **Modellazione geologica e sismica di un'area ubicata in via Turati in Comune di Casalgrande (RE), Loc. Sant'Antonino**

### **1. Premessa**

Su incarico della Committente, Immobiliare Gemma Spa, e in accordo con il progettista, è stata redatta la seguente modellazione geologica e sismica di un'area ubicata in Comune di Casalgrande (RE), in Via Turati in Località Sant'Antonino. Nell'area, attualmente utilizzata a seminativo, si prevede la realizzazione di una strada di ingresso al sito industriale, di un parcheggio adibito a magazzino esterno per piastrelle e a zona di carico e scarico degli automezzi e di un edificio a 1 piano da adibire a portineria – ufficio spedizioni.

Tale studio é stato effettuato nello spirito ed ai sensi delle seguenti circolari, Leggi, Deliberazioni, Decreti ed opere di pianificazione territoriale:

- Circolare R.E.R. n. 3891 del 21.03.1974
- L.R. n. 20 del 24/03/00 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" e ss.mm.e ii,
- L.R. n. 19 del 30/10/ 08 "Norme per la riduzione del rischio sismico"
- L.R. n. 6 del 06/07/09 "Governo e riqualificazione solidale del territorio"
- Indicazioni illustrative delle innovazioni in materia di governo del territorio introdotte dai Titoli I e II della L.R. n. 6 del 2009.
- Delibera della Giunta RER n. 1677 del 24/10/2005 – "Prime indicazioni applicative in merito al decreto ministeriale 14 settembre 2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni"
- Ordinanza del PCM n. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- O.P.C.M. 3519/06
- Delibera dell'Assemblea legislativa progr. n°112 - oggetto n° 3121 del 2 maggio 2007 della Regione Emilia Romagna contenente l'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" e relativi allegati
- D.M. 14/01/2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008)
- Circolare n° 617 del 02/02/2009 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici "Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale" Allegato al voto 36 del 27/07/2007
- P.T.P.R. vigente;
- P.A.I. vigente
- P.T.C.P. vigente (P.T.C.P.2010)
- P.S.C. e R.U.E. vigenti
- Linee guida per l'applicazione delle NTC 2008 (Ordine dei Geologi), gennaio 2011

La modellazione geologica e sismica dei terreni del primo sottosuolo è stata effettuata:

- procedendo all'esecuzione di n. 1 prova penetrometrica statica (CPT 1);
- effettuando una misurazione della velocità delle onde sismiche nel primo sottosuolo (MASW)
- effettuando una misurazione del rumore sismico ambientale (HVSr)

## 2. Inquadramento geografico ed individuazione dell'area

L'area oggetto di studio è situata in via Turati, nel Comune di Casalgrande (RE), in località Sant'Antonino. Nella cartografia della Regione Emilia Romagna l'area è individuabile nelle seguenti carte:

1:25.000	Tavoletta 219 NO "Sassuolo" (figura 1)
1:10.000	Sezione 219020 "Villalunga"
1:5.000	Elemento 219023 "Villalunga" (figura 2)

L'area è posta in prossimità del limite dell'alta pianura reggiano-modenese, ad una quota di circa 130 m slm.

**L'area in oggetto è assimilabile alla categoria topografica T1.**

il valore del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1.0$

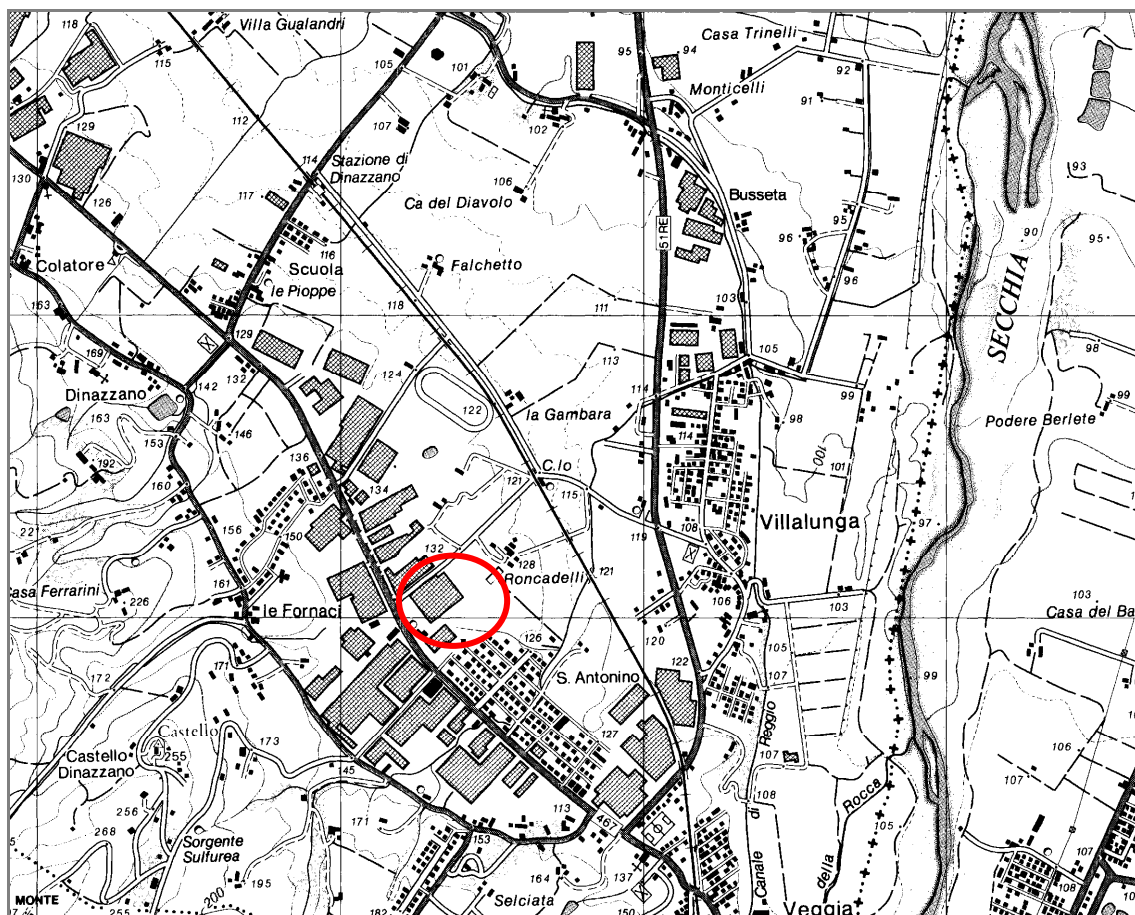
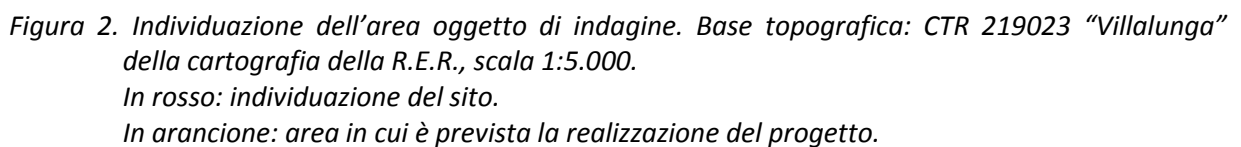


Figura 1. Ubicazione dell'area, scala 1:25.000. Base topografica: CTR 219 NO "Sassuolo"





## 2.1. Analisi della Pianificazione Territoriale e dei vincoli presenti sull'area

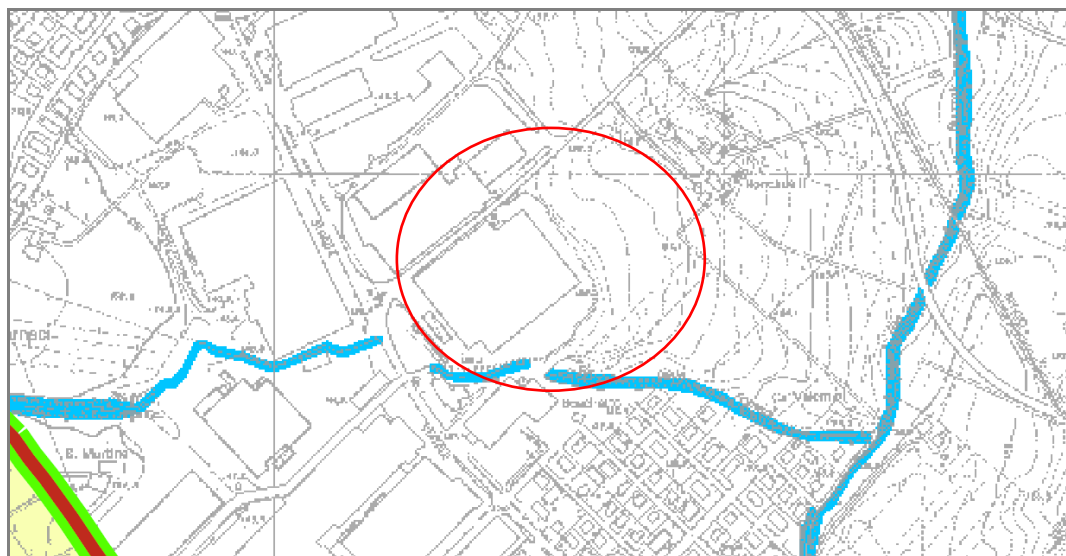
### 2.1.1. P.T.C.P. della Provincia di Reggio Emilia

Con riferimento agli strumenti della pianificazione territoriale della Provincia di Modena, in particolare al PTCP 2009, l'area in oggetto presenta le seguenti caratteristiche:

- Tavola P4 "Carta dei beni paesaggistici del territorio provinciale"  
Nessun vincolo rilevato.



- Tavola P5a "Zone, sistemi ed elementi della tutela paesaggistica"  
L'area non risulta soggetta a vincoli specifici

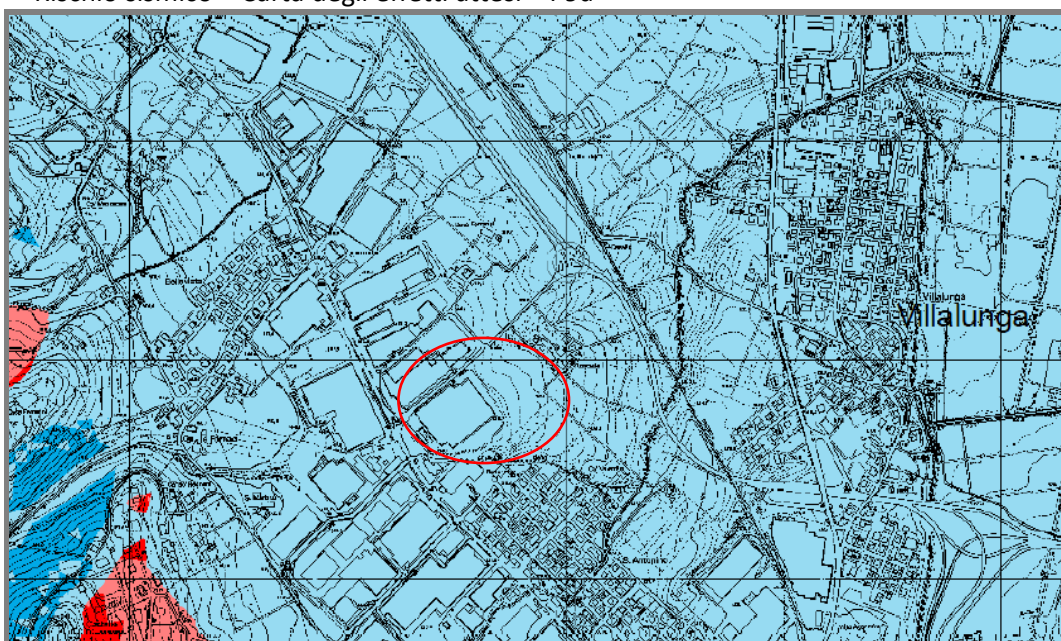


— Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua (art. 41)

➤ Tavola P5b "Sistema forestale e boschivo"



- L'area in oggetto non rientra nelle zone comprese nella Carta inventario del dissesto (PAI-PTCP) – P6;
- L'area in oggetto non rientra nelle zone comprese nella Carta di delimitazione delle fasce fluviali (PAI-PTCP) – P7;
- L'area in oggetto non rientra nell'Atlante delle Aree a Rischio Idrogeologico molto elevato (ex PS267) – P8;
- Rischio sismico – Carta degli effetti attesi – P9a

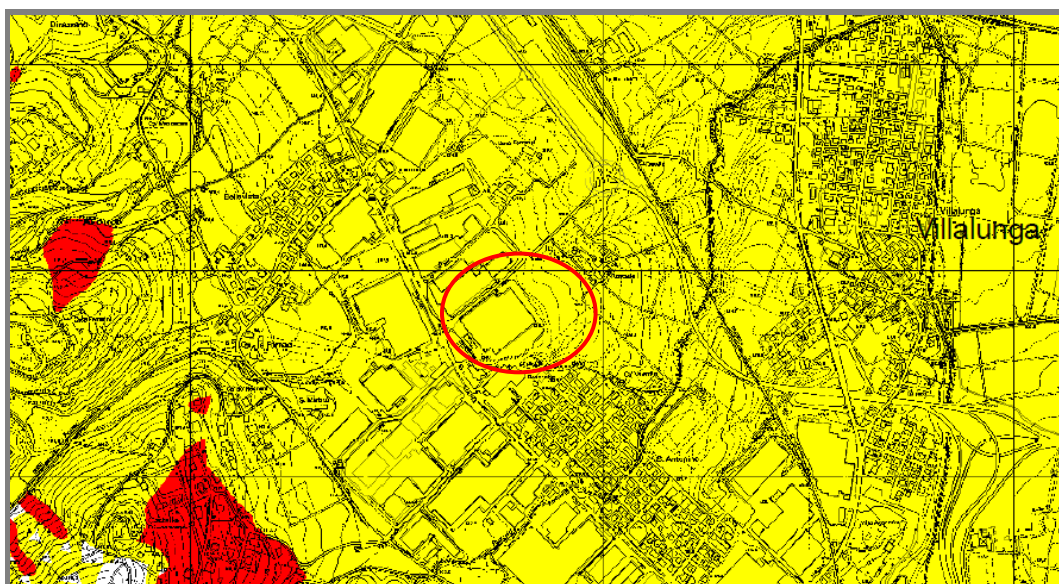


Classi degli effetti attesi

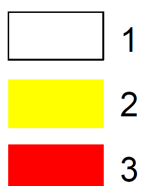


		EFFETTI ATTESI				
CLASSI		AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	INSTABILITA' DI VERSANTE	CEDIMENTI	LIQUEFAZIONE
		A	X		X	
	B	X		X		
	C	X				
	D	X	X			
	E		X			
	F	X				X
	G	X			X (potenziale)	
	H					

➤ Rischio sismico – Carta dei livelli di approfondimento – P9b;

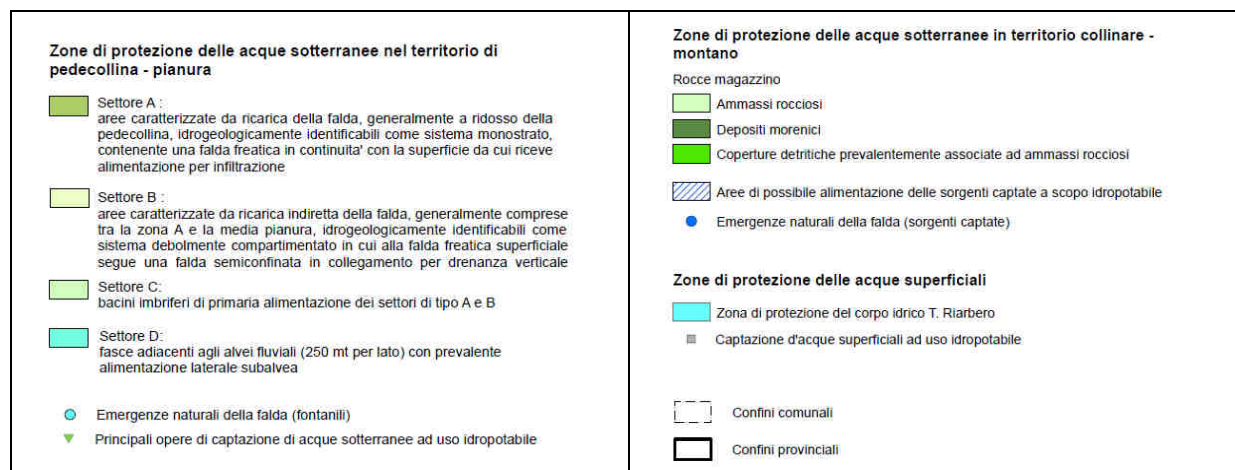
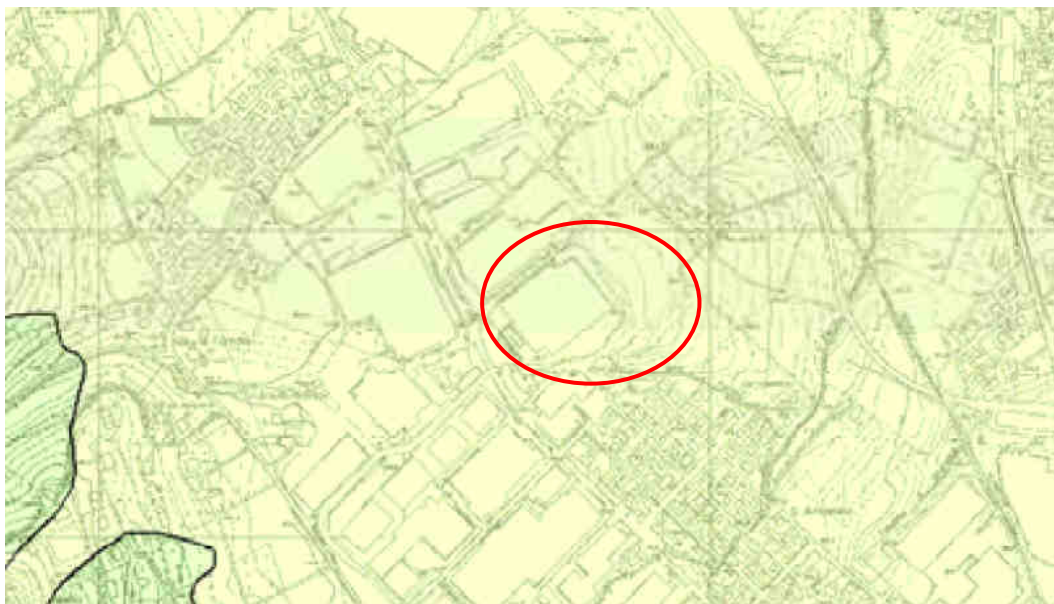


LIVELLI DI APPROFONDIMENTO



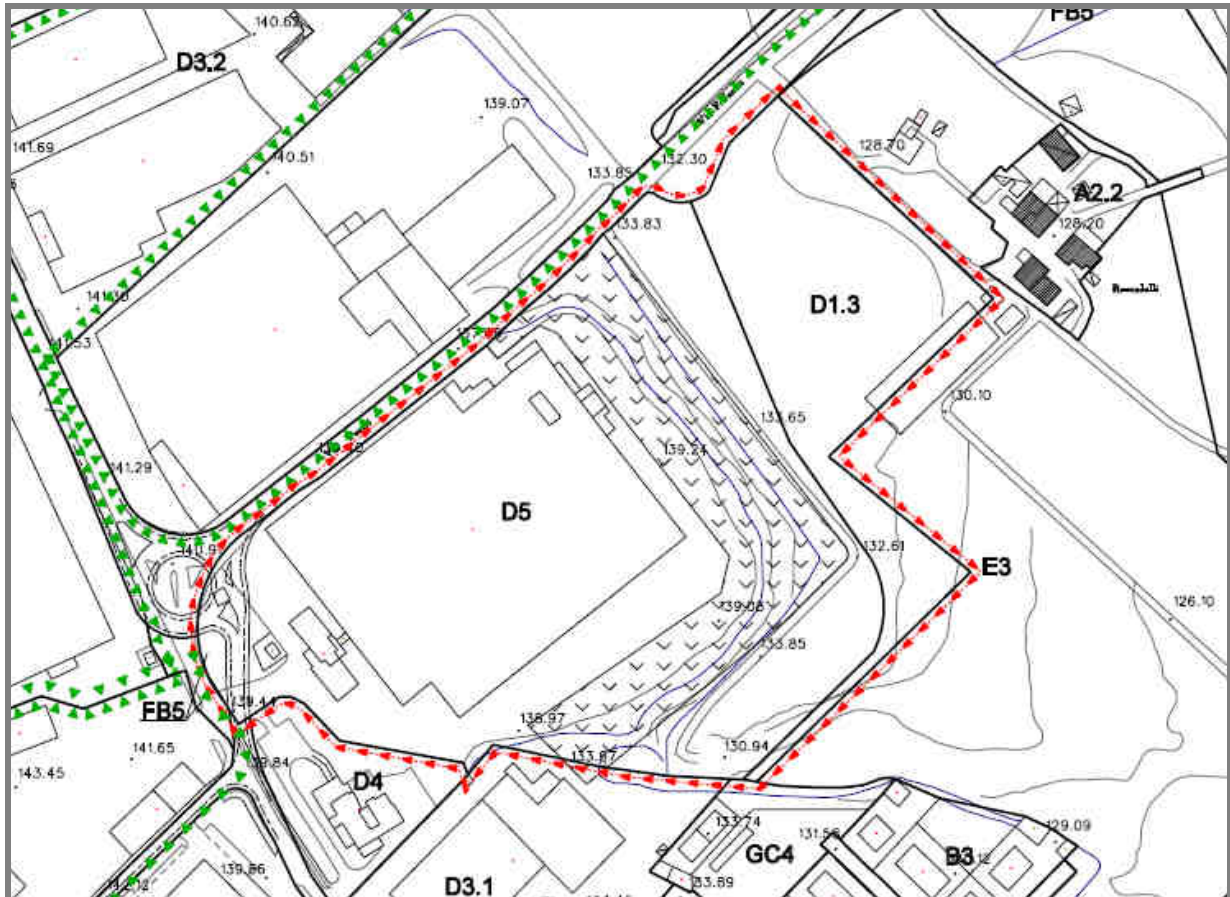


➤ Carta delle tutele delle acque sotterranee e superficiali – P10;



### 2.1.2. PRG 2013 del Comune di Casalgrande

Nel PRG del Comune di Casalgrande (tavola P12 del Gennaio 2001 – Aggiornamento del 27 Marzo 2013) l'area in oggetto è classificata come sottozona D1.3 – Depositi a cielo aperto, connessi all'attività produttiva (Art. 85).



**PRG Aggiornamento 2013 Comune di Casalgrande:**

**Art.85 - Depositi a cielo aperto, connessi all'attività produttiva (sottozona D1.3)**

1. *La Variante Generale all'P.R.G. individua porzioni di territorio specificamente destinate all'attività di deposito all'aperto di prodotti ceramici o funzionali ad altre attività produttive o commerciali. Tali aree sono funzionalmente connesse con l'attività industriale principale, ma non sono edificabili.*
2. *Le sottozone D1.3 sono soggette alle seguenti prescrizioni:*
  - *sistemazione dei lati lungo le strade pubbliche con barriera vegetale che deve costituire schermatura visiva permanente; la scelta delle essenze e le modalità di realizzazione delle barriere vengono individuate in apposito abaco di soluzioni tecniche predisposto dall'Amministrazione Comunale in attuazione delle presenti disposizioni;*
  - *dovranno essere schermate con opportuna barriera vegetale anche i lati dei comparti che prospettano su zone urbanistiche diverse da quelle produttive (agricole, residenziali ecc.)*
  - *previsione di una quota almeno pari al 15% dell'intera sottozona da destinare a verde (all'interno della quale prevedere la barriera vegetale di cui al punto precedente);*
  - *separazione dalle zone destinate a parcheggio (da attrezzare con specifiche opere di arredo urbano), e impermeabilizzazione della zona destinata a deposito e movimentazione delle merci.*



### 3. Realizzazione delle indagini geologiche, geotecniche e geofisiche

Per indagare la natura del primo sottosuolo e determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti in data 07/06/2014 sono state appositamente eseguite n° 3 prove penetrometriche statiche (CPT ovvero Cone Penetration Test) a punta meccanica. Per realizzare le prove è stato utilizzato un penetrometro Pagani ST100, utilizzato dal Dott. Geol. Francesco Dettori. Per l'elaborazione delle prove penetrometriche (CPT) è stato utilizzato il software Static Probing della GeoStru Software. I valori numerici e i grafici delle prove sono stati riportati in allegato.

Per determinare la categoria di sottosuolo e conoscere la velocità delle onde sismiche nei primi 30 m di profondità in data 14/06/2014 è stata realizzata una prova MASW utilizzando un sismografo digitale Dolang, modello DBS280, a 24 canali, dotato di cavi di 60 metri e di geofoni da 4,5 Hz, per una lunghezza complessiva di 34,5 m di stendimento (1,5 m di distanza intergeofonica). Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza da 10 Kg battente su piastra.

In aggiunta sono state eseguite tre acquisizioni di micrortemori a stazione singola (HVSr) È stato utilizzato un sismografo a tre canali, munito di terna triassiale di geofoni caratterizzati da frequenza di taglio di 4,5 Hz, modello Geobox della ditta Sara Electronics Instruments di Perugia.

L'ubicazione delle prove effettuate è stata riportata in figura 3, in cui risultano:

- Gli edifici presenti nell'area (foto Google Earth di maggio 2003)
- l'ubicazione delle prove penetrometriche statiche effettuate in data 07.06.2014 (in giallo)
- l'ubicazione dello stendimento MASW (linea rossa) e delle misure di rumore sismico ambientale (HVSr, in verde)



Figura 4. Ubicazione delle prove penetrometriche statiche effettuate (in giallo), dello stendimento MASW (in rosso), delle misurazioni di rumore sismico ambientale (HVSr 1-3, in verde). Foto tratta da Google Earth, immagine Digital Globe acquisita in data 04/05/2003.

## 4. Modellazione sismica

### 4.1. Classificazione sismica

La classificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003) prevede che tutto il territorio nazionale sia classificato sismico, con diversi gradi di pericolosità.

In Emilia-Romagna, con l'applicazione della **classificazione sismica**, attualmente 105 comuni sono classificati in zona 2 (praticamente tutta la Romagna, il settore orientale della Provincia di Bologna, il comprensorio delle ceramiche modenese-reggiano, alcuni comuni del crinale toso-emiliano delle Province di Modena, Reggio Emilia e Parma), 214 comuni in zona 3 e i rimanenti 22 comuni in zona 4 (tutti in pianura: l'estremità nord-occidentale delle Province di Piacenza, alcuni comuni in prossimità del Po, nelle Province di Piacenza, Reggio Emilia e Ferrara, e la zona del delta del Po).

Nel DM 14.09.2005 ("Norme Tecniche per le Costruzioni" - prima versione), poi sostituito dal D.M. 14.01.2008 vigente "Norme Tecniche per le Costruzioni" le norme tecniche includono tra le referenze tecniche essenziali anche l'Ordinanza n. 3274/2003 e s.m.i e diventa obbligatoria la progettazione antisismica per tutto il territorio nazionale, facendo riferimento alle zone sismiche di cui alla OPCM 3274/2003.

#### **Secondo la classificazione vigente, il territorio del comune di Casalgrande ricade in Zona 2.**

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche, a ciascuna delle quali è assegnato un intervallo di valori dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni; in particolare, per la determinazione delle azioni sismiche, risulta assegnato un valore ( $a_g / g$ ), di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, diverso per ogni zona sismica.

I valori di  $a_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

Zona	Valore di $a_g$
1	0,35g
<b>2</b>	<b>0,25g</b>
3	0,15g
4	0,05g

Dal momento che il Comune di Casalgrande ricade in zona 2,  **$a_g = 0,25 g$**

I terreni presenti nell'area di indagine devono essere quindi classificati sulla base di  $V_{s30}$  (velocità media di propagazione entro i primi 30 m di profondità delle onde di taglio) o altrimenti sulla base della  $c_u$ , per i terreni prevalentemente coesivi.

In base a questi parametri sono state distinte diverse categorie di suolo di fondazione con velocità decrescenti, dalla A (velocità maggiori 800 m/s, tipiche di un substrato rigido) fino alla D (< 180 m/s), e alcune categorie particolari (E, S1, S2).



## 4.2. Misure sismiche

### 4.2.1. Classificazione del suolo di fondazione (MASW)

Per determinare la velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità e poter classificare la categoria del suolo di fondazione, è stata realizzata una prova MASW. Con questa tecnica è possibile realizzare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo.

Per realizzare le misurazioni è stata utilizzata una strumentazione a 24 canali.

I dettagli della strumentazione la relazione sulle misure sismiche effettuate sono riportati in allegato.

La prova MASW, come indicato in Allegato, ha fornito un valore di  $V_{s30}$  pari a

$V_{s30}$  a partire da p.c.: 358 m/s

$V_{s30}$  a partire da -1m da p.c.: 375 m/s

$V_{s30}$  a partire da -2 m da pc.: 394 m/s.

Le velocità risultano crescenti con la profondità.

In base a questa misura, **nel caso di fondazioni superficiali**

**la categoria di suolo di fondazione è la C**

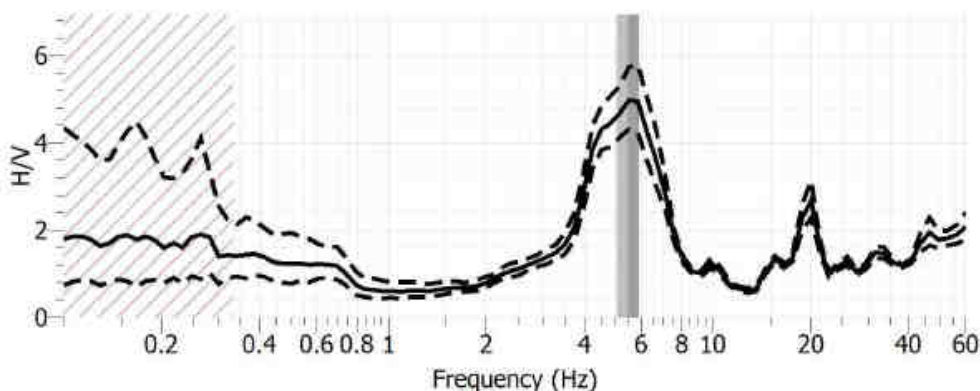
definita come: “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < C_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina). (NTC 2008, Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo).

Sulla base delle misure effettuate le  $V_{s,30}$  risultano al limite tra i terreni di categoria C e quelli di categoria B. Cautelativamente si ritiene opportuno classificarli nella categoria qualitativamente peggiore, ovvero la C.

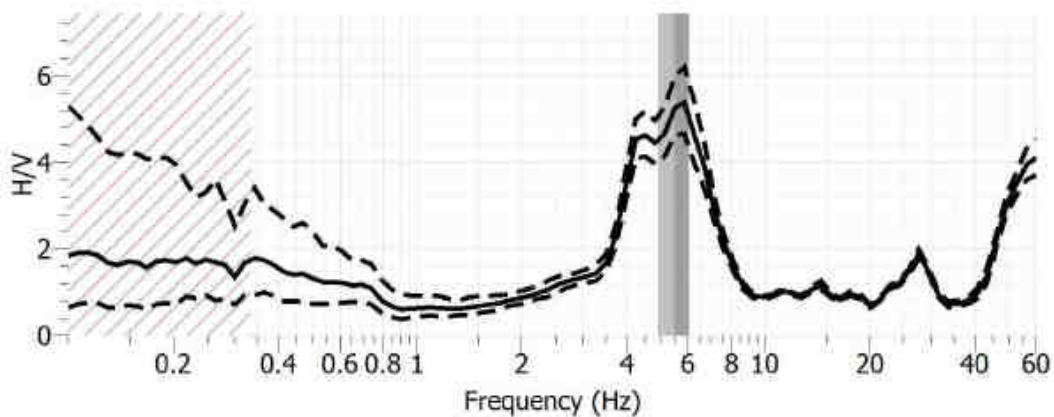
### 4.2.2. Misure passive a stazione singola (HVSr)

In due diverse giornate sono state eseguite tre misure di microtremori a stazione singola ubicate in prossimità dello stendimento MASW. L'elaborazione delle prove è riportata in allegato.

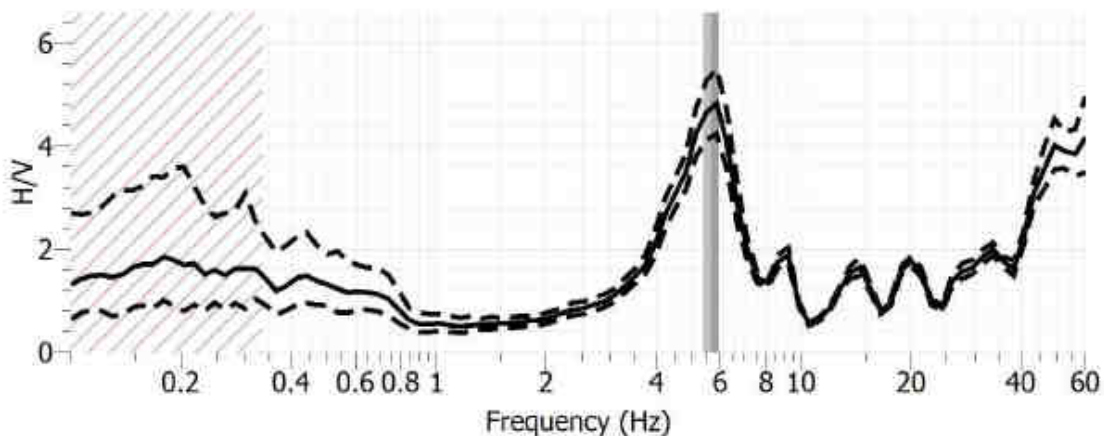
HVSR1:



HVSR2:



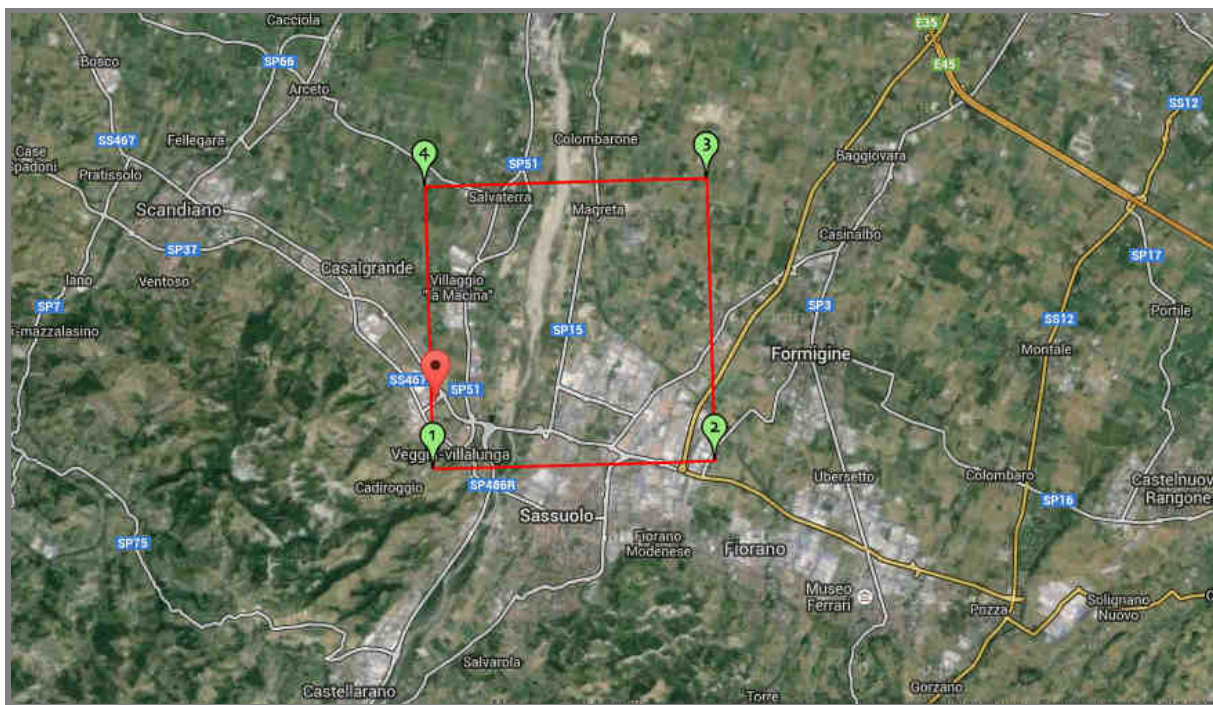
HVSR3:



In linea generale i tre grafici sopra riportati mostrano una buona coerenza dei risultati, evidenziando un picco ben definito a una frequenza di circa 5.47-5.67 Hz. Tale picco è particolarmente marcato in HV3, mentre in HV2 tende ad allargarsi e ad essere accompagnato da un picco secondario a frequenza lievemente più bassa (circa a 4 Hz). Un abbozzo di tale “sdoppiamento” è presente anche in HV1 e, tenuto conto che le tre misure vanno da ovest verso est nel seguente ordine HV2, HV1 e HV3, non si può escludere che tali lievi variazioni nell’andamento del picco principale possano essere correlate a deboli variazioni stratigrafiche in senso laterale.

Considerati i dati stratigrafici e la frequenza “medio-alta” è ragionevole supporre che tale picco possa essere dovuto al fenomeno di risonanza delle onde S in corrispondenza del passaggio tra depositi argillosi e sottostanti depositi ghiaiosi posto a circa 16 m di profondità.

#### 4.3. Pericolosità sismica di base



Vita nominale (Vn):	50 [anni]
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso (Cu):	1
Periodo di riferimento (Vr):	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Latitudine (WGS84):	44,5638400	[°]
Longitudine (WGS84):	10,7544800	[°]
Latitudine (ED50):	44,5647800	[°]
Longitudine (ED50):	10,7554900	[°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16500	44,553390	10,755000	1266,81
2	16501	44,554990	10,825000	5613,86
3	16279	44,603370	10,752700	4296,98
4	16278	44,603370	10,752700	4296,98

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento.

#### Parametri per il punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,052	2,482	0,252
SLD	50	0,065	2,491	0,265
SLV	475	0,162	2,401	0,288
SLC	975	0,204	2,407	0,297

#### 4.3.1. Pericolosità sismica di sito

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %  
Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000

Categoria sottosuolo:

C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs<sub>30</sub> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT<sub>30</sub> compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu<sub>30</sub> compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

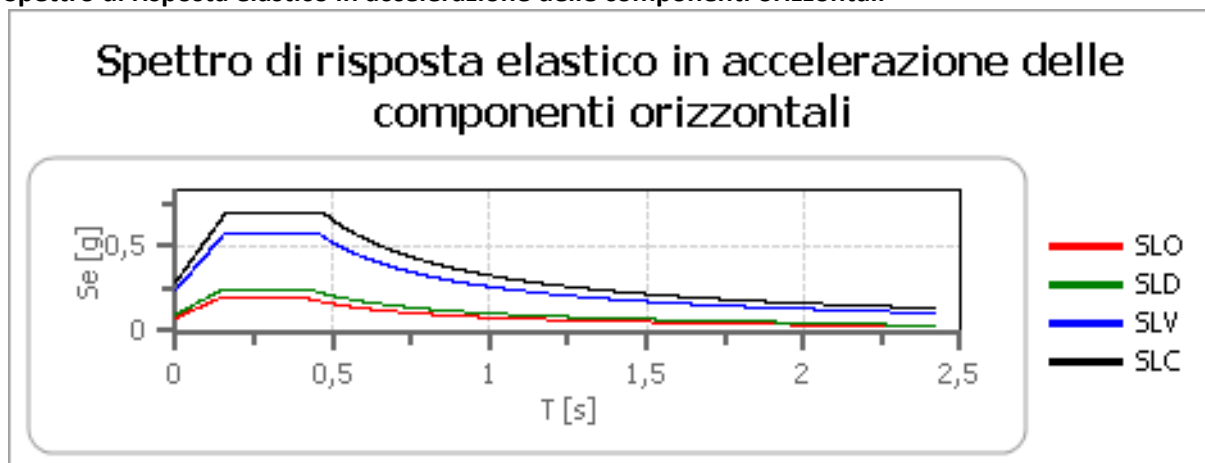
Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

#### Coefficienti sismici stabilità delle fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Kh	0,016	0,019	0,057	0,081
Kv	0,008	0,010	0,029	0,040
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,761	0,947	2,345	2,835
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali





	Cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,052	2,480	0,252	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,139	0,416	1,807	0,078	0,193
SLD	1,0	0,064	2,492	0,265	1,500	1,630	1,000	1,500	1,000	0,144	0,432	1,858	0,097	0,241
SLV	1,0	0,163	2,385	0,289	1,470	1,580	1,000	1,470	1,000	0,152	0,457	2,251	0,239	0,570
SLC	1,0	0,205	2,394	0,303	1,410	1,560	1,000	1,410	1,000	0,157	0,472	2,420	0,289	0,692

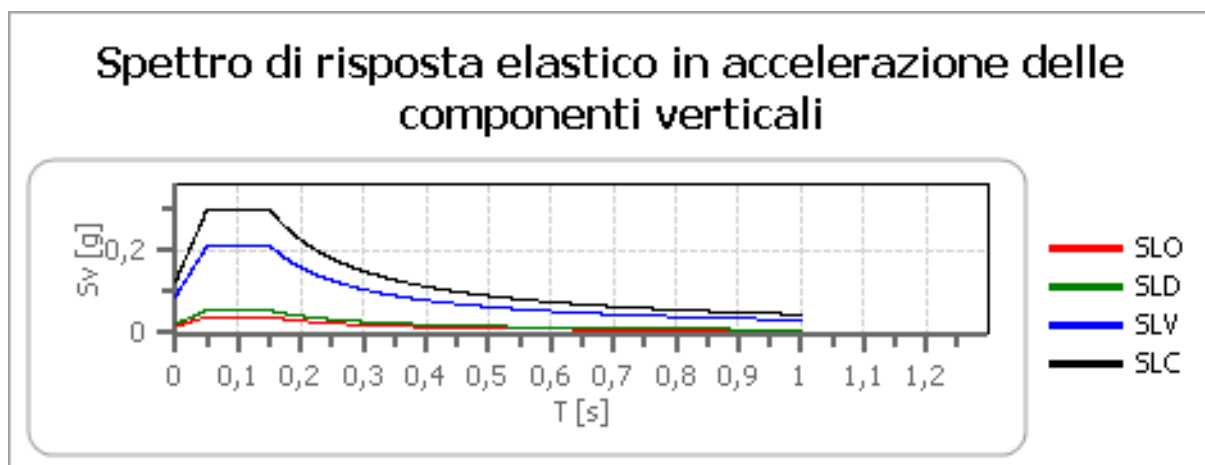
### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1.000



cu

ag

[g]	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]

SLO

1,0

0,052

2,480

0,252

1

1,650

1,000

1,000

1,000

0,050

0,150

1,000

0,016

0,039

SLD

1,0

0,064

2,492

0,265

1

1,630

1,000

1,000

1,000

0,050

0,150

1,000

0,022

0,055

SLV

1,0

0,163

2,385

0,289

1

1,580

1,000

1,000

1,000

0,050

0,150

1,000

0,089

0,211

SLC

1,0

0,205

2,394

0,303

1

1,560

1,000

1,000

1,000

0,050

0,150

1,000

0,125

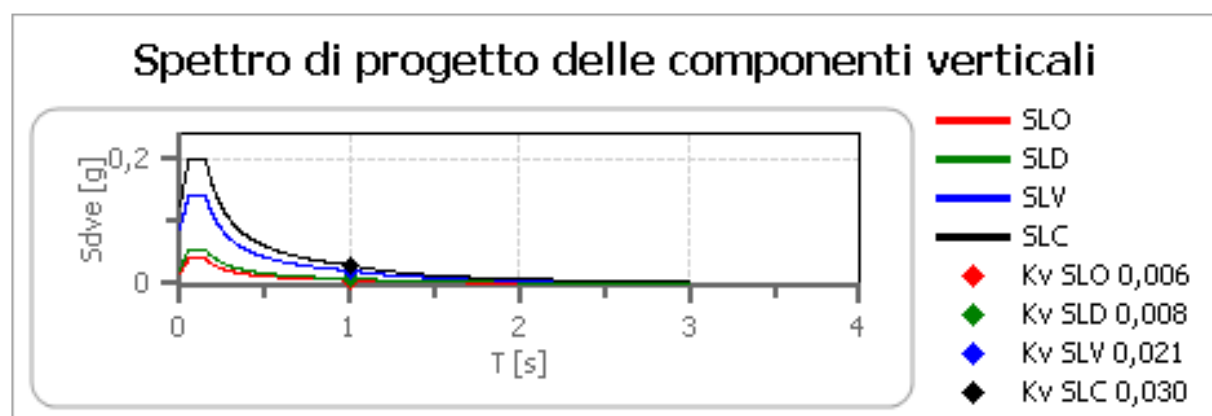
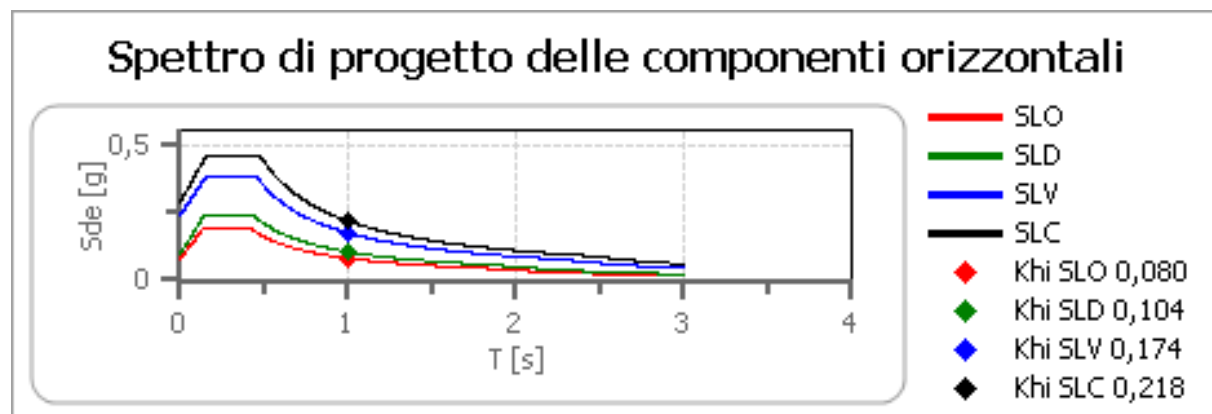
0,300

### Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50  
Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50  
Periodo fondamentale T: 1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
--	-----	-----	-----	-----

khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,080	0,104	0,174	0,218
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,006	0,008	0,021	0,030



cu  
ag

[g]	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	q	TB	TC	TD	Sd(0)	Sd(TB)
	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]

SLO orizzontale

1,0  
0,052  
2,480  
0,252  
1,500  
1,650  
1,000  
1,500  
1,000  
0,139  
0,416  
1,807  
0,078  
0,193

SLO verticale

1,0  
0,052  
2,480  
0,252  
1,500  
1,650  
1,000  
1,000  
1,000  
0,050  
0,150  
1,000  
0,016  
0,039

SLD orizzontale

1,0  
0,064  
2,492  
0,265  
1,500  
1,630  
1,000  
1,500  
1,000  
0,144  
0,432  
1,858  
0,097  
0,241

SLD verticale

1,0  
0,064  
2,492  
0,265  
1,500  
1,630  
1,000  
1,000  
1,000  
0,050  
0,150  
1,000  
0,022  
0,055

SLV orizzontale

1,0  
0,163  
2,385  
0,289  
1,470  
1,580  
1,000  
1,470  
1,500  
0,152



0,457  
2,251  
0,239  
0,380

SLV verticale

1,0  
0,163  
2,385  
0,289  
1,470  
1,580  
1,000  
1,000  
1,500  
0,050  
0,150  
1,000  
0,089  
0,141

SLC orizzontale

1,0  
0,205  
2,394  
0,303  
1,410  
1,560  
1,000  
1,410  
1,500  
0,157  
0,472  
2,420  
0,289  
0,461

SLC verticale

1,0  
0,205  
2,394  
0,303  
1,410  
1,560  
1,000  
1,000  
1,500  
0,050  
0,150  
1,000  
0,125  
0,200

#### 4.4. Valutazione dei coefficienti di amplificazione sismica

La valutazione dei fattori di amplificazione sismica (secondo livello di approfondimento) è stata effettuata secondo le indicazioni contenute nell' Allegato A2 della Delibera dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna progr. n°112 - oggetto n°3121 del 2 maggio 2007.

Le velocità delle onde sismiche è stata misurata utilizzando le prove MASW.

Dati misurati (a partire da 1 m dal p.c.):

$V_{s30} = 375$  m/s (approssimata alla classe inferiore con 360 m/s) con la prova MASW

Le prove geofisiche effettuate non hanno consentito di individuare un bedrock sismico, hanno solo indicato un possibile contrasto di impedenza piuttosto superficiale, imputabile allo strato di ghiaie a circa 16 m dal p.c. Le velocità delle onde sismiche misurate all'interno di questo orizzonte non sono tali da poterlo ascrivere come bedrock sismico, che viene quindi stimato a profondità  $> 100$  m dal p.c. Nella Delibera dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna progr. n°112 - oggetto n°3121 del 2 maggio 2007 per i terreni di margine appenninico vengono identificati profili con substrato marino con bedrock da relativamente poco profondi ad affioranti, configurazione che non trova riscontro nell'area in oggetto. Dato che l'area in esame ricade nella parte più marginale dell'alta pianura si ritiene che il profilo più corrispondente sia il PIANURA2.

PIANURA2 "profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo ( $\geq 100$  m da p.c.)"

Vs m/s (MASW)	profilo	F.A. P.G.A.	F.A. INTENSITA' SPETTRALE	
<b>375</b>	<b>Pianura 2</b>	<b>1,4</b>	0,1s < To < 0,5s	<b>1,7</b>
			0,5s < To < 1,0s	<b>2,0</b>

Secondo una relazione empirica ma largamente utilizzata, il numero di piani critico, ovvero il numero di piani per cui si può avere il fenomeno della doppia risonanza, si calcola dividendo 10-12 Hz per la frequenza fondamentale del sito. Dato che la frequenza fondamentale del sito in oggetto è di circa 6 Hz ne deriva che il numero di piani critico va da 1 a 2. Quindi per l'edificio in progetto (portineria) si potrebbero innescare fenomeni di doppia risonanza.

## **5. Modellazione geologica**

### **5.1. Geologia e geomorfologia generale**

Il sito in oggetto è situato nell'alta pianura reggiana, compresa tra le prime propaggini appenniniche, a quote comprese tra 120 e 150 m s.l.m., fino ad un allineamento pressoché parallelo alla Via Emilia poco più a nord del tracciato della stessa 35-40 m s.l.m.

L'area è compresa nel settore delle conoidi alluvionali pedemontane, formate dai depositi dei corsi d'acqua minori, come nell'area in oggetto il Rio delle Fornaci. Gli apparati delle conoidi minori si congiungono tra loro, formando un sistema complesso e composito, costituito da alternanze di depositi sabbioso-limosi con sottili livelli ghiaiosi e depositi a granulometria fine. A est dell'area è presente la conoide del Fiume Secchia, che si protende nella pianura verso nord fino all'altezza della via Emilia.

I conoidi di deiezione (o cono alluvionali) sono quelle forme convesse assai tipiche che si aprono a ventaglio allo sbocco dei corsi d'acqua nella pianura o nei fondovalle. Si tratta di forme di deposizione fluviale, caratterizzate da dimensioni e pendenze molto varie, in stretta relazione con le dimensioni e la natura delle rocce del bacino idrografico che li sottende e con l'energia e la capacità di trasporto del corso d'acqua stesso. La deposizione avviene alla base dei rilievi montuosi, dove il corso d'acqua trasporta e rilascia il materiale detritico derivato dai processi erosivi che agiscono all'interno del bacino idrografico. Si tratta con ogni probabilità di sistemi multigenetici, costituiti nel pre-Würm da conoidi formati da corsi d'acqua che sfociavano in mare, successivamente rielaborati dal mare (golfo Padano) in spiagge e terrazzi costieri ed infine, a partire dal Würm, da conoidi sovrainpostate sul sistema precedente, formatesi in seguito al brusco cambiamento di pendenza allo sbocco in pianura). Questi depositi sono costituiti da alternanze di peliti e ghiaie, con i depositi ghiaiosi che diventano via via più potenti e preponderanti allontanandosi dagli apici. La transizione tra i depositi ghiaiosi più grossolani ed i depositi fini della pianura, nelle parti più distali delle conoidi, avviene in modo graduale, con una serie di intercalazioni presenti sia al fronte che lungo i lati.

Nelle aree antistanti le conoidi, verso nord, si estende la piana alluvionale, con il passaggio alla media pianura e quindi alla bassa pianura, fino al Fiume Po. Questo settore di pianura è costituito, in superficie, da depositi alluvionali di epoca molto recente. I depositi in questione sono costituiti da canali d'alveo (paleoalvei), ventagli di rotta fluviale e depositi palustri di piana alluvionale.

A sud dell'area, nelle prime propaggini collinari, affiorano terreni argillosi appartenenti al ciclo marino plio-pleistocenico, che verso nord si immergono al di sotto della pianura e che costituiscono quindi il substrato della pianura stessa. Il passaggio tra la sedimentazione marina e quella continentale è presente lungo il margine appenninico ed è formato da depositi di transizione, costituiti da sabbie e ghiaie di ambiente litorale, a volte cementate da peliti sabbiose e ghiaie di delta. Il limite fra la sedimentazione marina del ciclo Plio-pleistocenico ed i depositi continentali, pur non essendo sincrono, si pone convenzionalmente alla fine del Pliocene medio, anche se in diverse aree questo è datato alla fine del Pleistocene inf. (Raffi e Rio, 1980, Cremaschi e Sala, 1982). Dal momento che il ritiro delle acque dal golfo padano non è stato continuo, e che a partire dalla fine del Pleistocene medio sono avvenuti diversi cicli regressivi/trasgressivi, nel sottosuolo del margine collinare sono presenti alternanze di depositi marini, cicli di transizione e depositi continentali. Il progressivo ritiro delle acque dal golfo padano e il riempimento di questo con depositi continentali è avvenuto da ovest verso est e dal margine appenninico verso il centro della pianura. I diversi cicli regressivi/trasgressivi sono stati causati sia da modificazioni sostanziali del regime climatico (glaciazioni), sia da variazioni eustatiche e movimenti tettonici.

Il limite Pleistocene inf-medio nell'area in oggetto, ricavato da sondaggi esplorativi profondi ("Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna, 1988"), è posto ad una profondità di circa 100 m dal piano di campagna. Al di sotto di questo orizzonte, sono presenti depositi argillosi relativamente impermeabili, che costituiscono la prosecuzione, in profondità, di quelli affioranti nelle prime propaggini collinari.

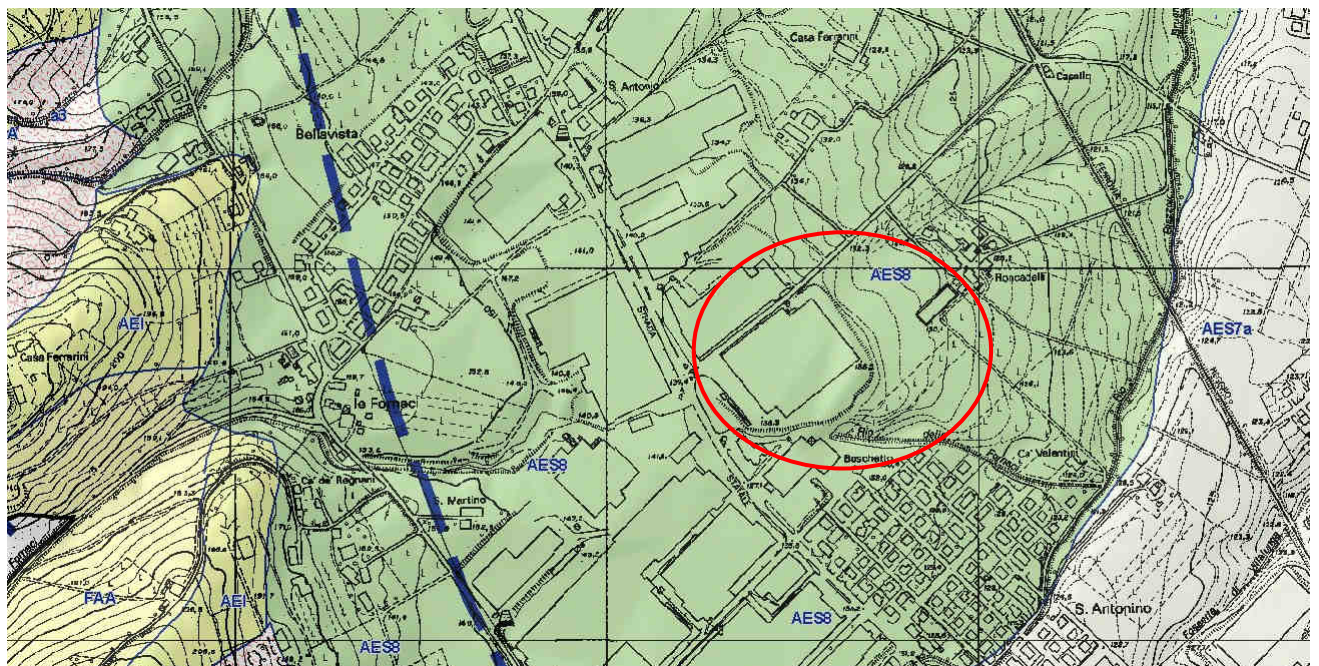
Il sottosuolo più profondo è conosciuto attraverso una serie di perforazioni per ricerche petrolifere, da indagini geofisiche, da perforazioni per pozzi per acqua e da sondaggi geognostici. Esso è costituito, in profondità, dalla prosecuzione della catena appenninica con una serie di thrusts nord-vergenti, il cui fronte sepolto corrisponde agli archi Busseto-Parma-Reggio Emilia, Reggio Emilia-Correggio e Novi di Modena-Mirandola-Bondeno. Tra le culminazioni anticlinali si intercalano strutture sinclinali, e il loro insieme influenza i depositi quaternari sovrastanti (anche quelli recenti), determinando fenomeni di subsidenza differenziata. Le strutture deformative sopra citate appaiono sigillate, in genere, a partire dal Pliocene medio-sup.

Per quanto riguarda la neotettonica, i movimenti più marcati si individuano nella zona di cerniera tra montagna e pianura, che separa la zona a sud (catena appenninica in sollevamento) da quella a nord (pianura con prevalenti movimenti di accentuata subsidenza).

## 5.2. Geologia e geomorfologia del sito

La morfologia della zona è subpianeggiante, presentando una diminuzione generale delle quote in direzione SSO-NNE con pendenza media di poco superiore al 4 %.

I terreni quaternari presenti nel sito appartengono al Sintema emiliano-romagnolo superiore, che occupa la maggior parte dell'area compresa tra Casalgrande e Sassuolo. Il sintema emiliano-romagnolo è stato suddiviso, sulla base degli affioramenti in posizioni intravallive, in cinque subsintemi, ognuno dei quali è costituito da uno o più terrazzi. Le più recenti di tali unità (AES8, subsintema di Ravenna e AES7b, unità di Vignola) sono state correlate in modo diretto con quelle individuate nel sottosuolo.





Al subsistema di Ravenna AES8 è attribuita la maggior parte degli estesi affioramenti di pianura dell'area. La sedimentazione dell'unità si sviluppa estesamente in condizioni di piana inondabile, e rappresenta l'intero spessore dei sedimenti, prevalentemente fini, depositi nell'ultimo postglaciale, al di sopra dell'esteso corpo ghiaioso attribuito all'unità di Vignola.

La litologia prevalente è limoso-argillosa, espressione dei sub-ambienti di argine distale e di bacino interfluviale. Depositi sabbiosi e ghiaiosi, espressione di sub-ambienti di canale e di argine prossimale, si rinvencono in corrispondenza delle principali aste fluviali (F. Secchia) e torrentizie nell'alta pianura e nelle "valli" (toponimo locale usato per indicare le zone più depresse della pianura). La sedimentazione in corrispondenza dei torrenti minori, che è condizionata, come già detto, dall'estesa presenza nei bacini di drenaggio di formazioni a litologia prevalentemente argillosa, è invece caratterizzata dalla pressochè totale assenza di detriti grossolani ghiaioso-sabbiosi anche nelle aree poste presso lo sbocco dei corsi d'acqua in pianura.

Per il subsistema di Ravenna l'ambiente deposizionale di conoide non è espresso con particolare evidenza morfologica: è infatti appena delineata la tipica forma convessa di questi depositi e non si ha la distribuzione estesa e pressochè uniforme delle ghiaie che caratterizza le unità più antiche allo sbocco delle valli. Nell'Olocene, età del subsistema, si è dunque passati, probabilmente, ad una fase di sedimentazione caratterizzata da minori apporti e con distribuzione delle ghiaie molto più localizzata.

### **5.3. Litologia di superficie**

Dal punto di vista litologico in superficie affiorano depositi di piana alluvionale prevalentemente sabbioso-limosi con lenti di ghiaia.

Anche nella "Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna, scala 1:250.000, viene fornita la medesima interpretazione e, nell'area in oggetto, sono riportati "limi e limi argillosi in strati di spessore decimetrico, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione".

Il tetto dell'unità si distingue per la presenza in superficie di un suolo a basso grado di alterazione con profilo minore di 150 cm, parzialmente decarbonatato. Nella carta della Regione Emilia Romagna (scala 1:250.000 - I SUOLI DELL'EMILIA ROMAGNA) la zona in esame ricade nella categoria 4Ba ovvero "Suoli del margine appenninico, antichi, con tracce di alterazione geochimica", in particolare il sottogruppo 4B è caratterizzato da decarbonatazione o accumulo dei carbonati in profondità.

### **5.4. Idrografia**

Il deflusso delle acque meteoriche, nelle aree circostanti allo stabilimento, è generalmente operato da numerosi scoli che confluiscono in collettori maggiori sia naturali che artificiali e/o artificializzati con direzione prevalente S-N. La presenza di terreni permeabili (ghiaie e sabbie) subaffioranti e semipermeabili (limi e limi sabbiosi) in superficie permette un certo grado di infiltrazione delle acque meteoriche rendendo in pratica nulla la possibilità di stagnazione delle acque superficiali.

Dal punto di vista idrografico, l'area in oggetto è situata in sinistra Secchia; sul confine sud-est dello stabilimento scorre il Rio delle Fornaci, un canale parzialmente tombato nel corso superiore che confluisce poco più a nord nel Rio Brugnola. Il Rio Fornaci ha carattere stagionale, ed è alimentato dall'impiuvio a substrato argilloso della zona posta a ovest rispetto allo stabilimento.

Il F. Secchia è un corso d'acqua a carattere torrentizio e regime pluvio-nivale, anche se normalmente risente ben poco dell'apporto nivale delle parti alte dei bacini imbriferi limitate dallo spartiacque appenninico. Talora però, quando a fine inverno o all'inizio della primavera si verificano situazioni climatiche tali da favorire lo scioglimento delle nevi e insieme la caduta di abbondanti piogge, ne consegue un forte rischio idraulico per la media e bassa pianura, dove i fiumi arginati scorrono pensili;

rischio parimenti incombente in occasione di rovesci di pioggia di particolare intensità (Moratti & Pellegrini, 1977). Per la moderazione delle onde di piena, a lato del Secchia, ormai privato in tempi anche recenti della sua naturale area d'espansione golenale, è divenuto pensile al passaggio nella media pianura dopo le operazioni di bonifica ed arginatura iniziate nel Rinascimento, è stata destinata a cassa d'espansione un'estesa area di pianura già scavata per l'estrazione di inerti. Si tratta di un sistema atto all'invaso di acque e quindi alla regolazione dei flussi nei momenti in cui si palesi il pericolo che le portate possano superare livelli critici.

Le caratteristiche idrochimiche delle acque correnti nelle zone di bassa montagna e di collina sono di qualità medio-buona (Boraldi et alii, 1997), più scadenti invece sono quelle degli affluenti; l'acqua si altera e diventa inquinata allo sbocco nella pianura, in corrispondenza delle aree fortemente industrializzate e con alta densità antropica. È da aggiungere che le acque del Secchia hanno carattere salino, acquisito prevalentemente dall'afflusso delle acque salso-solfate delle sorgenti del Mulino di Poiano, emergenti dai Gessi triassici che affiorano nella parte alta del bacino, ed attraverso i quali scorrono il fiume ed alcuni suoi affluenti.

### **5.5. Idrogeologia**

Per quanto riguarda l'alta pianura modenese e reggiana, precipitazioni e acque correnti alimentano il sistema acquifero del sottosuolo, rappresentato in particolare da depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi tardo pleistocenici e olocenici, dotati di coefficienti di conducibilità idraulica medio-alti e sedi delle captazioni più importanti per uso idropotabile.

Si tratta di un sistema acquifero indifferenziato con falda libera (monostrato) di spessore variabile da zona a zona, o con falde sospese discontinue di tipo freatico anch'esse. Verso la media pianura l'acquifero si compartimenta in falde in pressione, confinate tra depositi praticamente impermeabili (acquitardi) che si vanno intercalando, prevalendo verso nord.

Lungo l'allineamento Rubiera-Castelfranco Emilia, prima che si verificasse il fenomeno di abbassamento della superficie della falda libera, tali variazioni di permeabilità erano segnate localmente in superficie da acque di risorgiva (fontanili o fontanazzi), acque che incontrando terreni più fini formavano acquitrini ed alimentavano i canali attraversanti la città di Modena.

A partire dagli Anni '50 e fino ai primi Anni '80, si è verificato un forte abbassamento della superficie piezometrica, particolarmente sentito in corrispondenza delle zone d'alta pianura caratterizzate da forti emungimenti per utilizzo agro-industriale. Nella prima metà degli anni '90 il trend di continuo abbassamento si è fermato in seguito ad una generalizzata riorganizzazione delle risorse idriche ed al generalizzato ricorso al riutilizzo da parte delle attività industriali. Nella seconda metà degli anni '90 i livelli piezometrici sono rimasti pressoché costanti con locali innalzamenti. Negli anni 2000-2005 la riduzione media delle precipitazioni, e quindi della ricarica diretta dell'acquifero, è stata accompagnata da un nuovo trend di abbassamento dei livelli piezometrici (Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, A. Zavatti e alii, 1990 - Rapporto sulla qualità delle acque della Provincia di Modena, ARPA Modena, 1999 - 2000 e 2001-2002).

Visti i rapporti idraulici con i diversi corsi d'acqua, l'alta pianura è stata distinta in settori idrogeologici pertinenti alle zone di influenza di questi. Nel settore di pertinenza del Fiume Secchia, le acque bicarbonato-calciche, che caratterizzano una buona parte del settore di alta pianura tra Modena e Reggio Emilia, sono caratterizzate anche da elevata durezza, derivante dagli apporti di acque con salinità elevata acquisita nell'attraversamento degli ammassi di Gessi e Calcari Cavernosi triassici nella parte alta del bacino idrogeologico (Vicari & Zavatti, 1990; Canedoli et alii, 1994).

Sulla base delle conoscenze idrogeologiche locali e dei dati litostratigrafici dei pozzi trivellati nella

zona è possibile inquadrare idrogeologicamente l'area nel contesto sopra descritto, tenendo conto del fatto che, essendo l'area fortemente industrializzata, c'è un forte emungimento delle falde per uso industriale (non costante nel corso dell'anno).

I livelli ghiaiosi nel sottosuolo sono numerosi; attualmente quelli più superficiali risultano asciutti o con acqua solo in alcuni periodi dell'anno, corrispondenti alle stagioni più piovose. I vecchi pozzi domestici con struttura a camicia, messi in opera dagli agricoltori per il prelievo d'acqua dalle falde poste tra i 10 ed i 30 m dal p.c. ed utilizzati a scopo domestico, irriguo e/o per l'abbeveraggio del bestiame, sono per la maggior parte esauriti e/o inutilizzati.

Dall'analisi dei dati ARPA riguardanti la rete di monitoraggio delle acque sotterranee si sono estrapolate una serie di osservazioni, considerando che comunque i dati sono stati interpolati, vista l'assenza di pozzi di monitoraggio significativamente vicini alla zona studiata.

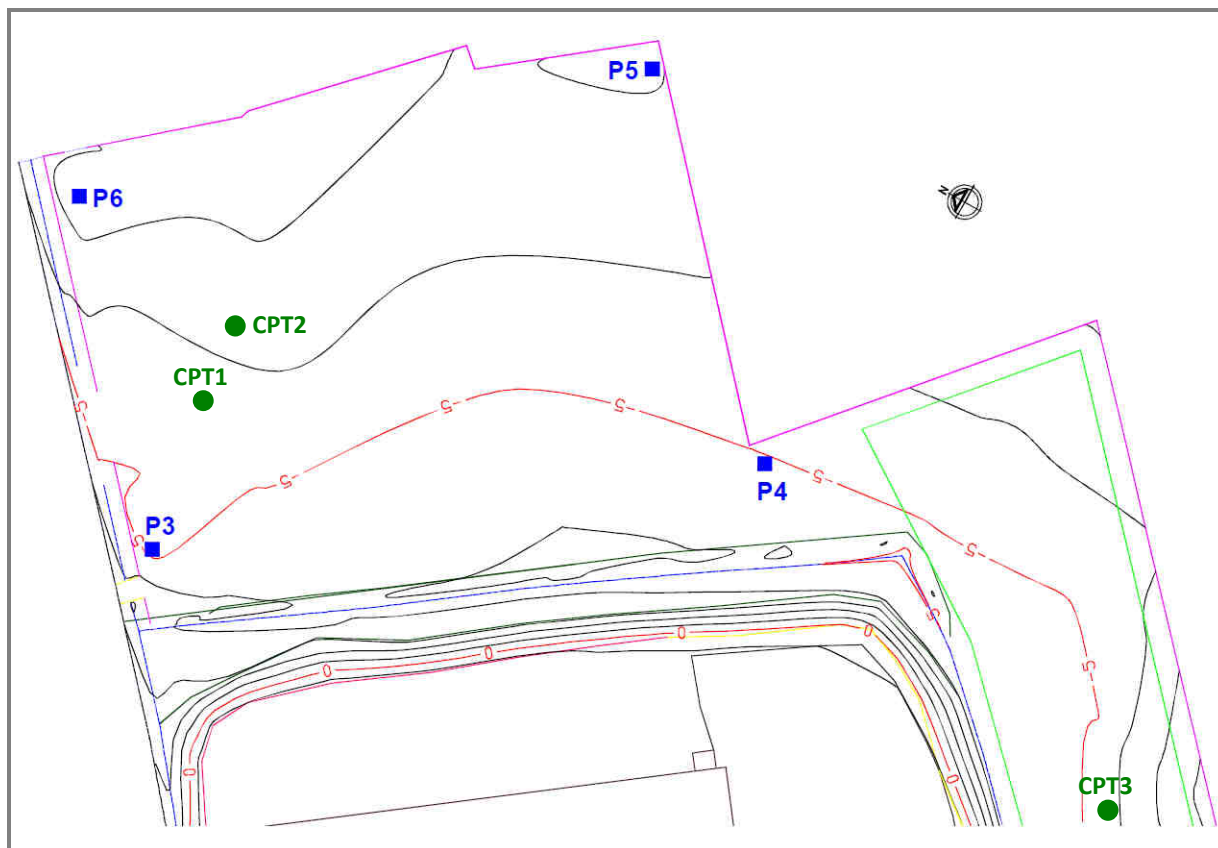
Le carte della piezometria riportano valori intorno a 80 metri sul livello del mare, mentre i piezometri profondi presenti nel sito rilevano una falda confinata alla profondità di 68 m dal p.c. (circa 62 m s.l.m.), risalente fino a - 50 m dal p.c.

E' da sottolineare comunque come nel corso delle perforazioni dei piezometri, ed in particolare del piezometro profondo P6, non si sia rilevata presenza di falde sospese. Inoltre, il pozzo presente presso l'abitato "Roncadelli", al confine nord-est del sito, profondo circa 30 m, risulta asciutto già da alcuni anni.

## 5.6. Caratterizzazione del primo sottosuolo

### 5.6.1. Ricostruzione litostratigrafica

Per la ricostruzione litostratigrafica dell'area in esame si sono utilizzate le stratigrafie dei piezometri realizzati nel corso della caratterizzazione del sito eseguita nel 2005. I piezometri utilizzati sono numerati come P3, P4, P5, P6 e P9. I piezometri P6 e P9 raggiungono una profondità rispettivamente di 75 e 78 m dal p.c., mentre gli altri arrivano ad una profondità di 11 m dal p.c. I piezometri sono ubicati come nella figura seguente.



Da queste stratigrafie si rileva come il sottosuolo dell'area sia caratterizzato da:

Da	A	
0	16	Litotipi prevalentemente argillosi con intercalazioni sabbiose e/o ghiaiose (subsintema di Ravenna)
16	59	depositi prevalentemente ghiaiosi, con presenza di sabbie, sabbie ghiaiose e/o ciottolose (probabile commistione di depositi grossolani riferibili oltre che all'Unità di Vignola-subsintema di Villa Verucchio- anche ad unità grossolane più antiche-subsintemi di Bazzano, Torre Stagni e Liano)
59	78	Alternanze di strati argillosi con strati di ghiaia e sabbia, sede di acquifero confinato

Sulla base delle stratigrafie riportate sono state calibrate le prove di acquisizione sismica. Le stratigrafie dei piezometri sono riportate in allegato.

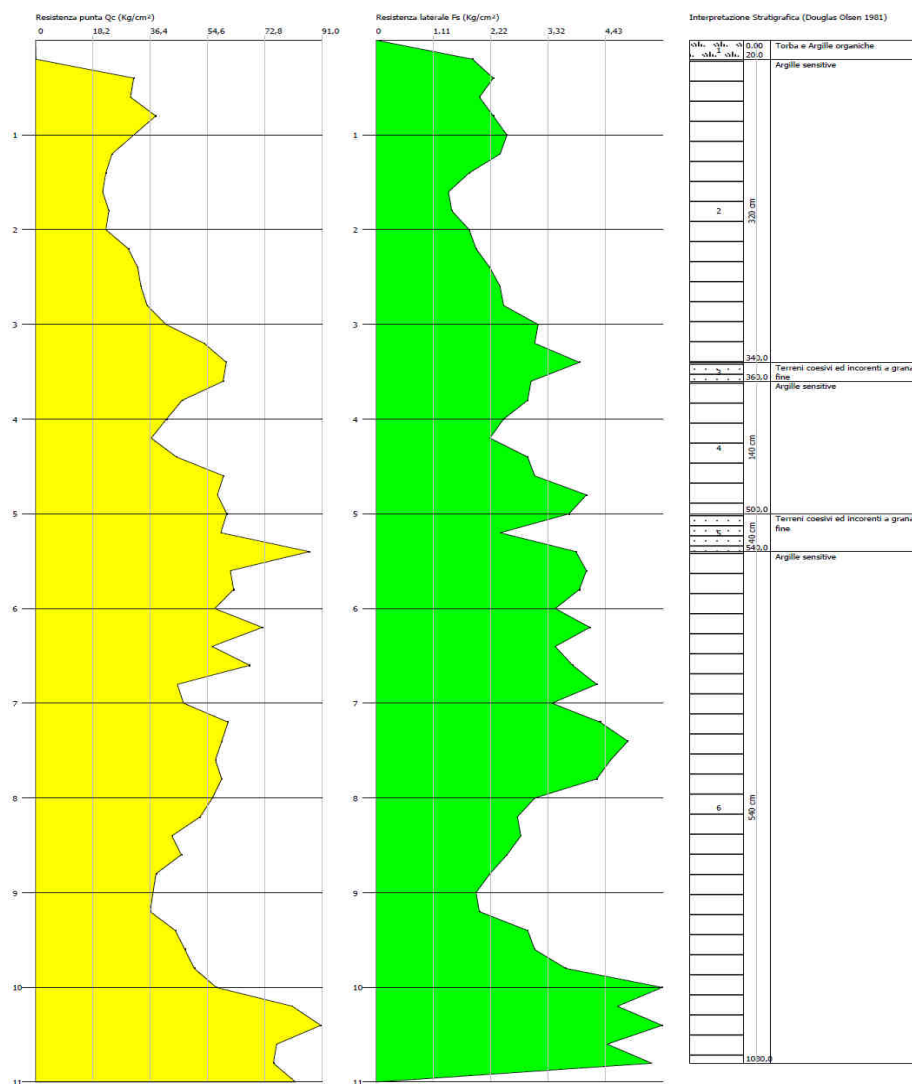
### 5.6.2. Prove penetrometriche statiche

I valori di resistenza alla punta ( $R_p$ ) e di resistenza laterale ( $R_l$ ) sono quelli riportati nelle tabelle seguenti e nel grafico riportato in Allegato, elaborati con i software descritti in precedenza.

In base ai risultati delle prove penetrometriche effettuate, sono stati individuati diversi orizzonti superficiali, che possono essere così distinti:

#### CPT 1

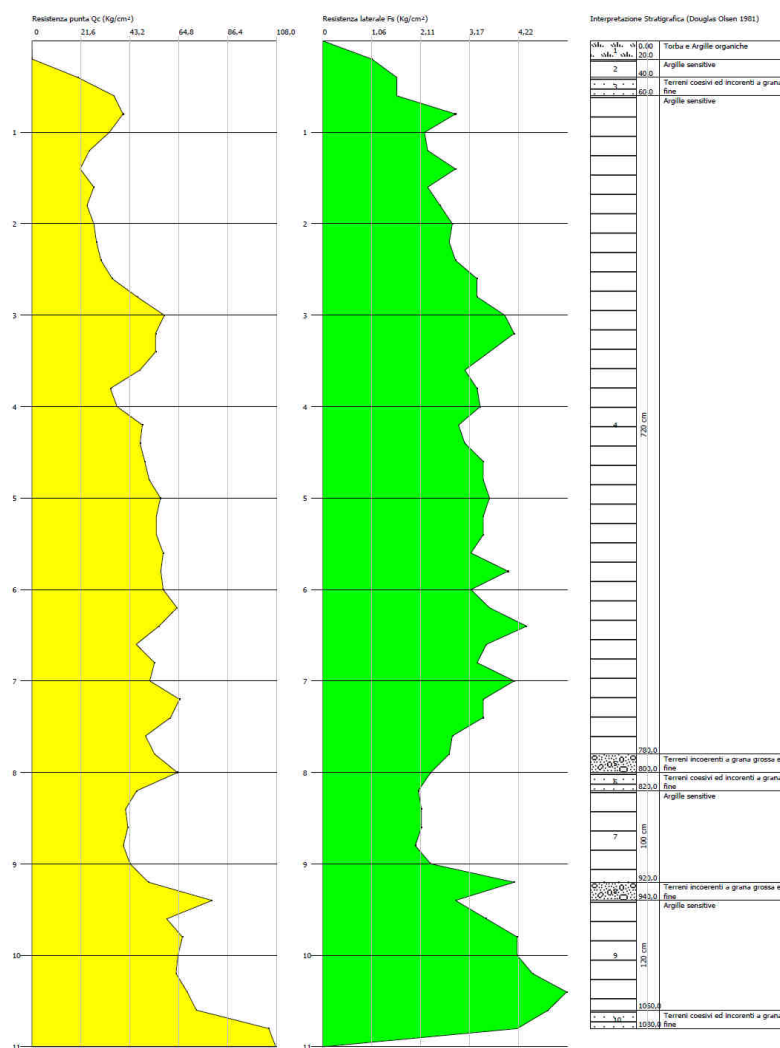
	Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
Strato 1	0,20	0	0	Strato vegetale	Torba e argille organiche
Strato 2	3,40	33,13	2,3	Coesivo	Argille
Strato 3	3,60	59,55	3,0	Incoerente-Coesivo	Terreni coesivi e incoerenti a grana fine
Strato 4	5,00	49,65	3,05	Coesivo	Argille
Strato 5	5,40	72,82	3,13	Incoerente-Coesivo	Terreni coesivi e incoerenti a grana fine
Strato 6	10,80	57,00	3,74	Coesivo	Argille





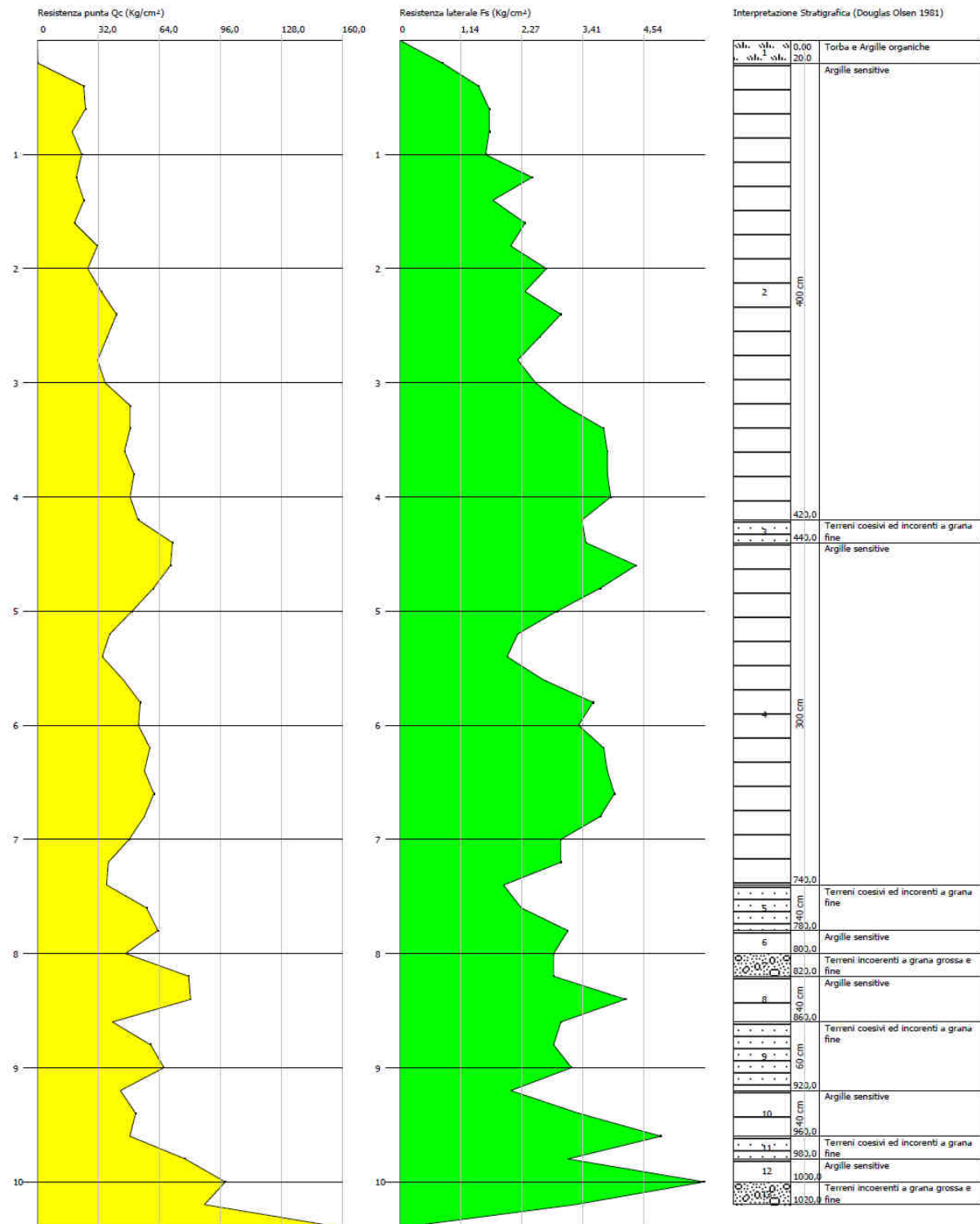
## CPT 2

	Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
Strato 1	0,20	0	0	Strato vegetale	Torba e argille organiche
Strato 2	0,4	20,13	1,6	Coesivo	Argille
Strato 3	0,60	36,13	1,6	Incoerente-Coesivo	Terreni coesivi e incoerenti a grana fine
Strato 4	7,80	46,28	3,24	Coesivo	Argille
Strato 5	8,00	64,10	2,33	Incoerente	Terreni incoerenti a grana grossa e fine
Strato 6	8,20	46,24	2,06	Incoerente-Coesivo	Terreni coesivi e incoerenti a grana fine
Strato 7	9,20	43,67	2,54	Coesivo	Argille
Strato 8	9,40	79,38	2,86	Incoerente	Terreni incoerenti a grana grossa e fine
Strato 9	10,60	65,78	4,43	Coesivo	Argille
Strato 10	10,80	104,51	4,2	Incoerente-Coesivo	Terreni coesivi e incoerenti a grana fine



**CPT 3**

	Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
Strato 1	0,20	0	0	Strato vegetale	Torba e argille organiche
Strato 2	4,20	34,22	2,61	Coesivo	Argille
Strato 3	4,4	70,69	3,46	Incoerente-Coesivo	Terreni coesivi e incoerenti a grana fine
Strato 4	7,40	50,41	3,21	Coesivo	Argille
Strato 5	7,80	60,10	2,70	Incoerente-Coesivo	Terreni coesivi e incoerenti a grana fine
Strato 6	8,00	46,10	2,86	Coesivo	Argille
Strato 7	8,20	79,24	2,86	Incoerente	Terreni incoerenti a grana grossa e fine
Strato 8	8,60	59,74	3,60	Coesivo	Argille
Strato 9	9,20	56,28	2,71	Incoerente-Coesivo	Terreni coesivi e incoerenti a grana fine
Strato 10	9,60	49,88	4,1	Coesivo	Argille
Strato 11	9,80	77,38	3,13	Incoerente-Coesivo	Terreni coesivi e incoerenti a grana fine
Strato 12	10,00	98,38	5,66	Coesivo	Argille
Strato 13	10,20	87,51	3,26	Incoerente	Terreni incoerenti a grana grossa e fine



Nel complesso, predominano nella zona più superficiale materiali argillosi e limosi a duplice comportamento (coesivo-incoerente), con poche intercalazioni di materiale più grossolano (sabbie – ghiaie) per di più di spessore limitato. Più in profondità viceversa sono presenti terreni prevalentemente incoerenti, come è rilevabile dalle stratigrafie dei sondaggi allegate.

## 6. Elaborazione dei dati

In base ai risultati delle prove effettuate, sono stati stimati i principali parametri geotecnici.

Anche se vengono trattati come unità separate in realtà non si tratta di veri e propri strati ma di orizzonti costituiti da alternanze di sedimenti più o meno fini, con caratteristiche geotecniche simili. I valori riportati nel seguito sono i valori medi per i diversi orizzonti.

I parametri geotecnici sono stati ricavati utilizzando le correlazioni riportate nel seguito.

Per i terreni coesivi:

- la coesione non drenata ( $C_u$ ) è stata ricavata utilizzando la correlazione di Terzaghi
- Modulo edometrico (Eed): Metodo generale del modulo edometrico
- Modulo di deformazione a taglio G: Imai & Tomauchi
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Meyerhof
- Vs: Jamiolkowski et alii

Per i terreni incoerenti:

- La densità relativa (%) Baldi 1978 - Schmertmann 1976
- L'angolo di resistenza al taglio ( $^\circ$ ) con il metodo di De Beer
- modulo edometrico (Eed): Mitchell & Gardner 1975
- Modulo di reazione  $K_o$ : Kulhawy & Mayne (1990)
- modulo di Young: Robertson & Campanella (1983)
- Modulo di deformazione a taglio G: Imai & Tomauchi
- Peso per unità di volume: relazione di Meyerhof ed altri
- Peso per unità di volume dei terreni saturi (nell'ipotesi di falda): Meyerhof

### CPT 1 - Terreni coesivi

	Prof. Strato (m)	$C_u$ media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (ton/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (ton/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)
Strato 1	0,20	0	0	0	0	0	0
Strato 2	3,40	1,7	66,3	237,7	2,1	2,1	267,0
Strato 3	3,60	3,0	119,1	340,1	2,2	2,2	300,0
Strato 4	5,00	2,5	99,3	304,3	2,1	2,2	289,4
Strato 5	5,40	3,6	145,7	384,6	2,2	2,3	312,3
Strato 6	10,80	2,9	114,0	331,1	2,1	2,2	297,5

### CPT 1 - Terreni incoerenti

	Prof. Strato (m)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio ( $^\circ$ )	Modulo Edometrico Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di reazione $K_o$	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (ton/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (ton/m <sup>3</sup> )
Str. 3	3,60	64,1	36,8	89,3	0,57	340,1	1,8	2,1
Str. 5	5,40	60,6	36,2	109,2	0,49	384,6	1,8	2,1

**CPT 2 - Terreni coesivi**

	Prof. Strato (m)	Cu media (Kg/ cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico Eed (Kg/ cm <sup>2</sup> )	Modulo di deformazio ne a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (ton/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturato (ton/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)
Strato 1	0,20	0	0	0	0	0	/
Strato 2	0,40	1,0	41,6	175,4	2,0	2,1	241,83
Strato 3	0,60	1,8	72,3	250,7	2,1	2,2	271,67
Strato 4	7,80	2,3	92,6	291,6	2,1	2,2	285,39
Strato 6	8,20	2,3	92,5	291,4	2,1	2,2	285,33
Strato 7	9,20	2,2	87,3	281,4	2,1	2,2	282,10
Strato 9	10,60	3,3	131,6	361,4	2,2	2,2	306,06
Strato 10	11,80	5,2	209,0	479,6	2,2	2,3	335,60

**CPT 2 - Terreni incoerenti**

	Prof. Strato (m)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo Edometrico Eed (Kg/ cm <sup>2</sup> )	Modulo di reazione Ko	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (ton/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturato (ton/m <sup>3</sup> )
Str. 3	0,60	96,9	42,0	108,4	0,0	250,7	1,8	2,1
Str. 5	8,00	44,9	33,8	96,2	0,33	355,8	1,8	2,1
Str. 6	8,20	33,0	32,0	69,4	0,26	291,4	1,8	2,1
Str. 8	9,40	48,2	34,2	119,1	0,34	405,4	1,8	2,1
Str. 10	10,80	54,1	35,1	156,8	0,37	479,6	1,8	2,1

**CPT 3 - Terreni coesivi**

	Prof. Strato (m)	Cu media (Kg/ cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico Eed (Kg/ cm <sup>2</sup> )	Modulo di deformazio ne a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (ton/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturato (ton/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)
Strato 1	0,20	0	/	/	1,1	1,2	/
Strato 2	4,20	1,7	68,4	242,5	2,1	2,1	268,74
Strato 3	4,40	3,5	141,4	377,7	2,2	2,3	310,48
Strato 4	7,40	2,5	100,8	307,2	2,1	2,2	290,28
Strato 5	7,80	3,0	120,2	342,0	2,2	2,2	300,61
Strato 6	8,00	2,3	92,2	290,9	2,1	2,2	285,16
Strato 8	8,60	3,0	119,5	340,8	2,2	2,2	300,25
Strato 9	9,20	2,8	112,6	328,6	2,1	2,2	296,71
Strato 10	9,60	2,5	99,8	305,2	2,1	2,2	289,66
Strato 11	9,80	3,9	154,8	399,1	2,2	2,3	316,11
Strato 12	10,00	4,9	196,8	462,2	2,2	2,3	331,59



**CPT 3 - Terreni incoerenti**

	Prof. Strato (m)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo Edometrico Eed (Kg/ cm <sup>2</sup> )	Modulo di reazione Ko	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (ton/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (ton/m <sup>3</sup> )
Str. 3	4,40	63,1	36,6	106,0	0,52	377,7	1,8	2,1
Str. 5	7,80	43,5	33,6	90,2	0,32	342,0	1,8	2,1
Str. 7	8,20	51,4	34,7	118,9	0,37	405,0	1,8	2,1
Str. 9	9,20	37,4	32,6	84,4	0,28	328,6	1,8	2,1
Str. 11	9,80	46,2	33,9	116,1	0,32	399,1	1,8	2,1
Str. 13	10,20	49,4	34,4	131,3	0,34	430,3	1,8	2,1

**6.1 Valori caratteristici e valori di progetto**

L'EC7, al punto 2.4.5.2 2(P), definisce quanto segue:

*"Il valore caratteristico di un parametro geotecnico sarà scelto come una stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite"*

Il DM 14/01/2008, "Norme tecniche per le costruzioni", ha adottato il concetto dei valori caratteristici, senza peraltro chiarirne la definizione e determinazione.

Il concetto dei valori caratteristici consiste nel caratterizzare un'intera distribuzione statistica dei parametri geotecnici di interesse mediante una stima puntuale a carattere cautelativo (modello semiprobabilistico). Tale stima puntuale viene generalmente individuata da un basso percentile, calcolato sulla distribuzione del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite (ad esempio la media campionaria quando lo stato limite è influenzato dalla media spaziale dei dati o la media della distribuzione quando lo stato limite è influenzato dalla media locale dei dati). A tale scopo si adotta di solito il 5° percentile (Da: L. "McCoy" Nori "Introduzione operativa al concetto dei valori caratteristici secondo l'Eurocodice 7 norma europea prEN1997-1).

Infatti, secondo quanto indicato da EC7 2.4.5.2: "se si utilizzano metodi statistici, il valore caratteristico dovrebbe essere ricavato in maniera tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%.

La trattazione statistica dei dati non è obbligatoria secondo l'EC7; tuttavia, non viene indicato un oggettivo e chiaro procedimento alternativo.

La distribuzione del valor medio, nel caso di distribuzione normale, viene generalmente calcolata utilizzando la 't' di Student ad n-1 gradi di libertà ed ipotizzando che la media del campione coincida con la media della popolazione, usando la seguente relazione:

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

Dove:

**x<sub>k</sub>** è il valore caratteristico desiderato

**x** con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione

**t** è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità u = 95% (ossia, 1- α = 0,95 o alternativamente, α = 0,05)

**s** è la deviazione standard del campione

**n** il numero di dati.

I valori di progetto dei parametri geotecnici, X<sub>d</sub>, possono essere ricavati dai valori caratteristici, utilizzando la seguente equazione:

$$X_d = X_k / \gamma_m$$

Nel caso di popolazioni di valori troppo esigue per poter trattare in modo adeguato dal punto di vista statistico i valori (< 4 valori), si opera una riduzione dei valori medi come ipotizzata nell'EC7 e cioè

$$x_k = \bar{x} \times \left( 1 - \left( 1.645 \times \left( \frac{\sigma}{\bar{x}} \right) \right) \right)$$

Dove:

**x<sub>k</sub>** è il valore caratteristico desiderato

**x** con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione

**σ** è la deviazione standard del campione

Le Resistenze di Progetto (valori di progetto R<sub>d</sub>) vengono ricavate applicando una serie di coefficienti parziali (γ<sub>m</sub>) ai principali parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II NTC).

Sono previsti due approcci:

- **M1**, in cui non vengono effettuate riduzioni (γ = 1) alle caratteristiche geotecniche dei terreni. In questo scenario, si è scelto cautelativamente di utilizzare il valore caratteristico, di cui si è parlato in precedenza, in cui viene comunque effettuata una riduzione al 5° percentile della media
- **M2**, in cui vengono applicati i coefficienti parziali (γ = 1,4 per C<sub>u</sub>; γ = 1,25 per c' e Φ) alle caratteristiche geotecniche dei terreni, riducendole drasticamente.

Il peso dell'unità di volume non varia con l'applicazione dei coefficienti parziali, sia per l'approccio M1 che M2.

Il calcolo dei valori caratteristici e dei valori di progetto negli scenari M1 e M2, per il parametro c<sub>u</sub> è riportato nella tabella seguente.

Tabella sintetica dei valori caratteristici (X<sub>k</sub>) e dei valori di progetto (X<sub>d</sub>) calcolati per la **CPT1**

orizzont e	Prof. Strato (m)	cu Media (KPa)	Valori caratteristici		Φ° medio	Valori caratteristici		Comp. Geotecnico	Descrizione
			Cu - <b>Xk</b> (KPa)	Cu - <b>Xd</b> (KPa)		Φ - <b>Xk</b> (°)	Φ - <b>Xd</b> (°)		
1	0,20	superiore al piano di posa delle fondazioni						Coesivo	Copertura vegetale
2	3,40	168,8	<b>93,6</b>	<b>66,9</b>				Coesivo	Argille e argille organiche
3	3,60	308,9			38,8			Incoerente- Coesivo	Limi e argille.
4	5,00	253,0	<b>181,3</b>	<b>129,5</b>				Coesivo	Argille e argille organiche
5	5,40	370,7	<b>230,0</b>	<b>164,3</b>	26,0	<b>24,1</b>	<b>19,7</b>	Incoerente- Coesivo	argille organiche e limi
6	10,80	290,4	<b>190,6</b>	<b>152,5</b>				Coesivo	Limi e argille limose

Nota: i valori per l'angolo di attrito interno ricavati per gli orizzonti limosi, a comportamento duplice (incoerente-coesivo), sono da considerarsi come indicativi.

Tabella sintetica dei **valori caratteristici (Xk)** e dei **valori di progetto (Xd)** calcolati per la **CPT2**

orizzont e	Prof. Strato (m)	cu Media (KPa)	Valori caratteristici		$\Phi^\circ$ medio	Valori caratteristici		Comp. Geotecnico	Descrizione
			Cu - <b>Xk</b> (KPa)	Cu - <b>Xd</b> (KPa)		$\Phi$ - <b>Xk</b> (°)	$\Phi$ - <b>Xd</b> (°)		
1	0,20	superiore al piano di posa delle fondazioni						Coesivo	Copertura vegetale
2	0,40	superiore al piano di posa delle fondazioni						Coesivo	Argille e argille organiche
3	0,60	superiore al piano di posa delle fondazioni						Incoerente – Coesivo	Limi e argille
4	7,80	235,8	<b>147,2</b>	<b>117,8</b>				Coesivo	Argille e argille organiche
5	8,00				24,0			Incoerente	Ghiaie e sabbie
6	8,20	235,4			23,1			Incoerente – Coesivo	Limi e argille
7	9,20	222,2	<b>186,9</b>	<b>149,5</b>				Coesivo	Argille e argille organiche
8	9,40				24,1			Incoerente	Ghiaie e sabbie
9	10,60	335,0	<b>298,3</b>	<b>238,6</b>				Coesivo	Argille e argille organiche
10	10,80	532,5			24,5			Incoerente – Coesivo	Limi e argille

Nota: i valori per l'angolo di attrito interno ricavati per gli orizzonti limosi, a comportamento duplice (incoerente-coesivo), sono da considerarsi come indicativi.

Tabella sintetica dei **valori caratteristici (Xk)** e dei **valori di progetto (Xd)** calcolati per la **CPT3**

orizzont e	Prof. Strato (m)	cu Media (KPa)	Valori caratteristici		$\Phi^\circ$ medio	Valori caratteristici		Comp. Geotecnico	Descrizione
			Cu - <b>Xk</b> (KPa)	Cu - <b>Xd</b> (KPa)		$\Phi$ - <b>Xk</b> (°)	$\Phi$ - <b>Xd</b> (°)		
1	0,20	superiore al piano di posa delle fondazioni						Coesivo	Copertura vegetale
2	4,20	175,7	<b>97,1</b>	<b>77,7</b>				Coesivo	Argille e argille organiche
3	4,40	359,9			26,9			Incoerente – Coesivo	Limi e argille
4	7,40	256,8	<b>178,1</b>	<b>142,5</b>				Coesivo	Argille e argille organiche
5	7,80	306,5	<b>272,5</b>	<b>218,0</b>	23,9	<b>23,7</b>	<b>19,3</b>	Incoerente – Coesivo	Limi e argille
6	8,00	235,4						Coesivo	Argille e argille organiche
7	8,20				24,6			Incoerente	Ghiaie e sabbie
8	8,60	304,5	<b>128,7</b>	<b>102,9</b>				Coesivo	Argille e argille organiche
9	9,20	286,6	<b>199,8</b>	<b>159,8</b>	23,3	<b>22,6</b>	<b>18,4</b>	Incoerente –	Limi e argille

								Coesivo	
10	9,60	253,9	236,1	50,0				Coesivo	Argille e argille organiche
11	9,80	394,2			23,9			Incoerente – Coesivo	Limi e argille
12	10,00	501,1						Coesivo	Argille e argille organiche
13	10,2				26,5			Incoerente	Ghiaie e sabbie

Nota: i valori per l'angolo di attrito interno ricavati per gli orizzonti limosi, a comportamento duplice (incoerente-coesivo), sono da considerarsi come indicativi.

## 7. Analisi del rischio liquefazione

Nell'area in oggetto non si riscontrano orizzonti liquefacibili.

## 8. Pericolosità geologica e problematiche geologico-tecniche

### 8.1 Rischio idraulico / idrologico / idrogeologico

L'area non si trova in aree esondabili.

### 8.2 Rischio dissesto e movimenti gravitativi

Data la morfologia della zona il rischio si ritiene non presente.

### 8.3 Vulnerabilità ambientale

Nel PTCP 2010 della Provincia di Reggio Emilia, Tavola P10a "Carta della tutela delle acque sotterranee e superficiali" la zona si trova in Settore B: aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda.

## 9. Conclusioni

La presente modellazione geologica e sismica è stata redatta per valutare le caratteristiche dei terreni di un'area ubicata in Comune di Casalgrande, in via Turati Loc. Sant'Antonino. L'area, attualmente non utilizzata, è di competenza di Immobiliare Gemma Spa, come parte dello stabilimento Unità Locale 5 di Panariagroup Industrie Ceramiche Spa.

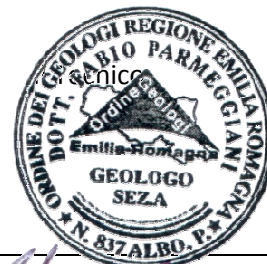
Nell'area in oggetto si prevede la realizzazione di una zona di carico e scarico di automezzi per la spedizione del prodotto finito, di una zona adibita a deposito palette, di una via di ingresso allo stabilimento con relativa rampa per raggiungere il piazzale rilevato e di un locale adibito a portineria – ufficio spedizioni. Il locale sarà ad un piano (h 4 m) e avrà una superficie complessiva di circa 250 m<sup>2</sup> (25X10 m).

**Valutando le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dell'area considerata, viene confermata la fattibilità dell'intervento.**

A tale riguardo, si sottolinea che:

- Nel corso delle prove penetrometriche effettuate (CPT 1, CPT 2, CPT 3), si sono individuati al di sotto del primo orizzonte costituito da terreno vegetale, alternanze di terreni argillosi e argilloso – limosi con sottili intercalazioni di terreni incoerenti, fino a circa 11 m dal p.c.
- Da perforazioni precedenti si rileva come il terreno sia costituito fino a circa 16 m dal p.c. da terreni prevalentemente argillosi e argilloso-limosi, mentre successivamente si trovano ghiaie e ghiaie sabbiose fino a circa 55 m dal p.c.
- Nel corso delle prove penetrometriche non è stata individuata la presenza di falda. i piezometri profondi hanno evidenziato l'assenza di falda freatica per i primi 68 m dal p.c., mentre è stata intercettata una falda confinata nello strato di ghiaie compreso tra – 68 e – 73 m dal p.c. nel piezometro P6.
- La velocità delle onde sismiche (Vs 30) permette di classificare i terreni (ODPCM 3274/03) nella categoria C (S = 1,25). Il Comune di Casalgrande (RE) è classificato come zona sismica (ODPCM 3274/03) in zona 2 (ag = 0,25).
- Nel rilievo dei microtremori (HVSr) effettuato il rapporto H/V ha evidenziato un picco principale di probabile origine stratigrafica (passaggio argilla – ghiaia alla profondità di circa 16 m) alla frequenza di 5,47 – 5,67 Hz.
- Sono possibili fenomeni di doppia risonanza per la portineria in progetto.
- I valori medi, caratteristici e di progetto (Tabella 1) dei parametri geotecnici calcolati in base alle prove penetrometriche statiche (CPT) effettuate sono idonei alla realizzazione dell'intervento in progetto.
- Non sono presenti orizzonti liquefacibili.
- Dal punto di vista del rischio idraulico e della vulnerabilità ambientale non sono stati rilevate criticità.

Modena, 23/06/2014





**ALLEGATI – PROVE PENETROMETRICHE CPT**

**ALLEGATI – INDAGINE SISMICA**