



COMUNE DI BUSSETO (PR)

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO COMPARTO AR6 "VIA BOITO"

SCHEDA POC N. 19 - AMBITO DI ESPANSIONE RESIDENZIALE



DOC. N.

D

REV.

0

TAVOLA

RELAZIONE GEOLOGICA - SISMICA

DATA

29/02/2016

SCALA

PROPRIETA'

B.M. IMMOBILIARE S.r.l.

Via Paganini n°16
43011 - Busseto (PR) - P.IVA 01983560341

B.M. IMMOBILIARE S.r.l.

Via Paganini, 16
43011 - BUSSETO (PR)
Partita IVA 01983560341
N. Iscriz. Registro Imprese PR/1997-161747

PROGETTISTA

STUDIO TECNICO
Ing. MAURIZIO GHIZZONI

VIA A.PONCHIELLI, 2 - 43011 BUSSETO (PR)
TEL. 0524/930103 - FAX 0524/930040
E-Mail: maurizio.ghizzoni@gteng.it - maurizio.ghizzoni@ingpec.eu
COD. FISC. GHZMRZ47H16B293F - P. IVA 02159950340



GEOLOGO

DR. GEOL.
EMANUELE EMANI

VIA DEI CILIEGI, 4 - 29010 VILLANOVA SULL'ARDA (PC)
TEL. 335-1281389
E-Mail: emageo@tin.it
iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna al n. 812



INDICE

1.0	INTRODUZIONE	2
2.0	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.0	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CATASTALE.....	5
4.0	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	6
4.1	Geologia e morfologia	6
4.2	Considerazioni idrogeologiche e idrografia superficiale.....	8
5.0	PROGRAMMA D'INDAGINE.....	10
6.0	ELABORAZIONE DATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE.....	10
6.1	Stratigrafia e parametri geotecnici	11
7.0	ASPETTI SISMICI	12
7.1	- Classificazione sismica del territorio	12
7.2	- Sismicità di base.....	13
7.3	- Zonazione sismogenetica.....	15
7.4	- Pericolosità sismica.....	18
8.0	RISPOSTA SISMICA LOCALE - INDIRIZZI METODOLOGICI DELLA D.R. 112/2007	20
9.0	INDAGINE SISMICA: CONCLUSIONI	22
10.0	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	23
10.1	- Categoria di sottosuolo	23
10.2	- Vita nominale dell'opera, periodo di ritorno dell'azione sismica e pericolosità sismica....	23
10.3	- Classe d'uso	24
10.4	- Periodo di riferimento.....	24
11.0	VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO	27
11.1	- Verifiche nei confronti dei stati limite di esercizio.....	28
12.0	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	29
ALLEGATO 1	- Risultati prove penetrometriche	
ALLEGATO 2	- Indagine MASW	

1.0 INTRODUZIONE

Per incarico del committente **B.M. Immobiliare S.r.l.**, nel mese di gennaio 2016 in comune di Busseto (PR), lungo la strada Provinciale che collega il capoluogo a Busseto a Polesine Parmense e con l'omonima via Boito trasversale alla stessa (fig. 1), si è svolto uno studio geologico-tecnico dell'area sulla quale è prevista la realizzazione di una nuova lottizzazione residenziale POC 19 - Comparto "AR6 - Via Boito". Con quest'indagine si valuteranno le caratteristiche geotecniche del terreno, allo scopo di individuare:

- la tipologia fondazionale più adatta alle reali proprietà litologiche riscontrate
- la stratigrafia del terreno e quindi la profondità di posa consigliata
- la compatibilità con il rischio sismico locale

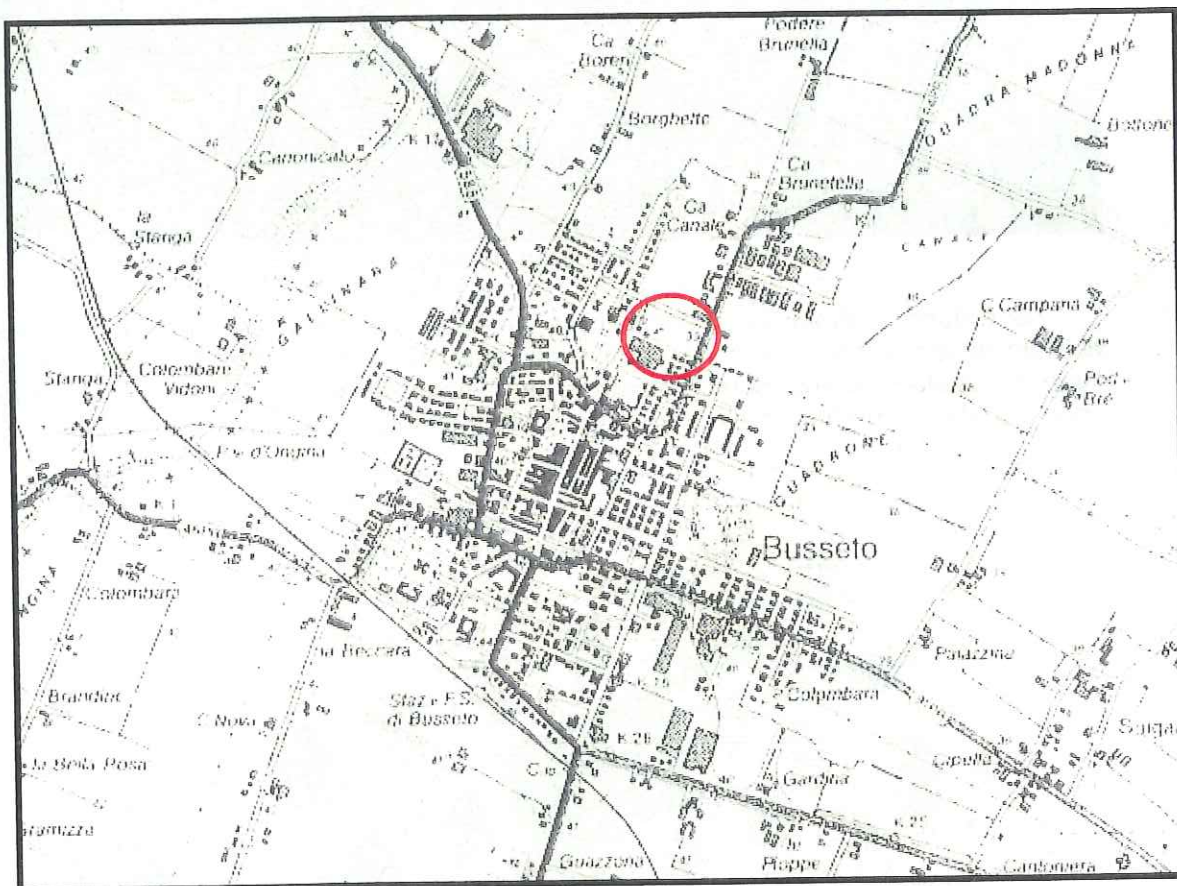


Fig.1 – Inquadramento geografico

Nella seguente indagine si è eseguita un'analisi complessiva dell'intervento in oggetto rispetto alla situazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e idrologica della zona, in modo da avere una visione complessiva della caratteristica dell'area in cui si prevede l'intervento. Si è potuto stabilire, sulla base di studi eseguiti nella zona, quali possano essere le eventuali penalizzazioni imposte dalle caratteristiche locali dell'acquifero, dall'escursione della falda freatica e dalle caratteristiche di drenaggio superficiale.

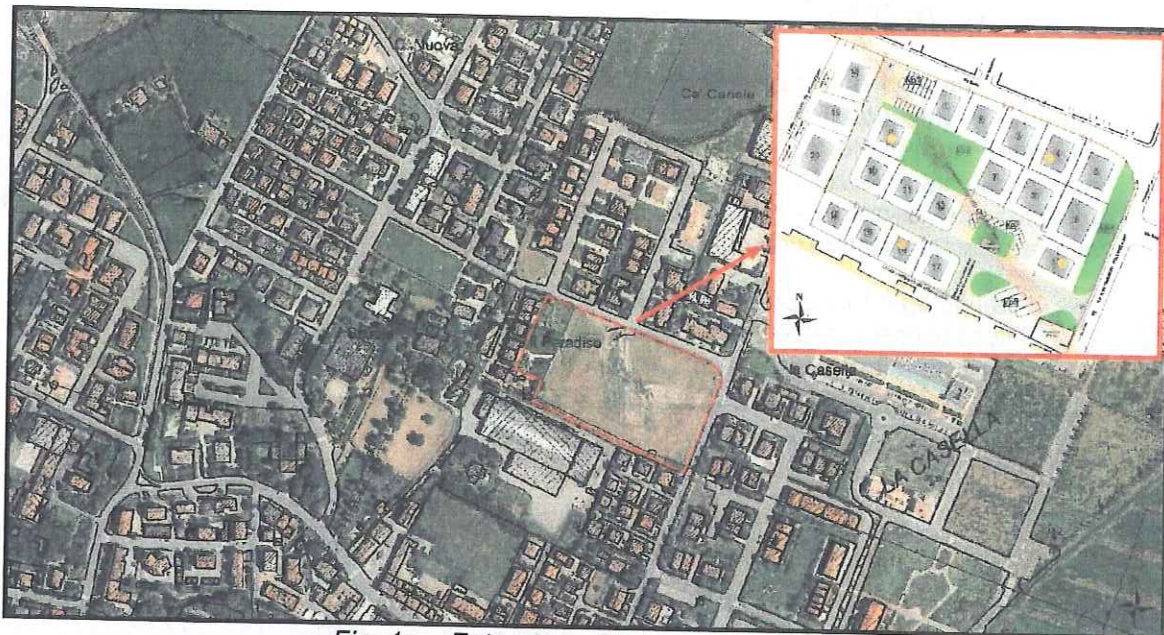


Fig. 1a – Foto aerea (fonte google-map)

Si è dunque effettuata un'analisi della situazione caratterizzando il terreno in base al risultato di una prova penetrometrica statica, realizzata il 06 giugno 2014; tali prove sono state realizzate mediante sonda penetrometrica statica/dinamica tipo pagani da 10 ton, e sono ubicate in prossimità della zona di possibile ingombro della nuova costruzione.

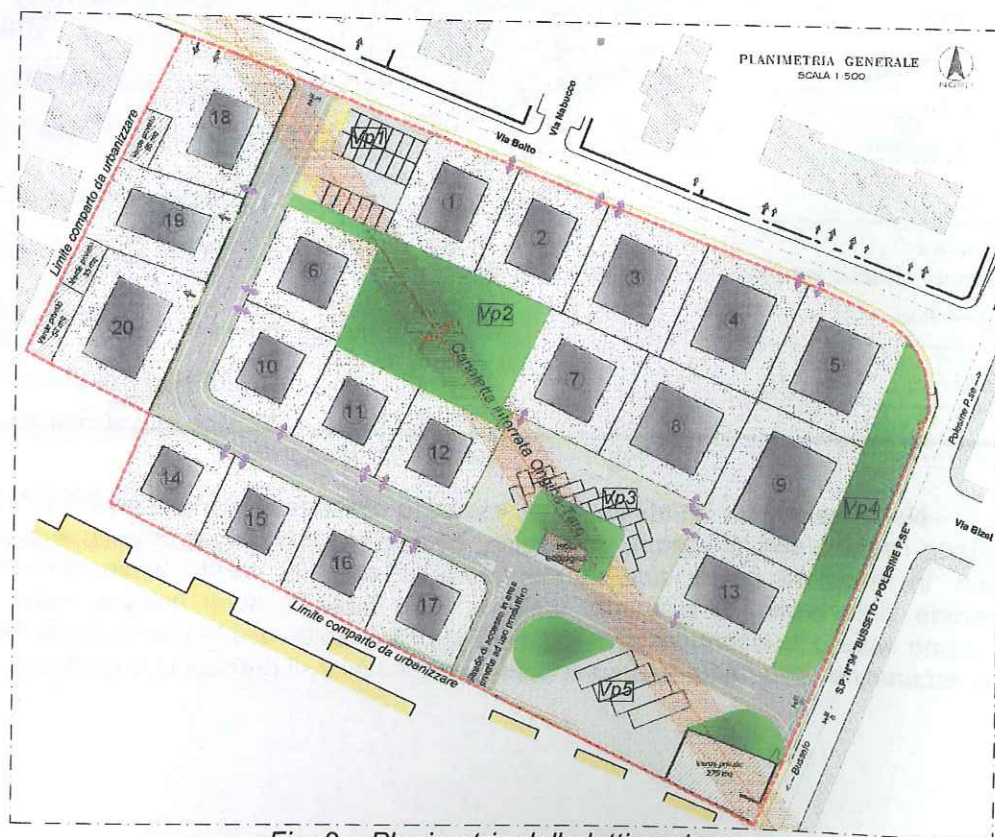


Fig. 2 – Planimetria della lottizzazione

Il livello piezometrico è stato misurato con l'ausilio di freatimetro direttamente nel foro di sondaggio. Le quote che verranno in seguito esposte sono sempre riferite al piano campagna. I dati ricavati sono stati poi rielaborati, utilizzando le interpretazioni proposte dalla letteratura specializzata, ricavando i parametri geotecnici, utili alla caratterizzazione del terreno. L'ubicazione delle prove è evidenziata nella *figura 1a* allegata.

2.0 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Decreto Ministeriale 14.01.2008: Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

Eurocodice 8 (1998): Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture
Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI

Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico

3.0 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CATASTALE

L'area indagata è ubicata nel comune di Busseto (PR). Non si sono presentati particolari problemi di accessibilità all'area di cantiere da parte dei mezzi di indagine, poiché il sito risulta facilmente raggiungibile dalla contigua strada comunale.

La quota media, nell'intorno della zona di studio è di circa 39,00 m s.l.m., come indicato nella Carta Topografica Regionale in scala 1:10.000 (fig.1). L'area è censita nel nuovo catasto dei terreni del comune di Busseto al Foglio 11, con i mappali indicati di seguito.

FOGLIO 11 - MAPPALI 782,783,784,842,843,844,845,846,847,848,849,850,851,852
SCALA 1:2000

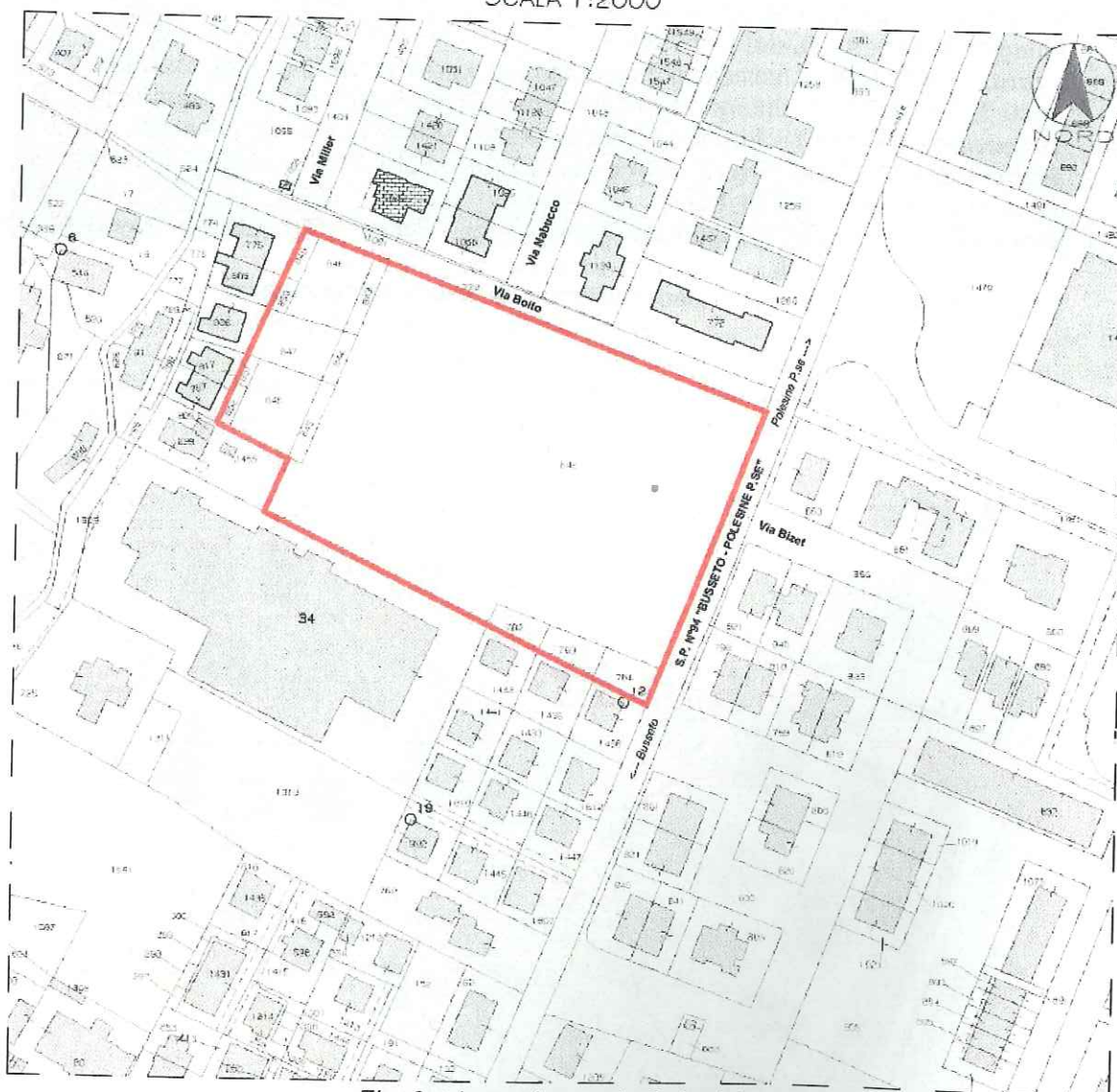
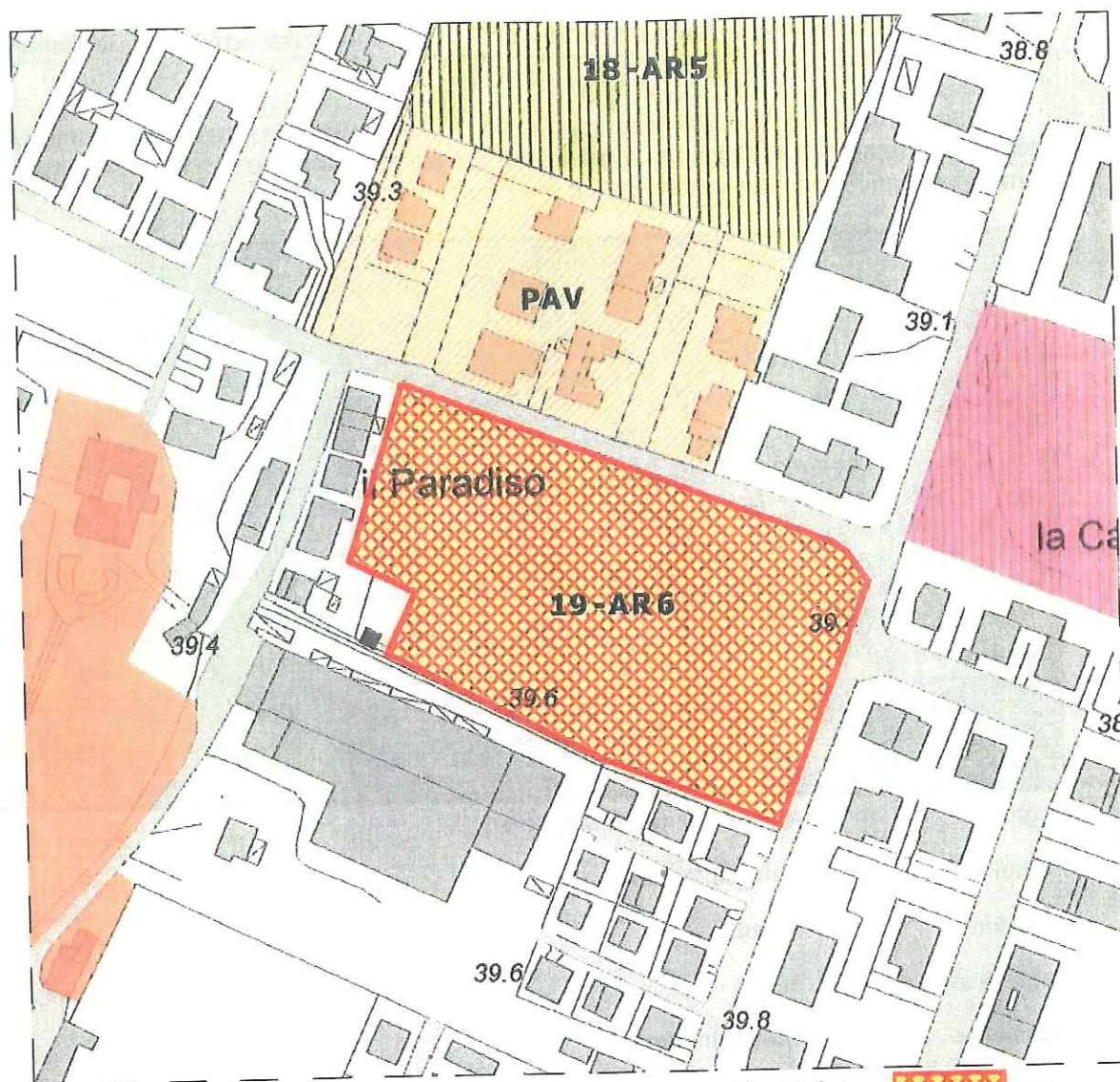


Fig. 3 – Inquadramento Catastale

Nel PSC comunale l'area è classificata nella scheda d'ambito POC 19- AR6, come di seguito evidenziato:



Ambito di nuova espansione prevalentemente residenziale

SCHEDA D'AMBITO POC19 - AR6 "Via Boito"

Fig. 4 - Estratto di POC

4.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

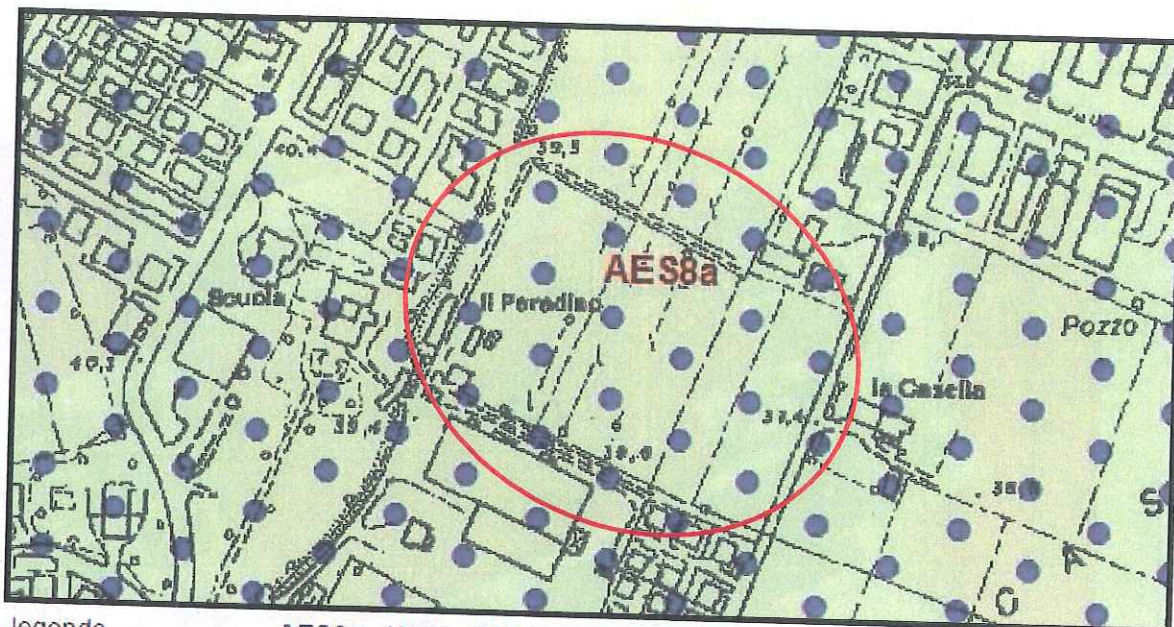
4.1 Geologia e morfologia

Morfologicamente il comune si presenta prettamente pianeggiante, con quote altimetriche che appaiono omogenee, variando con un debole gradiente verso Nord Est. I valori della clivometria sono compresi tra 0,1% e 0,2%. La quota media della zona d'indagine è di circa 39,00 m. s.l.m.

Si può evidenziare come lungo le fasce adiacenti dei principali corsi d'acqua sono presenti i depositi più recenti, mentre la restante parte del territorio di Busseto, che si estende nella Pianura Padana in destra Po, è occupata, nella parte più meridionale, da affioramenti Pleistocenici mentre nella rimanente da Alluvioni post-glaciali Oloceniche. Le

varie alluvioni s'immergono sensibilmente verso Nord-Est senza provocare particolari salti morfologici.

Nella Carta Geologica della Regione Emilia Romagna l'area è classificata come Unità di Modena e presenta una tessitura superficiale prevalente sabbiosa, con deposito alluvionale caratteristico di Piana Alluvionale (fig. 5).



legenda	AES8a - Unità di Modena
nome	Unità di Modena
tessitura	Sabbia
sigla tessitura	S
ambiente	Piana alluvionale
deposito	Piana alluvionale
legenda tessitura	Sabbia - Piana alluvionale

Fig. 5 – Carta Geologica Emilia Romagna

Buona parte del Comune di Busseto, si trova all'interno della formazione denominata "Unità di Modena" (AES8a). All'interno del P.S.C. comunale tale zona è classificata come "Depositi di canale e argine indifferenziati" (fig.6). Da un punto di vista morfologico ricade all'interno delle "superfici pianeggianti".

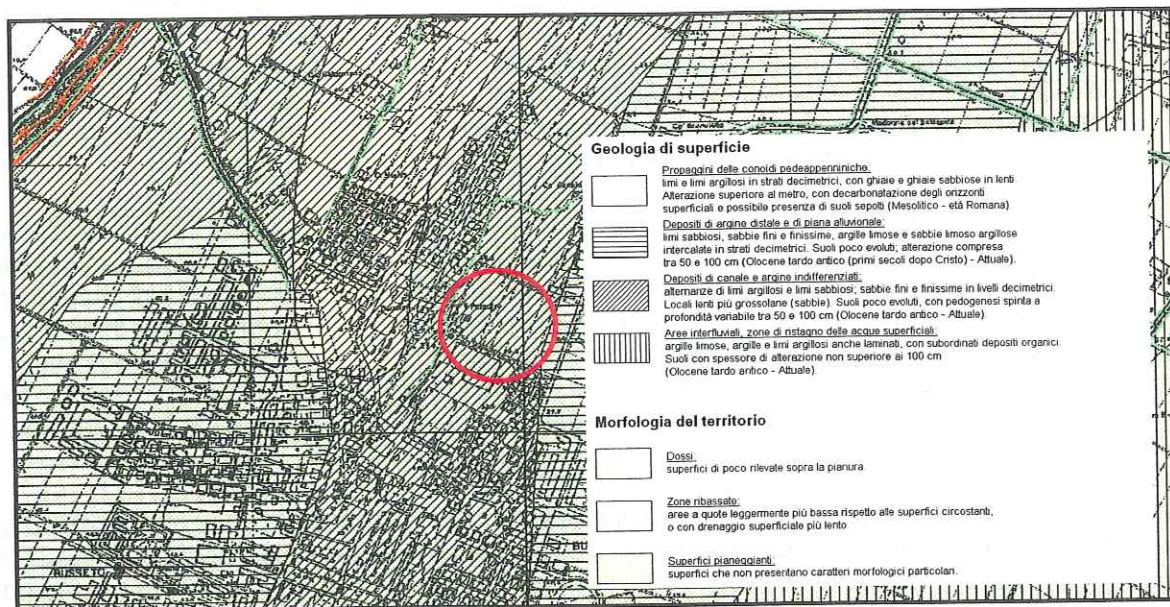


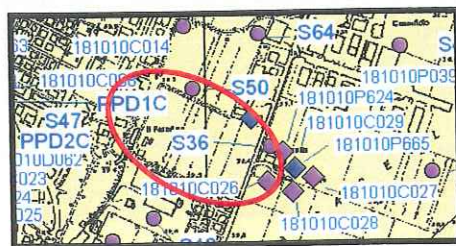
Fig. 6 – Inquadramento geologico

Per quanto si attiene le caratteristiche geolitologiche la fig. 7, estratta dal P.S.C. comunale, evidenzia come l'area ricada all'interno delle "unità 1", cioè argille prevalenti fino a -5,00 m dal p.c. e sabbie prevalenti oltre tali profondità.

POZZI CODICE	ID	TIPO	QUOTA	PROPRIETARIO	PROFONDITÀ	COMMITTENT	DITTA ESEC	DATA ESEC
181010P624	P624	P	39	GENIO-CIVILE-PR	14	P	PERAZZOLI	25342
FALDA	DATA_RIL	TETTO_G	DIAM_POZ	TIPO_POMPA	POT_MOTOR	PORTATA_POMPA	PORTATA_POZZ	
6	25342	9	105	8	1	1	2	

DA	A	LITOLOGIA	COLORE	L4	UMIDITÀ	FENESTRATURE	PLASTICITÀ	CONCREZIONI
0	6	argilla						
6	9	sabbia						
9	10	argilla						
10	14	sabbia						

Stratigrafia di pozzo



Unità litologico tecniche

- unità 1: argille prevalenti tra 0 e -5m da piano campagna, sabbie prevalenti tra -5m e -10m da piano campagna
- unità 2: argille prevalenti tra 0 e -10m da piano campagna

Fig. 7 – Inquadramento geolitologico

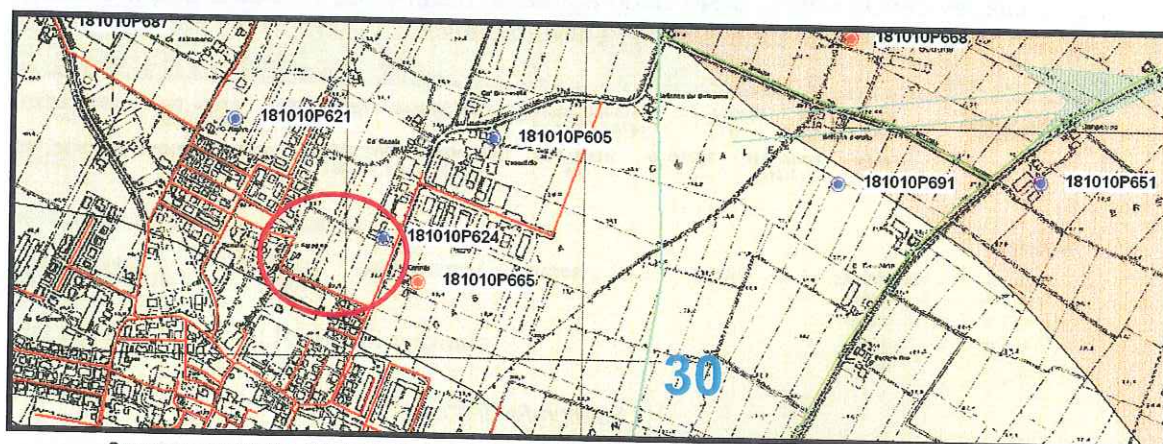
4.2 Considerazioni idrogeologiche e idrografia superficiale

Per facilitare il drenaggio e lo smaltimento delle acque, resa difficoltosa dall'uniformità del piano campagna, la rete idrografica è rappresentata dunque da canali artificiali, spesso orientati ortogonalmente fra di loro, che convergono entro fossi maggiori, creati con lo scopo di regolare e facilitare lo scorrimento superficiale dell'acqua.

Il sottosuolo del Comune di Busseto è costituito da depositi di granulometria sabbiosa e sabbiosa-limosa con elevata permeabilità che ospitano un sistema di falde intercomunicanti, per la limitata continuità dei banchi impermeabili. Dalla configurazione stratigrafica del sottosuolo si possono osservare sottounità fine, di natura coesiva prevalente, sovrapposte a litologie incoerenti oltre i 5/6,00 metri (valutazione da prove penetrometriche oggetto di approfondimento).

In fase di realizzazione dei sondaggi non si è riuscito a misurare il livello piezometrico con l'ausilio di freattimetro direttamente nel foro di sondaggio. La falda probabilmente dovrebbe essere artesianica (in risalita dai livelli incoerenti), il che permette di ritenere poco probabili eventuali interferenze della falda con fondazioni superficiali (vista la tipologia di opera in progetto), anche se per avere informazioni più precise, sarebbe necessario uno studio sviluppato lungo un maggior arco temporale. Bisognerà comunque evitare che lo scavo rimanga per troppo tempo a cielo aperto, per prevenire eventuali riempimenti da parte di acque meteoriche

Nel P.S.C. comunale nella carta relativa al "Sistema delle acque sotterranee" (fig. 8), sono evidenziate le isolinee e la direzione relativa alla piezometria riscontrata nel territorio comunale. In quest'area lo spessore dei depositi porosi permeabili nella zona di studio è indicata come compresa tra 40 e 60 m. Le linee freatiche non sono chiare ma possono indicare sulla base dell'unica curva di livello e del gradiente idraulico evidenziano un livello di circa 6-7,00 m dal p.c., mentre il pozzo P624 indica un livello di circa 6,00 m dal p.c.



Spessore cumulativo dei depositi porosi-permeabili
(tratta da "Risorse Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna, 1998)

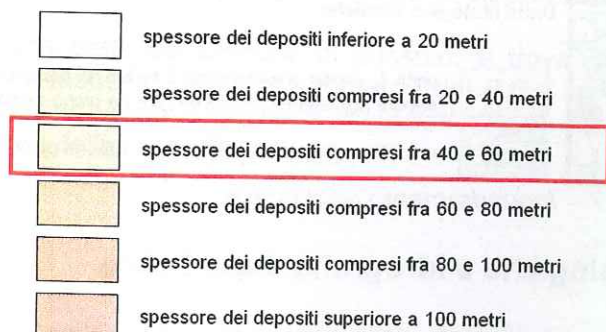


Fig.8 – Inquadramento idrogeologico

5.0 PROGRAMMA D'INDAGINE

In funzione degli obiettivi di valutazione delle caratteristiche già evidenziate nel *Paragrafo 1.0*, si è seguita la seguente procedura:

- Acquisizione di tutta la cartografia utile alla definizione dell'area.
- Raccolta della bibliografia esistente, relativamente a studi generali sull'area ed eventuali lavori specifici realizzati dallo scrivente.
- Verifica delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche di superficie, con particolare riferimento alla geomorfologia.
- Realizzazione di prove penetrometriche statiche utili alla determinazione delle litologie caratteristiche dell'area di studio (l'ubicazione è stata vincolata dalla presenza di un piazzale di cls armato su buona parte della zona di nuova costruzione).
- Realizzazione di indagine sismica MASW.

Si precisa che con l'ausilio esclusivamente di prove penetrometriche statiche, non è stato possibile valutare direttamente e con maggiore precisione le caratteristiche geotecniche dei materiali intercettati (per tale scopo si sarebbe dovuto eseguire un'analisi di laboratorio su campioni indisturbati), per questo i valori indicati sono cautelativi.



Fig. 9 – Planimetria delle indagini eseguite

6.0 ELABORAZIONE DATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

Lo studio si è basato sui risultati di quattro prove penetrometriche realizzate mediante penetrometro statico tipo Pagani, con spinta nominale pari a 100 KN (10 ton). Al fine di ottenere utili informazioni tecniche destinate al corretto dimensionamento delle opere di fondazione e delle strutture murarie in progetto; si è proceduto alla verifica delle reali caratteristiche lito stratigrafiche e geotecniche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame, attraverso la realizzazione di sondaggi penetrometrici di tipo "statico - CPT". La

strumentazione utilizzata è costituita da un penetrometro statico olandese tipo "Gouda CPT 10 Tonnellate", le cui caratteristiche standard sono a norma A.G.I.

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico), consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm/sec} \pm 0.5 \text{ cm/sec}$). La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia d'aste (aste esterne cave ed aste interne piene coassiali) alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Le dimensioni della punta/manicotto tipo "Begeman" sono standardizzate, e più precisamente:

diametro punta : 3,6 cm
angolo punta : 60°
superficie punta : 10 cm²
sup. manicotto : 150 cm²

Lo sforzo necessario per l'infissione è determinato per mezzo di un opportuno sistema di misura collegato al martinetto idraulico, la punta conica (di tipo telescopico) è dotata di un manicotto laterale (punta/manicotto tipo "Begemann"). Nei diagrammi e tabelle allegate sono riportate sia i valori di resistenza rilevati dalle letture di campagna durante l'infissione dello strumento, in cui la "Resistenza alla Punta" R_p e la "Resistenza Laterale" R_l sono rilevate ad intervalli regolari di 20 cm, sia i valori di resistenza unitaria di punta e laterale (Diagramma di resistenza).

Le prove di campagna restituiscono i valori delle resistenze unitarie di punta q_c e laterale f_s , dal loro rapporto si può desumere la granulometria del sottosuolo indagato con i grafici proposti da BEGEMANN (1965). Sono fornite anche le tabelle dei parametri geotecnica di ciascun orizzonte litologico attraversato, vedi tabelle allegate. L'ubicazione delle prove è rappresentata in **fig. 9**.

6.1 Stratigrafia e parametri geotecnici

Oltre all'elaborazione dei valori di resistenza del sottosuolo, è stato possibile realizzare una colonna stratigrafica verosimile sulla base del rapporto R_p/R_l fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Raccomandazioni A.G.I. 1977), ovvero in base ai valori di R_p e del rapporto $FR = (R_l/R_p) \%$ (esperienze di Shmertmann - 1978). I valori di resistenza penetrometrica sono stati elaborati tramite specifici programmi di calcolo, in grado di determinare i parametri geotecnici sulla base delle relazioni semiempiriche riconosciute.

Il sondaggio è stato spinto fino ad una profondità massima di 9,80 m, quota a cui ha posto rifiuto alla penetrazione; la stratigrafia e le caratteristiche geotecniche delle prove realizzate, è contenuta integralmente nell'*Allegato 1*. Di seguito è riportata sinteticamente la **stratigrafia tipo** ricavata dall'analisi delle prove eseguite:

- **Terreno agrario/riporto** si sviluppa dal piano campagna fino a circa -1,00 m e rappresenta nella sua parte più superficiale il livello pedogenizzato argilloso; tale corpo dovrà essere oltrepassato in fase di posa delle fondazioni, in quanto è quello che maggiormente risente delle variazioni climatiche stagionali. Unica eccezione è rappresentato dall'indagine S3 in cui si osserva un approfondimento di tale livello fino a circa 1,80 m dal p.c.
- **Livello A** si sviluppa dal piano campagna fino ad una profondità variabile da -3,00 m a - 5,00, ed è costituito da una litologia prevalentemente argillosa; si evidenzia

dunque una certa disomogenità nello spessore del livello che dovrà essere oggetto di un'attenta valutazione durante il calcolo delle fondazioni. Tale livello presenta caratteristiche geotecniche mediocri ma comunque con un numero di colpi tra 20 e 30 Kg/cm² corrispondenti ad una coesione di circa 0,80/0,90 Kg/cm²; nella sua porzione più superficiale presenta le caratteristiche più scadenti con valori di Rp inferiori a 20 Kg/cm² ed il livello si presenta debolmente sottoconsolidato.

- **Livello B** si sviluppa fino a -7,00/8,00 m, esso è costituito da una litologia prevalentemente limosa-sabbiosa o talora sabbiosa; tale livello presenta le caratteristiche geotecniche discrete con valori di angolo d'attrito di circa 31°-33°, per cui rappresenta il livello di transizione verso la litologia francamente incoerente sottostante (infatti spesso sfuma lateralmente in una litologia limosa-argillosa ad evidenziare una discontinuità laterale).
- **Livello C** è caratterizzato da una litologia prevalentemente sabbiosa-limosa o sabbiosa addensata. Lo strato si estende fino a fondo sondaggio (-9,80 metri dal p.c.). Tale livello presenta le caratteristiche geotecniche buone con valori di angolo d'attrito mediamente maggiori di 33-35°.

Come già evidenziato, nella misura eseguita con freatimetro direttamente nel foro di sondaggio, si è riscontrata la presenza d'acqua nel foro di sondaggio ad una quota di circa 5,20-5,60 m dal p.c. Per avere un'informazione più precisa sulla reale fluttuazione della falda sarebbe comunque necessario uno studio protratto nel tempo.

7.0 ASPETTI SISMICI

7.1 - Classificazione sismica del territorio

Il territorio italiano è stato suddiviso in quattro zone (o categorie) contraddistinte da differenti valori di PGA (cfr. *Tabella 1.1*).

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1	>0.25
2	0.15-0.25
3	0.05-0.15
4	<0.05

Tabella 1.1: Valori di PGA per le varie zone

Di seguito si riporta la zonizzazione relativa al territorio regionale (cfr. *Figura 10*):

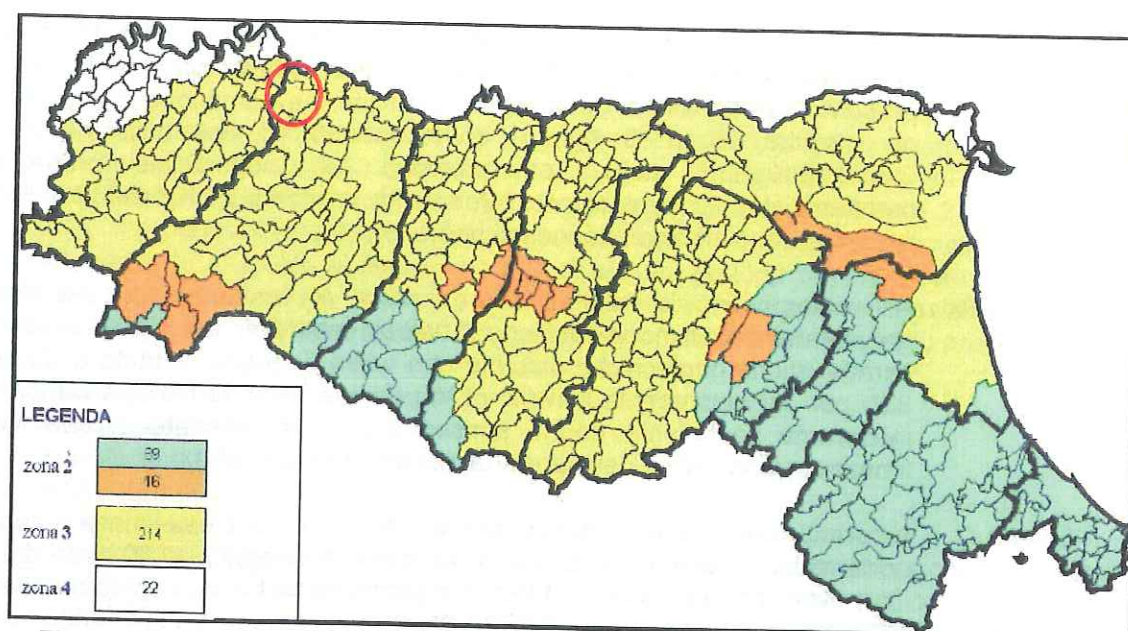


Figura 10: Classificazione sismica vigente dei Comuni della Regione Emilia-Romagna

Come si può vedere dalla carta di macrozonazione sismica della Regione Emilia Romagna (cfr. Figura 10), il Comune di Busseto ricade nella Zona 3, definita come zona a "sismicità medio-bassa". L'accelerazione massima di riferimento, secondo la classificazione, raggiunge valori massimi di PGA pari a 0,15 g.

Lo studio è articolato attraverso lo sviluppo dei seguenti punti:

- Inquadramento territoriale e sismico
- Analisi della Risposta Sismica Locale (RSL); a tal fine, è stata eseguita, in data 18 aprile 2013, nr. 1 analisi dei microtremori (ReMi). L'indagine è finalizzata al calcolo delle Vs30 (valore medio delle velocità di taglio nei primi 30 metri) e alla definizione del suolo di fondazione sulla base della nuova classificazione sismica del territorio nazionale e del Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 (pubblicato sul supplemento ordinario nr. 30 della Gazzetta Ufficiale del 04 febbraio 2008 – "Norme Tecniche per le Costruzioni").

Sulla base sia di dati in nostro possesso che di dati consultati presso enti, si è cercato di fornire, in questa sede, una classificazione del suolo di fondazione sulla base della nuova classificazione sismica del territorio nazionale. Le procedure per la valutazione della risposta sismica locale seguono la Delibera Regionale n. 112 del 02 maggio 2007 che fornisce gli indirizzi e i criteri attuativi per la valutazione della risposta sismica locale e per la microzonazione sismica del territorio. Tali indirizzi si basano sulle più recenti metodologie di analisi (Allegato A alla Direttiva Regionale 112/2007 DGR 2193 del 21 dicembre 2015) messe a punto dalla comunità scientifica nazionale.

7.2 - Sismicità di base

Le informazioni relative alla sismicità storica del Comune di Busseto, sono state desunte dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, redatto grazie all'INGV dal Gruppo di lavoro CPTI nel 2011 (CPTI-11), che elenca tutti i terremoti avvenuti dal 1000 al 2006. La versione 2011 del catalogo CPTI rappresenta un'evoluzione significativa rispetto alla versione 2004, con particolare riferimento a contenuti e struttura.

Innanzitutto il catalogo si riferisce ad un database macrosismico (DBMI11; Locati et alii, 2011) e su una base di dati strumentali molto più ampia ed aggiornata. In aggiunta, sviluppando quanto già avviato con le versioni CPTI08 e CPTI08aq, il catalogo contiene anche un certo numero di record relativi a foreshock e repliche per cui sono disponibili dati macrosismici e/o strumentali.

I terremoti più prossimi all'area di Busseto, estratti da questo catalogo, sono elencati nella Tabella 1 in ordine decrescente di Magnitudo (MwM) con epicentro a distanza inferiore ai 40 km dall'area di studio (**Lat. 44.983572, Long. 10.046015**) e indicati nella mappa riportata in *Figura 11*.

La sismicità è classificabile come media e la dimostrazione ci viene fornita dalle osservazioni storiche, dove gli eventi di rilievo, ubicati nelle vicinanze di Busseto (*Tabella 1*), non raggiungono mai valori di Magnitudo uguali e/o superiori a 6. Come è possibile osservare nella mappa in *Figura 11*, i terremoti sono prevalentemente ubicati nel Parmense.

FID	Shape *	Anno	Area	Imx	Io	Lat	Lon	MwM
2019	Point	1971	Parmense	8	8	44,814	10,345	5,67
133	Point	1438	Parmense	8	8	44,844	10,239	5,57
1212	Point	1898	Valle del Parma	7-8	7-8	44,655	10,26	5,41
710	Point	1818	Parmense	7-8	7	44,696	10,295	5,28
2073	Point	1983	Parmense	7	6-7	44,755	10,265	5,27
2062	Point	1980	Piacentino	7	6-7	44,801	9,757	5,22
1037	Point	1885	SCANDIANO	6	6	45,208	10,169	5,19
479	Point	1738	PARMA	7	7	44,906	10,028	5,14
58	Point	1304	Pianura Padana	5	5	45,01	10,149	5,11
1790	Point	1937	Parmense	7	7	44,764	10,338	4,76
252	Point	1572	PARMA	7	6	44,85	10,422	4,72
1048	Point	1886	COLLECCHIO	6	6	44,75	10,306	4,7
2004	Point	1969	Parmense	5-6		44,903	10,049	4,7
468	Point	1732	Parma	6-7	5-6	44,871	10,468	4,65
744	Point	1829	CREMONA	6-7	5-6	45,136	10,024	4,51
1416	Point	1910	PONTE DELL'OLIO		5-6	44,9	9,633	4,51
1959	Point	1961	Parmense	5-6	5-6	44,739	10,229	4,47
2110	Point	1991	Parmense	5-6	5	44,94	10,007	4,37
328	Point	1653	Pianura Padana	6	5	45,033	10,2	4,3
98	Point	1383	PARMA	5-6	4-5	44,801	10,329	4,09

Tabella 1: Sismicità storica nell'area di studio.

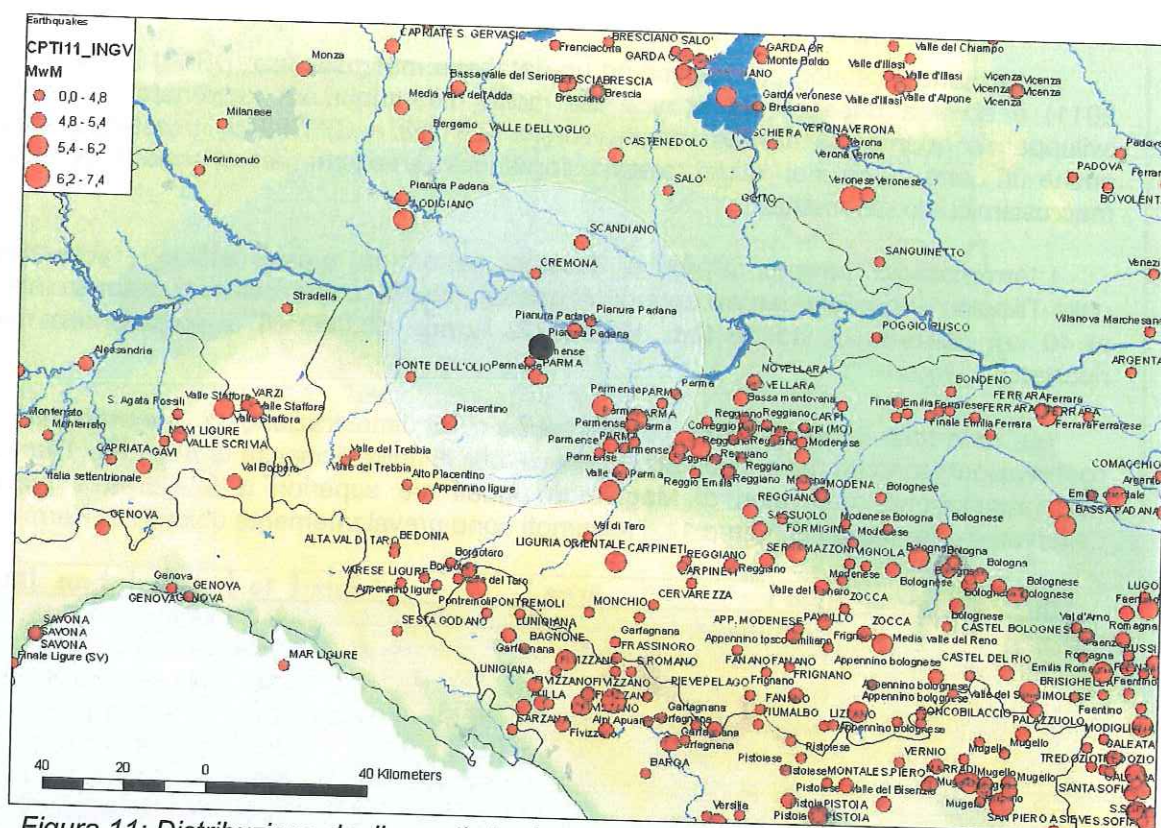


Figura 11: Distribuzione degli eventi sismici estratta dal catalogo parametrico dei terremoti italiani del 2011 (CPTI 11) che mostra gli epicentri dei terremoti più significativi avvenuti nell'area interessata e zone limitrofe.

7.3 - Zonazione sismogenetica

L'inquadramento macrosismico di riferimento si basa sulla zonazione sismogenetica del territorio italiano ZS9, elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). La zonazione, effettuata con lo scopo di creare una base per la stima della pericolosità sismica (hazard) del territorio nazionale, si fonda su un modello sismotettonico riferibile alla correlazione dei seguenti elementi:

1. Il modello strutturale 3D della penisola italiana e dei mari adiacenti;
2. la distribuzione spaziale dei terremoti storici e attuali per le diverse classi di magnitudo;
3. il modello cinematico dell'area mediterranea centrale, riferito agli ultimi 6 milioni di anni.

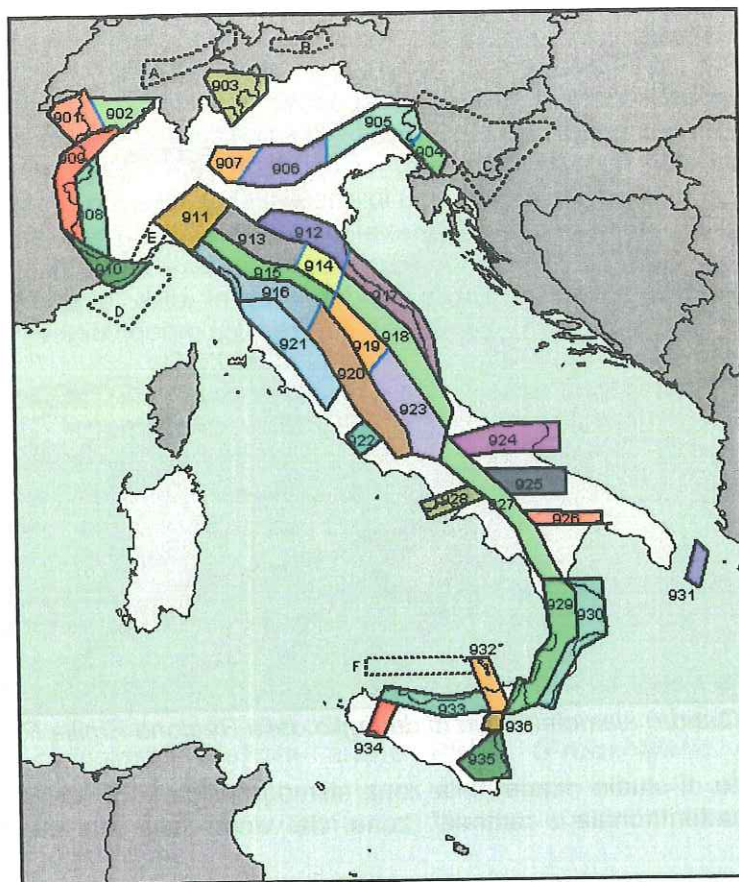


Figura 12: Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV)

Per zone sorgente, o sismogenetiche, si intendono quelle aree che si possono considerare omogenee dal punto di vista geologico – strutturale e soprattutto cinematico. Il nuovo modello sismogenetico usato in Italia, introdotto appositamente per la redazione della mappa di pericolosità 2004, è la cosiddetta zonazione ZS9 per la quale il territorio italiano è stato suddiviso in 36 diverse zone, numerate da 901 a 936, più altre 6 zone, identificate con le lettere da "A" a "F" fuori dal territorio nazionale (A-C) o ritenute di scarsa influenza (D-F) (Figura 12).

Per ogni zona sismogenetica è stata effettuata una stima della profondità media dei terremoti e del meccanismo di fagliazione prevalente. Si è valutato, inoltre, il grado di incertezza nella definizione dei limiti delle zone. In generale, le Zone Sismogenetiche (ZS), che vanno dalla 901 alla 910, sono legate all'interazione tettonica Adria – Europa.

Il settore in cui è osservata la massima convergenza tra le placche adriatica ed europea (904-905 e subordinatamente 906) è caratterizzato dalle strutture a pieghe sud – vergenti e dalle faglie inverse associate del Sud alpino orientale e, nelle aree ad est del confine friulano, da faglie trascorrenti destre con direzione NO-SE (Figura 13).

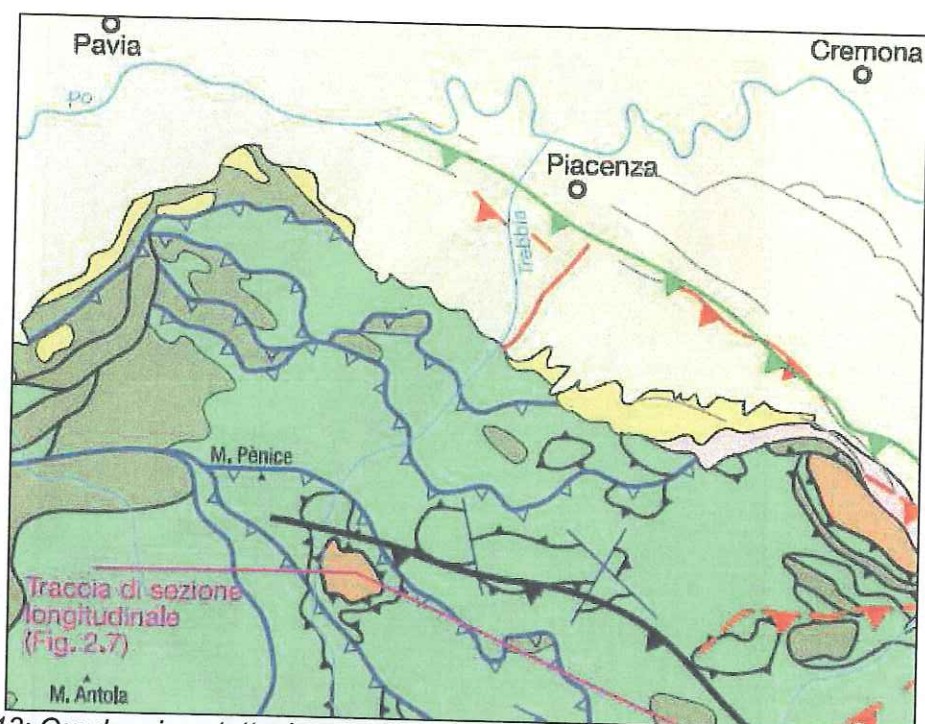


Figura 13: Quadro sismotettonico di dettaglio della Regione Emilia Romagna occidentale.

L'area oggetto di studio ricade nella zona sismogenetica 913, che fa parte del complesso "Appennino settentrionale e centrale" (zone che vanno dalla 911 alla 923), come si vede in Figura 14.

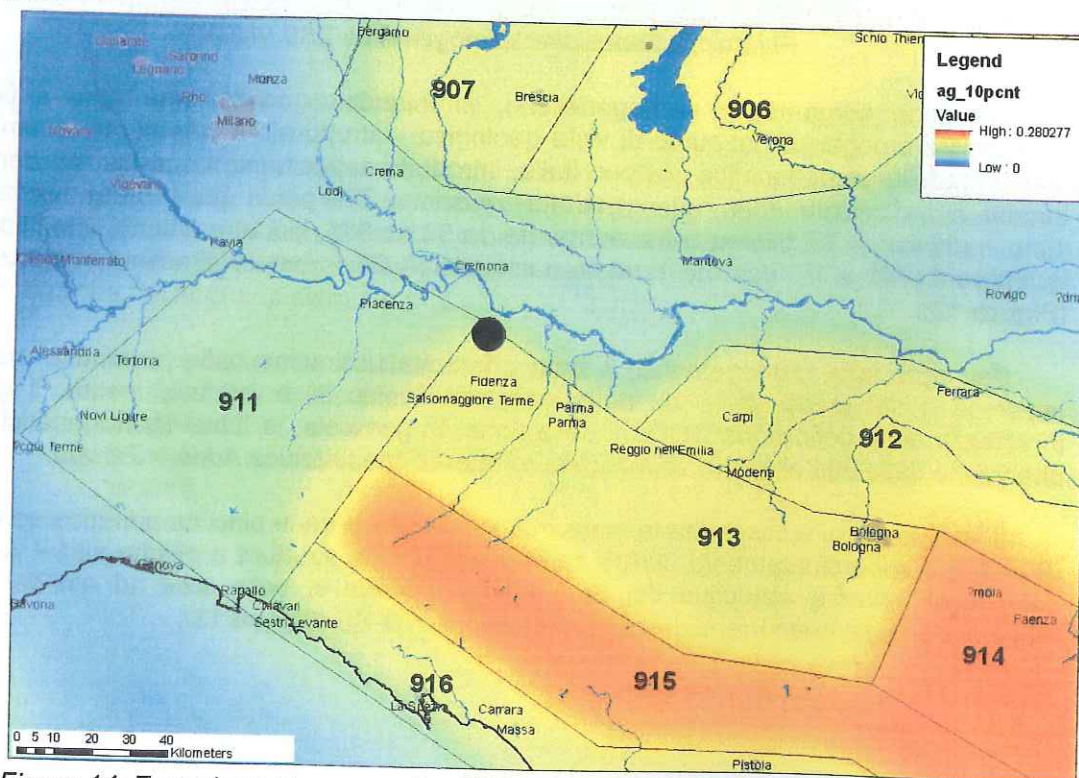


Figura 14: Zonazione sismogenetica ZS9: l'Italia del Nord (da Meletti C. & Valensise G., 2004).

7.4 - Pericolosità sismica

La pericolosità sismica, intesa in senso probabilistico, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc) e dei parametri di riferimento (per esempio: scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc). In generale, la valutazione della Pericolosità sismica di un sito si realizza attraverso quattro diverse fasi:

- 1) Identificazione e caratterizzazione di tutte le sorgenti di eventi sismici in grado di produrre uno scuotimento significativo al sito. La caratterizzazione delle sorgenti include la definizione di ogni geometria di sorgente e relativo potenziale sismico.
- 2) Individuazione della distribuzione di probabilità dei terremoti o relazione di ricorrenza delle sorgenti considerate, che specifica il tasso medio di superamento di un terremoto di definita magnitudo.
- 3) Valutazione dello scuotimento del suolo prodotto dagli eventi sismici attraverso le relazioni di attenuazione.
- 4) Combinazione delle incertezze per ottenere la probabilità che un parametro descrittivo dello scuotimento del terreno sia superato in un determinato intervallo temporale.

L'analisi di pericolosità, definita anche **PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Assessment)**, necessita quindi di:

- Sorgenti sismogenetiche
- Cataloghi sismici (storici e/o strumentali)
- Relazioni di attenuazione.

Gli effetti di tutti i terremoti di differente magnitudo, a differente distanza, in differenti zone sismogenetiche e a differente probabilità di occorrenza sono integrati nelle curve di pericolosità sismica che mostrano la probabilità di eccedenza di differenti valori di un dato parametro descrittivo dello scuotimento, ad esempio l'accelerazione, durante uno specificato periodo di tempo.

Nuove carte sulla pericolosità sismica sono state recentemente prodotte dall'Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia (INGV); tale cartografia, realizzata per tutto il territorio italiano, si basano quindi su studi accurati che prevedono l'utilizzo dei dati contenuti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04 e CPTI11), delle informazioni relative alla più recente Zonazione Sismogenetica ZS9 e dei relativi modelli cinematici di sviluppo della tettonica crostale, ed infine di una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo.

Il valore del parametro di scuotimento fornito dall'analisi di pericolosità sismica non corrisponde quindi ad un particolare evento, ma deve essere considerato come il prodotto, espresso in termini probabilistici, degli effetti combinati di tutti gli eventi di differente magnitudo e distanza rappresentativi dell'intera storia sismica dell'area in esame. La carta di riferimento per valutazioni di pericolosità sismica è rappresentata dalla distribuzione probabilistica dell'accelerazione massima al suolo, definita **PGA (Peak Ground Acceleration)** ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità "g", pari a $9,81 \text{ m/sec}^2$.

Occorre tuttavia sottolineare che i valori di accelerazione massima vengono riferiti a suoli rigidi ($V_s > 800 \text{ m/sec}$; Cat. A); per tale motivo, le carte di pericolosità sismica non

tengono conto dei possibili fenomeni di amplificazione dovuti a condizioni geologiche locali, che sono invece oggetto delle analisi di risposta sismica locale (RSL).

Per il Comune di Busseto dai tabulati della Delibera Regionale n. 112 del maggio 2007, è possibile ottenere un valore di a_{refg} pari a **0,119 g** per un tempo di ritorno di 475 anni. Sulla base della documentazione allegata al Nuovo Testo Unico 2008, si riportano di seguito il grafico rappresentativo degli spettri di risposta elastica per determinati tempi di ritorno (Figura 15), e i valori di tali parametri esplicitati in tabella.

Le nuove norme tecniche forniscono le forme spettrali in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento

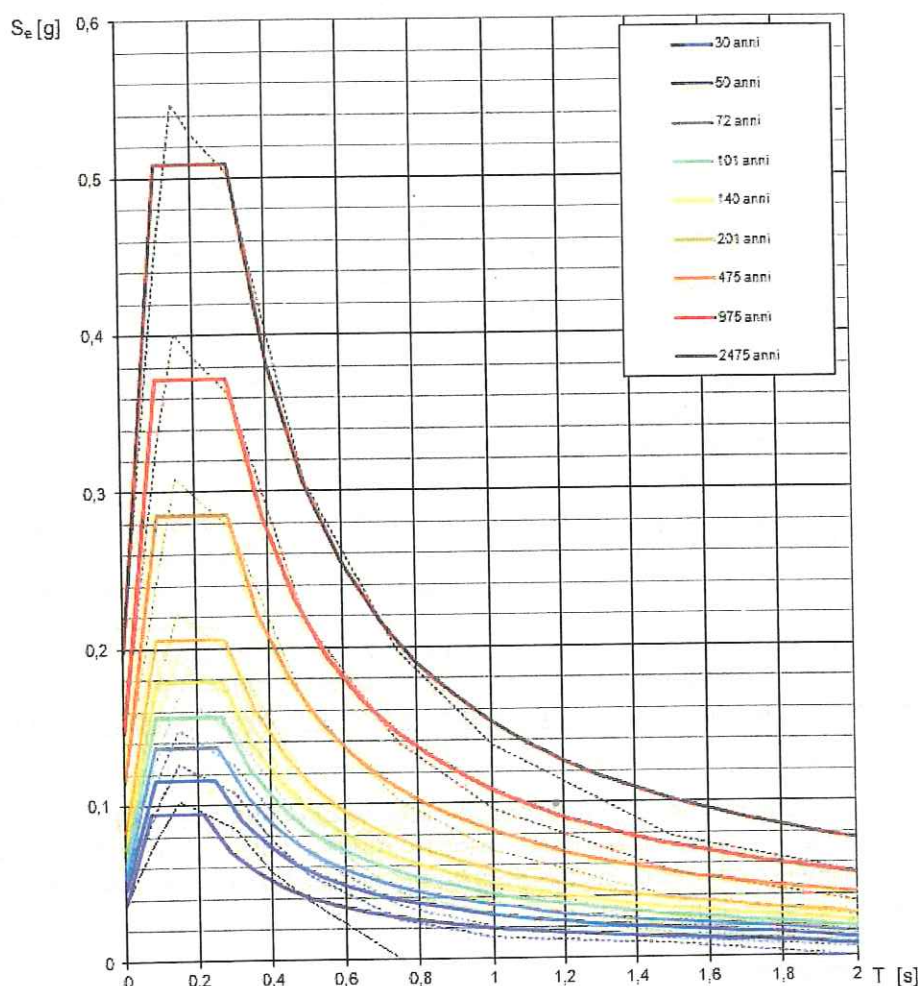
T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
30	0,037	2,539	0,216
50	0,047	2,499	0,248
72	0,054	2,516	0,257
101	0,062	2,522	0,270
140	0,072	2,498	0,275
201	0,082	2,504	0,280
475	0,114	2,493	0,289
975	0,147	2,535	0,292
2475	0,199	2,560	0,300

Come si può notare esiste una leggera e quindi non sostanziale differenza con i valori regionali sopra riportati, specificatamente riguardo al valore di a_{refg} per un tempo di ritorno di 475 anni.

La pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia (<http://esse1.mi.ingv.it/>). Il sito è individuato dalle seguenti coordinate:

Latitudine **44.9836**

Longitudine **10.0460**

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento

NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Figura 15: Grafico spettri di risposta elastici per i vari tempi T_R di ritorno.

8.0 RISPOSTA SISMICA LOCALE - INDIRIZZI METODOLOGICI DELLA D.R.**112/2007**

Lo scopo della Delibera Regionale 112/2007, emessa dalla Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna in data 2 Maggio 2007, è quello di fornire i criteri per l'individuazione delle aree che potrebbero essere soggette ad effetti sismici locali (microzonazione sismica) in modo da orientare le scelte di pianificazione verso le aree a minor rischio.

La metodologia indicata per tali tipi di studio prevede due fasi di analisi, con diversi livelli di approfondimento. La prima fase ha carattere qualitativo ed è diretta ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc). Essa viene realizzata sulla base di rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico,

svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati.

La seconda fase ha invece come obiettivo la microzonazione sismica del territorio. Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

- a) **analisi semplificata** (secondo livello di approfondimento); basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologico più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche in sito e su prove geotecniche di tipo standard; essa viene svolta nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività minore o uguale a 15° in cui il deposito ha spessore costante.
- b) **analisi approfondita** (terzo livello di approfondimento); richiesta nei seguenti casi (vedere Allegato A1 della D.L. 112/2007):
- Aree soggette a liquefazione e densificazione;
 - Aree instabili e potenzialmente instabili;
 - Aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
 - Aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

L'analisi approfondita richiede un significativo numero di prove geofisiche e geotecniche, sia in sito che in laboratorio, volte alla valutazione quantitativa del comportamento dei terreni sotto sollecitazione dinamica. La seconda fase non è richiesta nei comuni classificati in Zona 4.

L'analisi semplificata del secondo livello prevede la valutazione dei fattori di amplificazione F_a sulla base delle velocità medie delle onde di taglio all'interno della copertura (V_{sH}) o nei primi 30 metri dalla superficie (V_{s30}), calcolate secondo le seguenti formule:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}} \quad V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

La Delibera Regionale 112/2007, per un'analisi semplificata del secondo livello, propone l'utilizzo di una serie di tabelle di carattere empirico che mettono in relazione i valori di V_{sH} o di V_{s30} con i fattori di amplificazione. Le varie Tabelle rispecchiano situazioni geologiche tipiche del territorio regionale, tra le quali occorre scegliere quella che meglio corrisponde alle caratteristiche dell'area di studio. I fattori stimati esprimono l'amplificazione del moto sismico al passaggio dal bedrock alla superficie. Essi possono essere espressi sia come rapporto di PGA che come rapporto tra le intensità spettrali calcolate sugli spettri di pseudo-velocità all'interno di nr. 3 intervalli distinti:

- **SI1:** 0.1-0.5 sec
- **SI2:** 0.5-1.0 sec
- **SI3:** 0.5-1.5 sec

La tabella di riferimento per la valutazione dei fattori di amplificazione F_a è riportata in **Figura 16.**

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5
F.A. SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5
F.A. SI2	3.0	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1
F.A. SI3	3.4	3.2	2.8	2.5	2.2	2.0

Figura 14: Tabella Vs30/F.A. in relazione al PGA ed alle Intensità Spettrali

La tabella è relativa ad una stratigrafia associata alla categoria PIANURA 1 (**Allegato A2 della D.G.R. 2193 del 21 dicembre 2015**) caratterizzata da sedimenti alluvionali prevalentemente fini; alternanze di limi, argille e sabbie, contraddistinta dalla presenza di un'importante discontinuità stratigrafica responsabile di un contrasto di impedenza significativo, tale da essere considerato coincidente con il tetto del substrato rigido, a profondità ≤ 100 m da p.c. che corrisponde, con le naturali approssimazioni insite in ogni tipo di suddivisione o classificazione, alle conoscenze geologiche disponibili nell'area di studio basate su pregresse indagini geognostiche.

In base al valore di Vs30 ottenuto dall'analisi dei microtremori (Cap. 5) pari a 264 m/sec, si ottengono i seguenti fattori di amplificazione:

PGA	Fa=1,7
SI (0.1-0.5 sec)	Fa=1,9
SI (0.5-1.0 sec)	Fa=2,7
SI (0.5-1,5 sec)	Fa=2,8

9.0 INDAGINE SISMICA: CONCLUSIONI

Sulla base dei dati raccolti e delle indagini geofisiche effettuate in sito, si possono trarre le seguenti conclusioni:

1. L'area oggetto d'indagine ricade nel quartiere "Il Paradiso", all'interno del territorio comunale di Busseto, in provincia di Parma, alla quota di circa 39 metri s.l.m.
2. In base ai dati ricavati dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, si evince un dato di sismicità media; gli unici eventi di rilievo, ubicati nelle vicinanze di Busseto, non raggiungono mai valori di Magnitudo uguali e/o superiori a 6 e sono prevalentemente ubicati nel Parmense.
3. In riferimento all'inquadramento macrosismico di riferimento definito dalla zonazione sismogenetica del territorio italiano ZS9, l'area, ricadente nel Comune di Busseto, ricade nella zona sismo genetica 913.
4. Per il Comune di Busseto dai tabulati della Delibera Regionale n. 112 del maggio 2007, è possibile ottenere un valore di arefg pari a 0,119 g per un tempo di ritorno di 475 anni.
5. L'area di studio ricade nella Zona sismica 3 ed è caratterizzata da un suolo di tipo C, definito sulla base del valore medio Vs30 = 264 m/sec.
6. In base al valore di Vs30 si ottengono i seguenti fattori di amplificazione (Allegato A del DGR 2193 del 21/12/2015): PGA Fa=1.7; SI1 (0.1-0.5 sec) Fa=1.9; SI2 (0.5-1.0 sec) Fa=2.7; SI3 (0.5-1.5 sec) Fa=2.8.

10.0 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

10.1 - Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il D.M. 14.1.2008 definisce 5 categorie in cui suddividere i terreni d'imposta in base ai valori di velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione (VS30).

In considerazione dei dati ottenuti dalla prove penetrometrica e dalla bibliografia esistente, e in particolare sulla base dell'indagine MASW eseguita nel lotto oggetto dell'intervento (allegata al presente studio), quale categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, può essere assunta, la **categoria C (Vs30 pari a 264 m/sec)**.

- | |
|--|
| <p>A) <i>formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri.</i></p> <p>B) <i>depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra i 360 e gli 800 m/sec.</i></p> <p>C) <i>depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra i 180 ed i 360 m/sec.</i></p> <p>D) <i>depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 180 m/sec.</i></p> <p>E) <i>profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di Vs30 simili a quelle dei tipi c e d e spessore compreso tra 5 e 20 metri, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con Vs30 maggiore di 800 m/sec.</i></p> |
|--|

Tabella 1.3: *Categoria del suolo di fondazione*

10.2 - Vita nominale dell'opera, periodo di ritorno dell'azione sismica e pericolosità sismica

La vita nominale di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I dell'allegato A delle NTC 2008 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella 1.4: *Parametri per il calcolo della vita nominale da NTC 2008*

Nel nostro caso si considera l'opera come ordinaria con vita nominale >di 50anni.

10.3 - Classe d'uso

In presenza di Azioni Sismiche, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso, la cui definizione viene di seguito sinteticamente riportata:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso provochi conseguenze rilevanti

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente, reti viarie di tipo A o B (come definite nel D.M. 5 novembre 2001 n.6792) importanti per il mantenimento delle vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica

Tab. 2.4.II - Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 1.5: Parametri per il calcolo del coefficiente d'uso da NTC 2008

Nel nostro caso si considera di applicare una Classe d'Uso II e il coefficiente C_U di 1,0.

10.4 - Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

In relazione alla destinazione d'uso prevista, per determinare il tempo di ritorno sono stati quindi considerati i seguenti parametri delle opere in progetto quali:

- Tipo di costruzione: "Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale"
- Classe d'uso II: "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti"

Da questi due parametri si ottiene il periodo di riferimento della costruzione che è dato da:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1 = 50 \text{ anni.}$$

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento VR della costruzione,
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate a ciascuno degli stati limite considerati,

per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche. Tale operazione deve essere possibile per tutte le vite di riferimento e tutti gli stati limite considerati dalle NTC; a tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni. Fissata la vita di riferimento VR, i due parametri TR e VR P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Qualora la attuale pericolosità sismica su reticolo di riferimento non contempli il periodo di ritorno TR 1 corrispondente alla VR e alla P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p (ag, Fo, T*c) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai TR previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale:

- p è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno TR desiderato;
- T_{R1} , T_{R2} sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori p_1 e p_2 del generico parametro p.

I valori dei parametri ag, Fo, T*c relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'Allegato B delle NTC.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella.

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{Vs} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{Vs} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 1.6: Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato da NTC 2008

Nel caso in esame, considerando lo **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)** e quindi una probabilità di superamento nel periodo di riferimento della vita dell'edificio (50 anni) pari al 10%, occorre considerare **un tempo di ritorno dell'evento sismico di 475 anni**.

Ai fini della definizione dell'Azione Sismica di progetto occorre valutare gli effetti che le condizioni stratigrafiche locali hanno sulla Risposta Sismica Locale. Il suolo di fondazione dell'area di studio ricade come già detto nella **categoria di tipo C**.

Per la determinazione dell'azione sismica locale occorre considerare anche il contributo derivante dalla morfologia superficiale. Per condizioni topografiche complesse occorre predisporre specifiche analisi di Risposta Sismica Locale; nel caso in cui la topografia non presenti particolare complessità, è possibile adottare la seguente classificazione:

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 1.7: Categorie topografiche

Trattandosi di zona pianeggiante, l'area in esame ricade nella categoria T1, a cui non è attribuibile alcun fenomeno di amplificazione sismica legato alle condizioni topografiche.

Dal punto di vista progettuale, lo spettro di risposta elastico in accelerazione riveste particolare importanza nella definizione delle Azioni Sismiche da adottare. Esso viene riferito ad uno smorzamento η convenzionale pari al 5% e la sua forma spettrale dipende dai fattori precedentemente citati (pericolosità di base a_g , stratigrafia, topografia, probabilità di superamento nel periodo di riferimento riferiti agli stati limite di progetto).

Gli spettri elastici forniti costituiscono la base di partenza per costruire lo spettro di progetto per lo stato limite ultimo (SLU), calcolato riducendo le ordinate dello spettro elastico per il fattore di duttilità q , proprio della struttura e funzione dei materiali, delle tipologie strutturali, della duttilità attesa e della interazione terreno-struttura (che verrà determinato dallo strutturista, in funzione delle scelte costruttive).

11.0 VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO

Nel presente capitolo sono effettuate le verifiche geotecniche preliminari applicando le Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Secondo il DM 14.1.2008, nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa. Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

► SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
- collasso per scorrimento sul piano di posa
- stabilità globale

► SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali,

accertando che sia soddisfatta, per ogni stato limite considerato, la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

- Ed è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione
- Rd è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

Le verifiche devono essere effettuate tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nella tabella 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I del D.M. 14.01.2008, seguendo almeno uno dei due approcci:

- Approccio 1:
- Combinazione 1: $(A1+M1+R1)$
 - Combinazione 2: $(A2+M2+R2)$

- Approccio 2: $(A1+M1+R3).$

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_t$	γ_ϕ	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1.0	1.0

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.8$	$\gamma_R = 2.3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.1$	$\gamma_R = 1.1$

Nel caso in esame, in relazione al tipo di opera ed essendo il terreno pianeggiante non è possibile la rottura globale. Sono quindi effettuate di seguito le Verifiche agli stati limite ultimi per il collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno. Il Progettista, in relazione alla geometria definitiva delle fondazioni, dovrà inoltre effettuare le Verifiche agli stati limite ultimi per scorrimento sul piano di posa.

Come emerge dai risultati dell'indagine geognostica eseguita, il terreno in esame è costituito da materiale di natura limosa -argillosa dello spessore variabile. Al di sotto di esso sono presenti sabbie e sabbie/ghiaie sino alle profondità investigate. Ai sensi delle indicazioni del DM 14.1.2008, Il calcolo della capacità portante del complesso terreno-fondazione, in relazione alla stratigrafia riscontrata, è stata calcolata sia in condizioni non drenate che in condizioni drenate, ipotizzando di intestare le fondazioni nel **livello A**.

11.1 - Verifiche nei confronti dei stati limite di esercizio

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli Stati limite che si possono verificare durante la Vita nominale. Uno Stato Limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata (SL = Frontiera tra il dominio di stabilità e quello di instabilità). Le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- **sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU):** capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone, o comportare la perdita di beni, o provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera;
- **sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE):** capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio; ad esempio spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto (con fondazione superficiale, quando i cedimenti > della soglia critica, si hanno delle distorsioni angolari non accettabili negli elementi della sovrastruttura).
- **robustezza nei confronti di azioni eccezionali:** capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo (SLU) ha carattere irreversibile e si definisce collasso; ad esempio il raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni (carico di esercizio applicato > portanza terreno di fondazione). Il superamento di uno stato limite di esercizio (SLE) può avere carattere reversibile o irreversibile.

12.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A seguito delle osservazioni compiute, in conformità alle norme vigenti, sulla base delle caratteristiche geotecniche del terreno, si è potuto evidenziare come le caratteristiche dell'area sono compatibili con l'edificazione. La prova penetrometrica statica si è spinta fino ad una profondità massima di -9,80 m. dal p.c.; dalle osservazioni prima riportate si evince che:

- ✓ la successione delle diverse unità è abbastanza omogenea, con caratteristiche coesive prevalenti. La stratigrafia è contraddistinta dalla presenza di due livelli principali: un livello superficiale A fino ad un massimo di -5,00 m di profondità di natura prevalentemente argillosa (e limosa) e caratterizzato da mediocri parametri geotecnici. Oltre questo livello si osserva un livello di transizione metrico verso un livello con caratteristiche prevalentemente incoerenti, che migliorano con la profondità;
- ✓ nella parte più superficiale s'intercetta un livello, che maggiormente è sensibile alle variazioni volumetriche connesse con l'umidità del terreno, per cui in fase di progettazione esecutiva dovrà essere superato dal piano di posa delle fondazioni;
- ✓ il livello freatico è stato intercettato nel foro di sondaggio ad una profondità di circa -5,20/5,60 m dal p.c.; dal PSC comunale risulta un livello di circa 6,00 m slm per avere informazioni più precise sarebbe necessario uno studio prolungato nel tempo.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra si evidenzia come l'area sia compatibile alle indicazioni di piano, anche se dovranno essere predisposte le verifiche geologico-tecniche di dettaglio sui vari lotti oggetto poi di intervento edilizio. Come ulteriori considerazioni si evidenzia infine la necessità in fase esecutiva di:

- verificare durante le fasi di scavo la reale successione lito-stratigrafica, perchè potrebbero emergere locali variazioni litologiche anche a differenti profondità dal piano di campagna, così da segnalare tempestivamente eventuali anomalie o disomogeneità del piano di posa fondale entro l'area indagata. E' possibile rinvenire "lenti" litologiche soprattutto al passaggio tra differenti livelli omogenei; nel caso il piano di posa fondazionale corrispondesse a tali livelli, si consiglia di approfondirlo fino a raggiungere il sottostante orizzonte portante.
- la natura prevalentemente coesiva impermeabile degli orizzonti superficiali entro cui sarà impostato il piano fondazionale della struttura, porta a saturazioni idriche differenziali secondo la stagionale climatica, con più o meno intensi eventi meteorici che incidono direttamente sul piano di campagna. Questa litologia ha la caratteristica di "gonfiarsi" aumentando il proprio volume nei periodi in cui la falda freatica tende a risalire verso il piano di campagna, soprattutto per capillarità o per circolazioni acquifere che si "attivano" solo in determinati periodi maggiormente piovosi, e che intercettano tali litologie. Nei periodi, che non sempre corrispondono alle stagioni secche, ma possono riferirsi ad intere annate, in cui tale livello freatico si abbassa, l'argilla si "ritira" perchè gli interstizi tra i grani che costituiscono questi terreni non sono più riempiti da acqua, ma da aria la cui capacità di compressione è maggiore rispetto al liquido precedente. Questo processo porta a delle variazioni della potenza di questa formazione geologica e di conseguenza a possibili cedimenti nelle strutture superficiali cui viene a mancare il piano d'appoggio originale.

Villanova sull'Arda, lì 12 febbraio 2016

il geologo
Dr. Emanuele Emani



ALLEGATO 1

Risultati prove penetrometriche statiche Stratigrafia e parametri geotecnici



Geol. Emani Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Note:

Quota(m):

Prova 1

Tabulato della prova

Profondità (m)	Rp(kg/cm ²)	Rp+RI (kg/cm ²)	qc(kg/cm ²)	fs(kg/cm ²)	u(kg/cm ²)	qc/fs
0,4	12	16	12	0,6		20
0,6	11	20	11	1,73		6,36
0,8	13	39	13	1,53		8,5
1	26	49	26	1,47		17,69
1,2	20	42	20	1,6		12,5
1,4	15	39	15	1,73		8,67
1,6	13	39	13	1,67		7,78
1,8	12	37	12	1,73		6,94
2	11	37	11	1,4		7,86
2,2	17	38	17	1,73		9,83
2,4	17	43	17	1,47		11,56
2,6	27	49	27	1,93		13,99
2,8	25	54	25	1,73		14,45
3	27	53	27	2,07		13,04
3,2	22	53	22	1,87		11,76
3,4	24	52	24	1,93		12,44
3,6	24	53	24	1,93		12,44
3,8	28	57	28	1,73		16,18
4	32	58	32	1,73		18,5
4,2	26	52	26	1,73		15,03
4,4	29	55	29	1,47		19,73
4,6	36	58	36	1,67		21,56
4,8	47	72	47	2,67		17,6
5	50	90	50	2,8		17,86
5,2	52	94	52	2,93		17,75
5,4	56	100	56	3,07		18,24
5,6	39	85	39	2,33		16,74
5,8	58	93	58	2,93		19,8
6	47	91	47	3,87		12,14
6,2	129	187	129	2,33		55,36
6,4	139	174	139	1,87		74,33
6,6	144	172	144	2,93		49,15
6,8	154	198	154	2,47		62,35
7	136	173	136	3,07		44,3
7,2	113	159	113	2,27		49,78
7,4	97	131	97	3,53		27,48
7,6	119	172	119	2,47		48,18
7,8	105	142	105	2,07		50,72
8	96	127	96	2,93		32,76
8,2	83	127	83	2,87		28,92
8,4	91	134	91	2,13		42,72
8,6	95	127	95	2,93		32,42
8,8	87	131	87	1,6		54,37
9	118	142	118	2,33		50,64
9,2	114	149	114	3,13		36,42
9,4	117	164	117	2,2		53,18
9,6	114	147	114	1,13		100,88
9,8	130	147	130	1,13		115,04



Geol. Emami Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

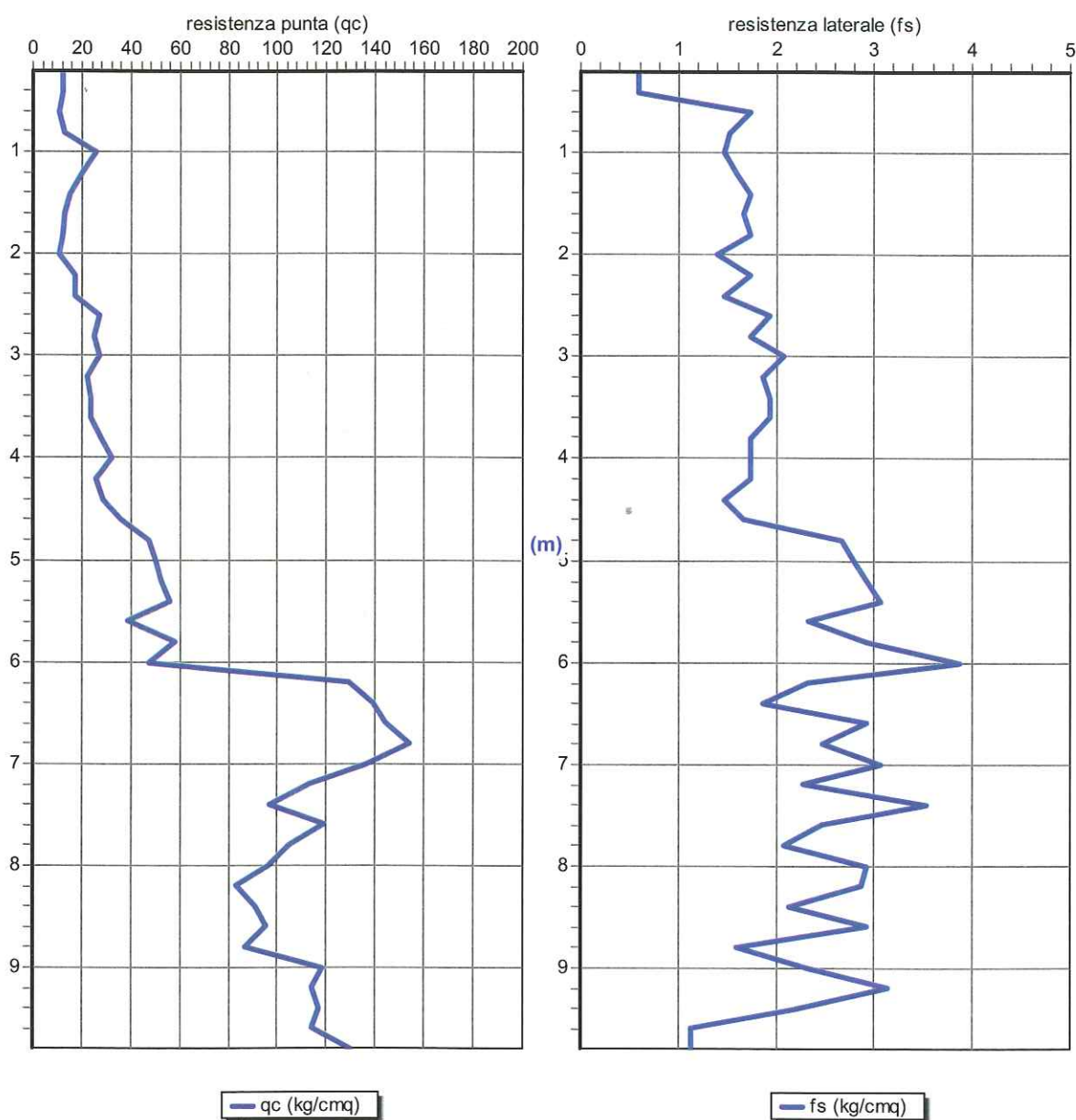
Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Note:

Quota(m):

Prova 1

Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 5,6



Geol. Emani Emanuele
Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda- 052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

Note:

Quota(m):

Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Prova 1

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cm ²)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Modulo edom. coesivi (kg/cm ²)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cm ²)	Modulo edom. incoerenti (kg/cm ²)	Pres.eff. a metà strato (kg/cm ²)
0,8	11	Argilla organica	4,22E-12	0,03		1,9			0,51	39	1,07	121		0,09
2,4	13	Argilla organica	3,72E-23	0,05		1,93			0,61	46	0,41	134		0,3
4,4	25	Argilla inorganica molto consistente	2,02E-14	0,06		2,08			0,91	43	1,24	200		0,67
6	43	Argilla sabbiosa o limosa	3,22E-12	0,06		2,17			1,32	73	13,6	279		1,05
7,8	115	Sabbia addensata	5,66E-6		35	2,19	71	288				508	75	1,29
8,8	86	Sabbia e limo	1,31E-6		33	2,12	58	215				426	66	1,45
9,8	113	Sabbia addensata	0,00013		35	2,16	66	283				503	75	1,57

Profondità della falda (m): 5,6



Geol. Emami Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Note:

Quota(m):

Prova 2

Tabulato della prova

Profondità (m)	Rp(kg/cm ²)	Rp+Rl (kg/cm ²)	qc(kg/cm ²)	fs(kg/cm ²)	u(kg/cm ²)	qc/fs
0,4	12	20	12	0,87		13,79
0,6	12	25	12	1,07		11,21
0,8	20	36	20	1,27		15,75
1	25	44	25	0,93		26,88
1,2	33	47	33	2,2		15
1,4	22	55	22	2		11
1,6	20	50	20	2,47		8,1
1,8	17	54	17	2,4		7,08
2	16	52	16	2,2		7,27
2,2	15	48	15	1,87		8,02
2,4	15	43	15	2		7,5
2,6	14	44	14	2		7
2,8	22	52	22	1,73		12,72
3	19	45	19	1,73		10,98
3,2	20	46	20	1,8		11,11
3,4	29	56	29	1,33		21,8
3,6	33	53	33	2,47		13,36
3,8	29	66	29	2,13		13,62
4	31	63	31	1,93		16,06
4,2	34	63	34	2		17
4,4	28	58	28	1,8		15,56
4,6	32	59	32	1,73		18,5
4,8	26	52	26	1,67		15,57
5	31	56	31	1,87		16,58
5,2	42	70	42	2,33		18,03
5,4	48	83	48	2,53		18,97
5,6	46	84	46	2,4		19,17
5,8	51	87	51	1,87		27,27
6	43	71	43	1,73		24,86
6,2	67	93	67	1,4		47,86
6,4	89	110	89	1,13		78,76
6,6	77	94	77	2		38,5
6,8	91	121	91	2,07		43,96
7	107	138	107	2,47		43,32
7,2	112	149	112	2		56
7,4	90	120	90	1,53		58,82
7,6	97	120	97	1,4		69,29
7,8	112	133	112	1,93		58,03
8	119	148	119	1,6		74,37
8,2	94	118	94	0,87		108,05
8,4	125	138	125	0,47		265,96
8,6	109	116	109	2,53		43,08
8,8	113	151	113	2,73		41,39
9	100	141	100	1,93		51,81
9,2	119	148	119	1,8		66,11
9,4	92	119	92	2,4		38,33
9,6	130	166	130	2,8		46,43
9,8	132	174	132	2,8		47,14



Geol. Emani Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

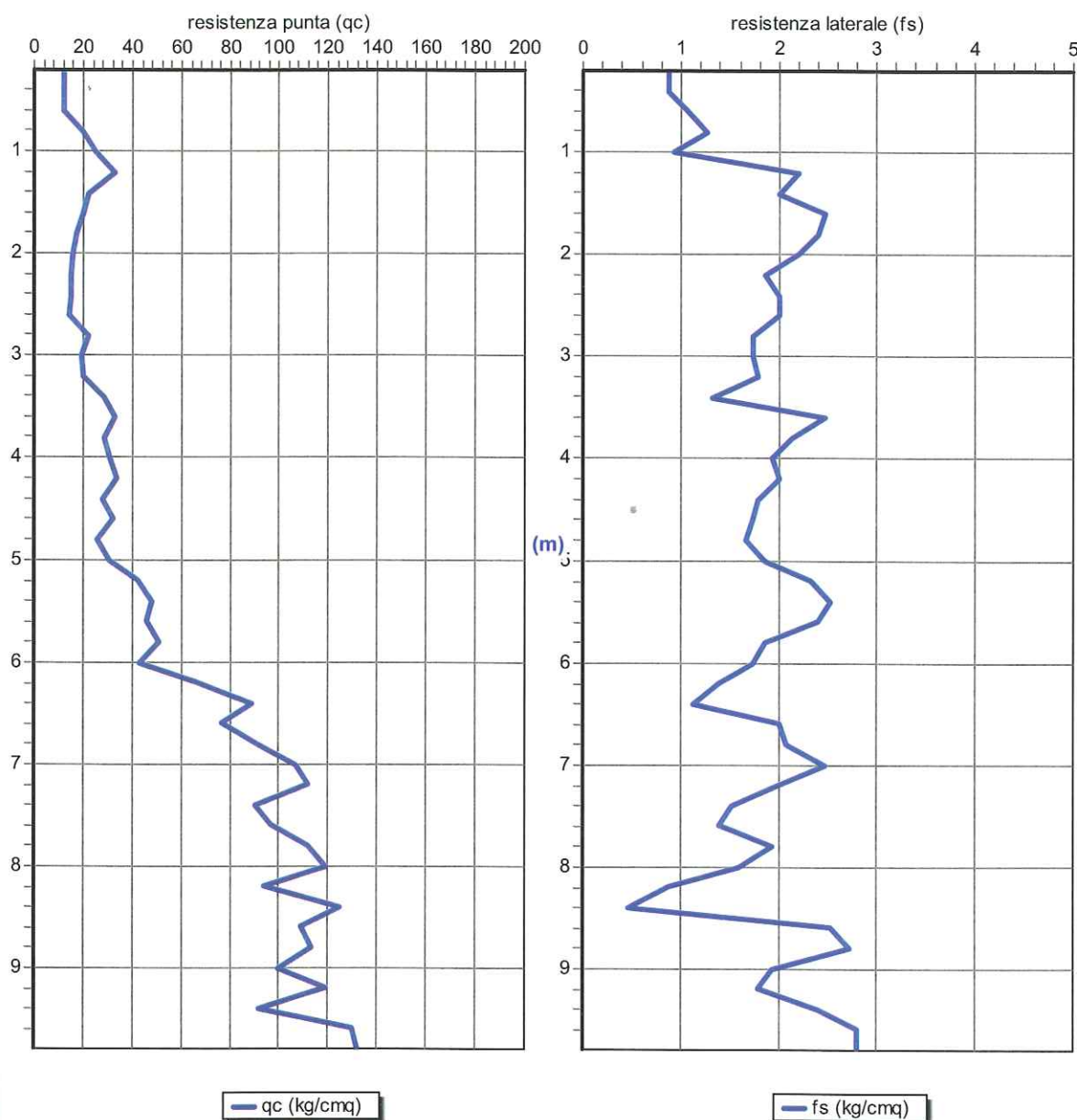
Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Note:

Quota(m):

Prova 2

Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 5,4



Geol. Emani Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

Note:

Quota(m):

Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Prova 2

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cm ²)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/m ³)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Modulo edom. coesivi (kg/cm ²)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cm ²)	Modulo edom. incoerenti (kg/cm ²)	Pres.eff. a metà strato (kg/cm ²)
0,6	12	Argilla organica	2,67E-13	0,02		1,92			0,44	42	1,55	128		0,07
2,6	17	Argilla inorganica molto consistente	9,62E-20	0,05		2			0,65	60	0,56	158		0,31
5	25	Argilla inorganica molto consistente	2,39E-14	0,06		2,08			0,87	43	1,93	200		0,76
6,2	43	Argilla sabbiosa o limosa	2,05E-9	0,06		2,17			1,22	73	12,4	279		1,12
9,8	100	Sabbia addensata	1,85E-5		35	2,22	64	250				467	71	1,41

Profondità della falda (m): 5,4



Geol. Emani Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Note:

Quota(m):

Prova 3

Tabulato della prova

Profondità (m)	Rp(kg/cm ²)	Rp+Rl (kg/cm ²)	qc(kg/cm ²)	fs(kg/cm ²)	u(kg/cm ²)	qc/fs
0,4	8	15	8	0,87		9,2
0,6	6	19	6	0,8		7,5
0,8	8	20	8	1		8
1	8	23	8	1		8
1,2	8	23	8	0,93		8,6
1,4	12	26	12	1,2		10
1,6	12	30	12	1,4		8,57
1,8	16	37	16	1,67		9,58
2	21	46	21	1,8		11,67
2,2	25	52	25	2,07		12,08
2,4	25	56	25	2,07		12,08
2,6	29	60	29	2,07		14,01
2,8	34	65	34	2,6		13,08
3	52	91	52	1,8		28,89
3,2	77	104	77	1,27		60,63
3,4	92	111	92	2,13		43,19
3,6	90	122	90	2,07		43,48
3,8	87	118	87	2,2		39,55
4	70	103	70	1,8		38,89
4,2	51	78	51	1,6		31,87
4,4	46	70	46	0,8		57,5
4,6	39	51	39	1,2		32,5
4,8	48	66	48	1,2		40
5	63	81	63	1,33		47,37
5,2	86	106	86	1,53		56,21
5,4	42	65	42	1,33		31,58
5,6	24	44	24	0,8		30
5,8	35	47	35	0,73		47,95
6	18	29	18	0,4		45
6,2	15	21	15	1,13		13,27
6,4	51	68	51	1,13		45,13
6,6	52	69	52	0,6		86,67
6,8	71	80	71	0,8		88,75
7	99	111	99	1,87		52,94
7,2	79	107	79	2,2		35,91
7,4	74	107	74	1,93		38,34
7,6	91	120	91	2		45,5
7,8	87	117	87	1,27		68,5
8	91	110	91	1,33		68,42
8,2	90	110	90	1,67		53,89
8,4	97	122	97	1,93		50,26
8,6	100	129	100	2,07		48,31
8,8	120	151	120	1,07		112,15
9	125	141	125	1,2		104,17
9,2	120	138	120	2,53		47,43
9,4	110	148	110	1,33		82,71
9,6	94	114	94	2,07		45,41
9,8	90	121	90	2,07		43,48



Geol. Emani Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

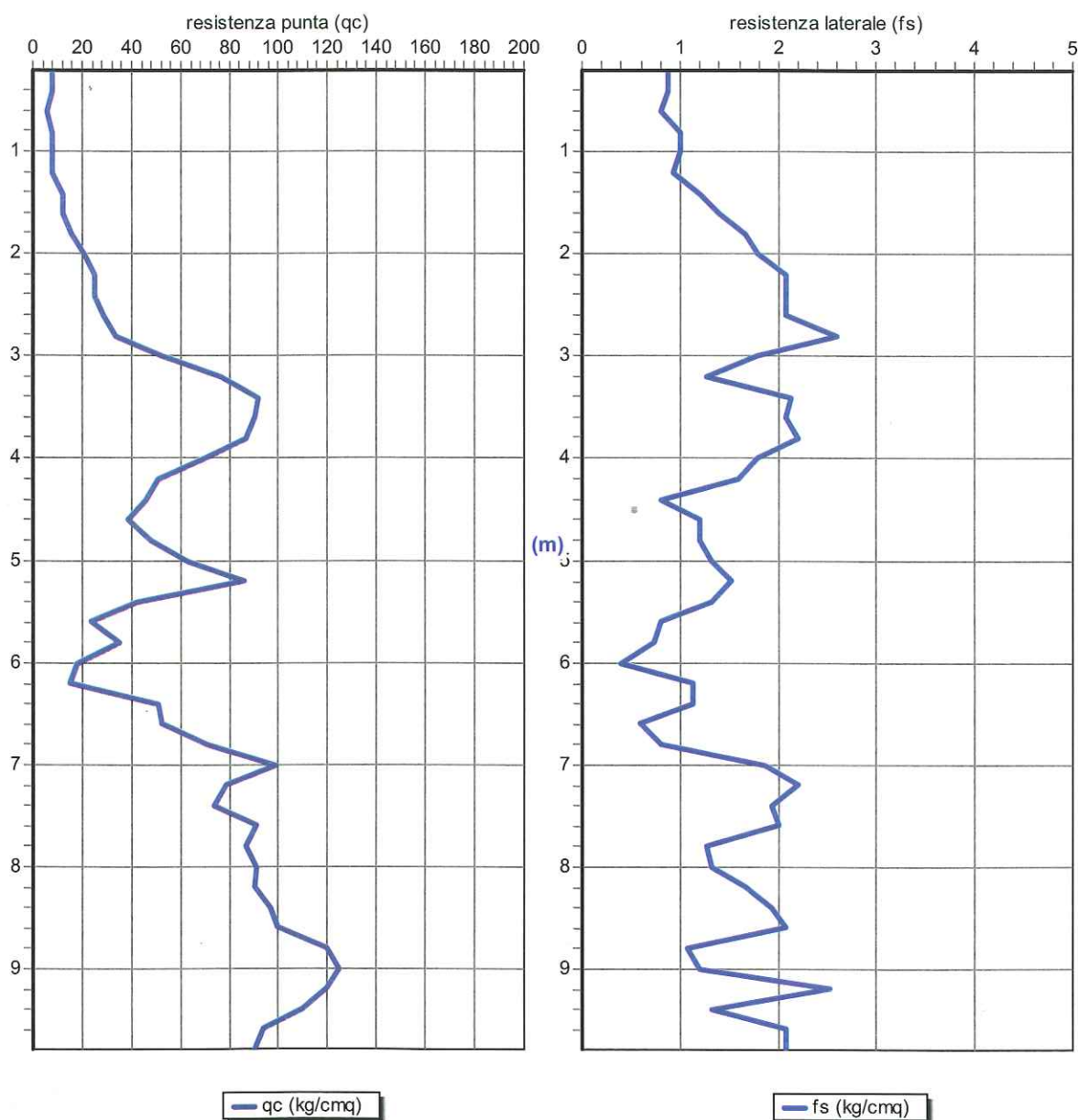
Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Note:

Quota(m):

Prova 3

Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 5,2



Geol. Emani Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

Note:

Quota(m):

Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Prova 3

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
1,8	8	Argilla organica	1,36E-22	0,05		1,82			0,41	28	0,34	100		0,18
2,8	23	Argilla inorganica molto consistente	7,18E-17	0,05		2,06			0,73	39	0,79	190		0,43
4	67	Sabbia e limo	9,16E-7		33	2,03	69	168				366	65	0,66
6,6	35	Sabbia e limo	6,16E-7		31	1,92	36	88				246	42	1,02
8,2	79	Sabbia mediamente addensata	1,49E-5		33	2,13	59	198				404	64	1,24
9,8	99	Sabbia addensata	3,63E-5		34	2,15	63	248				464	70	1,42

Profondità della falda (m): 5,2



Geol. Emani Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Note:

Quota(m):

Prova 4

Tabulato della prova

Profondità (m)	Rp(kg/cm ²)	Rp+Rl (kg/cm ²)	qc(kg/cm ²)	fs(kg/cm ²)	u(kg/cm ²)	qc/fs
0,4	6	11	6	0,93		6,45
0,6	5	19	5	1,2		4,17
0,8	7	25	7	1,07		6,54
1	18	34	18	1,73		10,4
1,2	28	54	28	2,6		10,77
1,4	17	56	17	2,27		7,49
1,6	15	49	15	1,73		8,67
1,8	17	43	17	1,93		8,81
2	13	42	13	1,67		7,78
2,2	15	40	15	1,93		7,77
2,4	19	48	19	1,93		9,84
2,6	23	52	23	2,2		10,45
2,8	23	56	23	1,8		12,78
3	25	52	25	1,8		13,89
3,2	25	52	25	1,87		13,37
3,4	28	56	28	1,87		14,97
3,6	29	57	29	1,6		18,12
3,8	35	59	35	2,13		16,43
4	47	79	47	1,87		25,13
4,2	65	93	65	2,07		31,4
4,4	66	97	66	2,2		30
4,6	63	96	63	1,27		49,61
4,8	49	68	49	1,67		29,34
5	68	93	68	2,6		26,15
5,2	266	305	266	1,87		142,25
5,4	188	216	188	2		94
5,6	175	205	175	1,13		154,87
5,8	103	120	103	1,87		55,08
6	66	94	66	0,93		70,97
6,2	58	72	58	1,73		33,53
6,4	94	120	94	1,53		61,44
6,6	97	120	97	1,73		56,07
6,8	112	138	112	1,6		70
7	117	141	117	2,47		47,37
7,2	95	132	95	2,2		43,18
7,4	85	118	85	2,73		31,14
7,6	104	145	104	2,27		45,81
7,8	95	129	95	1,67		56,89
8	93	118	93	1,8		51,67
8,2	86	113	86	1,6		53,75
8,4	93	117	93	2		46,5
8,6	97	127	97	2,47		39,27
8,8	103	140	103	1,33		77,44
9	121	141	121	1,8		67,22
9,2	116	143	116	2,8		41,43
9,4	113	155	113	1,8		62,78
9,6	103	130	103	1,27		81,1
9,8	114	133	114	1,27		89,76



Geol. Emani Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

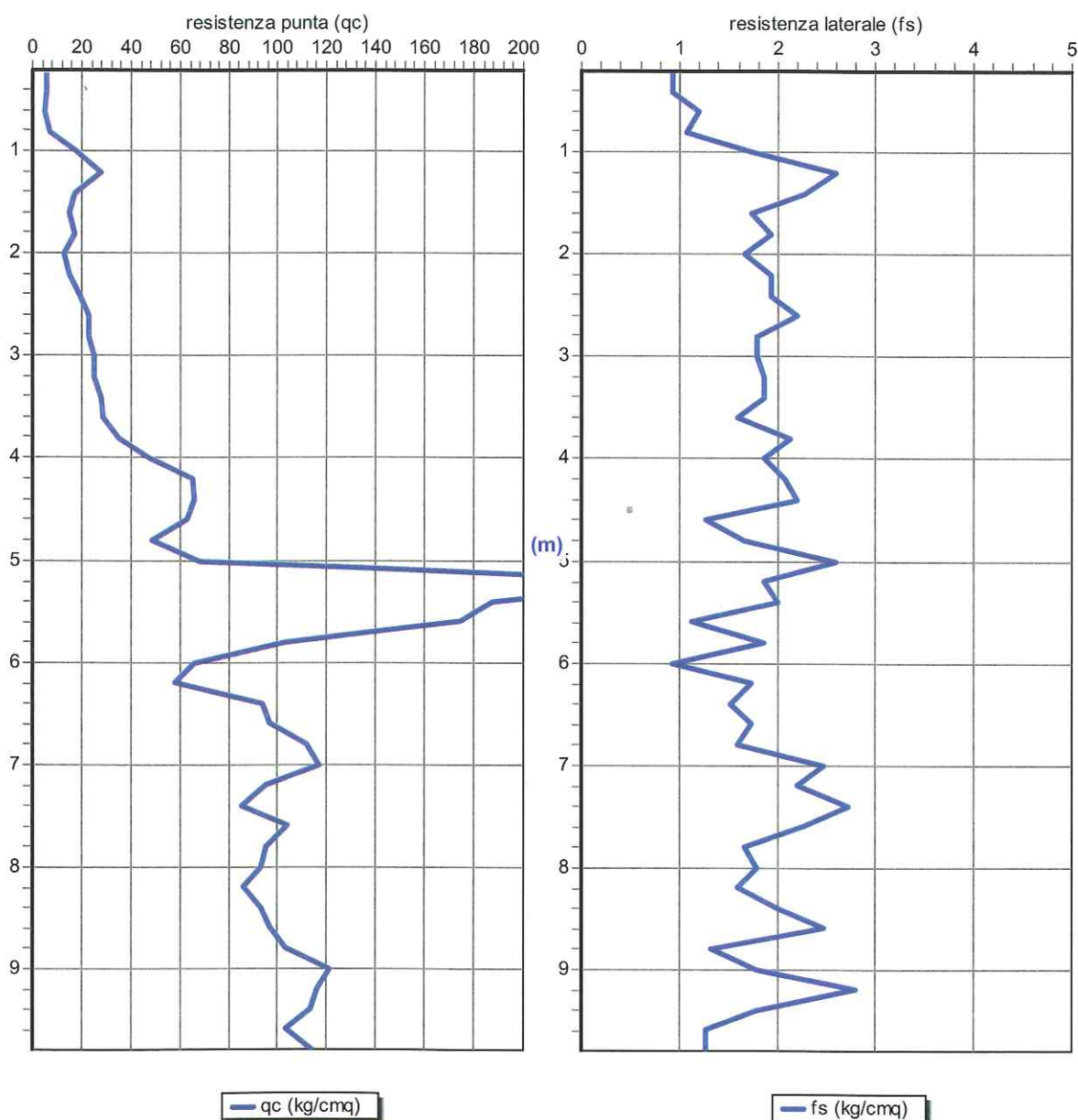
Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Note:

Quota(m):

Prova 4

Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 5,4



Geol. Emani Emanuele

Via dei Ciliegi n°4-Villanova sull'Arda-

052 3.853200-335.1281389

Committente: BM Immobiliare Srl

Località: Busseto

Data: 28.01.2016

Note:

Quota(m):

Attrezzatura: Pagani da 10 ton

Prova 4

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
0,8	5	Argilla organica	3,18E-35	0,05		1,72			0,287	25	0,42	75		0,09
2,4	15	Argilla organica	1,09E-23	0,05		1,97			0,61	53	0,51	146		0,3
3,8	24	Argilla inorganica molto consistente	3,09E-15	0,05		2,07			0,81	41	0,98	195		0,6
5	53	Sabbia e limo	8,21E-8		31	1,93	54	133				317	55	0,86
7	93	Sabbia addensata	2,63E-5		35	2,05	67	233				447	70	1,13
9,8	96	Sabbia addensata	1,17E-5		34	2,15	63	240				455	70	1,41

Profondità della falda (m): 5,4



Provincia di Parma



Comune di Busseto

BM Immobiliare srl



0	GENNAIO 2016	A. Carpena	A. Carpena	
REV.	DATA	REDAZIONE	APPROVAZIONE	MODIFICHE



GEOREFLEX srl
GEOLOGIA-GEOFISICA-TOPOGRAFIA

sede legale: Via Carlo Fioruzzi, 15 - 29121 - Piacenza (PC) Tel.: 0523-454042 fax: 0523/462427
<http://www.georeflex.it> - E-mail: info@georeflex.it



GEOREFLEX srl

Uffici: Via Carlo Fioruzzi, 15 – 29121 Piacenza - tel. 0523/454042 (fax: 0523/462427) – P.IVA: 01164400333

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3. ANALISI DEI MICROTREMORI	4
3.1 Descrizione del metodo	4
3.2 Strumentazione e criteri di acquisizione	5
3.3 Elaborazione dati	7
4. CALCOLO DELLE Vs30.....	9



GEOREFLEX srl

Uffici: Via Carlo Fioruzzi, 15 – 29121 Piacenza - tel. 0523/454042 (fax: 0523/462427) – P.IVA: 01164400333

1. INTRODUZIONE

Su incarico della **BM Immobiliare srl**, nell'ambito del Progetto di realizzazione di una Nuova Lottizzazione denominata "Lottizzazione Via Boito", sita nel quartiere "Il Paradiso, nel settore NNE del Comune di Busseto, in provincia di Parma, è stato redatto uno studio articolato attraverso lo sviluppo dei seguenti punti:

- a. Inquadramento territoriale e sismico.
- b. Analisi della Risposta Sismica Locale (RSL); a tal fine, è stata eseguita, in data 30 giugno 2015, nr. 1 analisi dei microtremori (ReMi). L'indagine è finalizzata al calcolo delle Vs30 (valore medio delle velocità di taglio nei primi 30 metri) e alla definizione del suolo di fondazione sulla base della nuova classificazione sismica del territorio nazionale e del Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 (pubblicato sul supplemento ordinario nr. 30 della Gazzetta Ufficiale del 04 febbraio 2008 – "Norme Tecniche per le Costruzioni").

NOTA: Il presente studio è stato anche inquadrato nell'ambito delle procedure proposte dalla Regione Emilia Romagna e contenute nella Delibera n. 112 del 02 maggio 2007, che fornisce gli indirizzi e i criteri attuativi per la valutazione della risposta sismica locale e per la microzonazione sismica del territorio. Tali indirizzi si basano sulle più recenti metodologie di analisi (Allegato A alla Direttiva Regionale 112/2007 e l'ultimo **DGR 2193 del 21 dicembre 2015**) messe a punto dalla comunità scientifica nazionale.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area oggetto d'indagine ricade all'interno del territorio comunale di Busseto, alla quota di circa 39 metri s.l.m.

Il territorio comunale di Busseto è localizzato nella posizione nord – occidentale del territorio parmense. In particolare, il quartiere "Il Paradiso", in cui si colloca l'area oggetto di studio, si trova nel settore NNE del nucleo del paese.



GEOREFLEX srl

Uffici: Via Carlo Fioruzzi, 15 – 29121 Piacenza - tel. 0523/454042 (fax: 0523/462427) – P.IVA: 01164400333

3. ANALISI DEI MICROTREMORI

3.1 Descrizione del metodo

La determinazione delle Vs30 risulta essere fondamentale per la definizione dei suoli secondo l'inquadramento della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica.

Per tale valutazione, oltre alla sismica in foro (downhole e crosshole) ed alla sismica di superficie (rifrazione e riflessione ad onde S) metodi alternativi di modellazione del sottosuolo basati sull'analisi delle onde superficiali (Rayleigh) hanno assunto importanza progressivamente crescente negli ultimi anni.

Tra le varie tecniche disponibili, l'analisi dei microtremori risulta essere particolarmente soddisfacente sia dal punto di vista dei risultati che dal punto di vista economico, essendo realizzabile con procedure operative molto simili a quelle impiegate per la sismica di superficie convenzionale.

Nel caso specifico tuttavia i tempi di registrazione dei files sismici devono essere necessariamente più lunghi, generalmente non inferiori ai 15 secondi.

Le geometrie e la strumentazione di acquisizione devono essere in grado di fornire informazioni sulle onde di superficie internamente ad una banda di frequenza che va dai 2 ai 40 Hz circa.

L'elaborazione del segnale consiste nel trasformare le registrazioni effettuate in spettri bidimensionali di tipo "slowness-frequency" che permettono, attraverso un *picking* manuale, la definizione di una curva di dispersione caratteristica del moto sismico in superficie, strettamente correlata ai valori Vs relativi ai terreni prossimi alla superficie.

L'inversione di questa curva consente di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde S con la profondità, da cui poi risulta agevole determinare le Vs30.

Il software con cui è stato realizzato questo tipo di elaborazione è denominato **ReMi** e viene prodotto dalla Optim LLC (Reno, Nevada, USA).



GEOREFLEX srl

Uffici: Via Carlo Fioruzzi, 15 – 29121 Piacenza - tel. 0523/454042 (fax: 0523/462427) – P.IVA: 01164400333

3.2 Strumentazione e criteri di acquisizione

Per l'acquisizione sismica è stato impiegato un sismografo a 24 canali (**GEODE**) facente parte della gamma dei prodotti Geometrics Ltd; questo strumento è dotato di un convertitore analogico – digitale a 24 bit che permette intervalli di campionamento estremamente ridotti (da 0.02 ms a 16 ms), di un *range* dinamico di sistema di ben 144 dB e di un'ampia banda di ingresso (da 1.75 Hz a 20 kHz), in grado di riprodurre in modo molto accurato il segnale sismico.



Figura 1: Stendimento sismico con interasse 5 metri.

I sensori disposti sul terreno sono geofoni caratterizzati da una frequenza di smorzamento di 4.5 Hz (**Figura 2**). La geometria di acquisizione in campagna è stata realizzata mediante l'allineamento di nr. 24 geofoni con spaziatura costante pari a 5 metri.



GEOREFLEX srl

Uffici: Via Carlo Fioruzzi, 15 – 29121 Piacenza - tel. 0523/454042 (fax: 0523/462427) – P.IVA: 01164400333

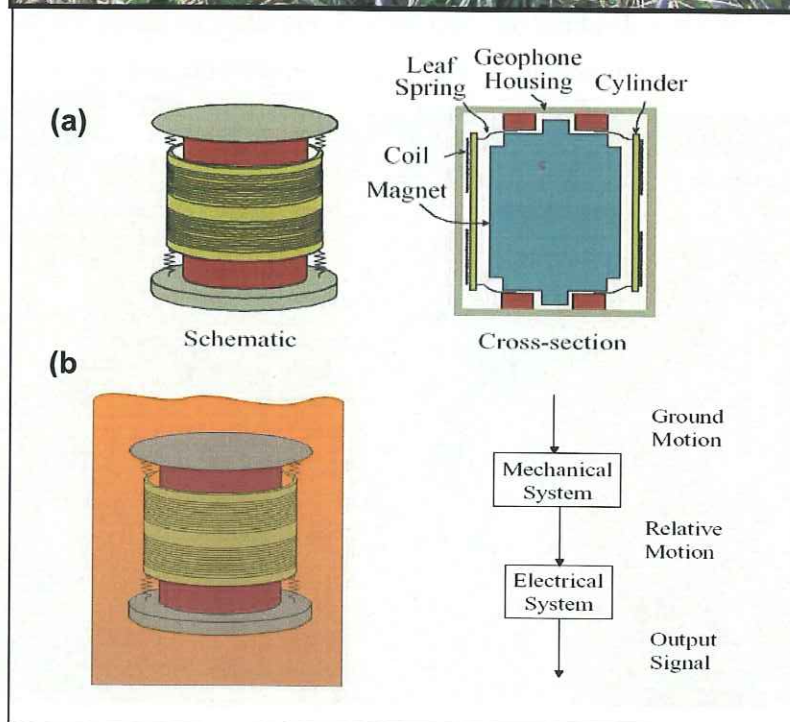


Figura 2: Schema funzionamento geofoni rilevatori e particolare fotografico.



GEOREFLEX srl

Uffici: Via Carlo Fioruzzi, 15 – 29121 Piacenza - tel. 0523/454042 (fax: 0523/462427) – P.IVA: 01164400333

3.3 Elaborazione dati

I dati, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (SEG-Y) con il software **ReMi** impiegato per l'elaborazione.

Ciascuna delle registrazioni effettuate, è stata convertita in uno spettro *frequency-slowness*, sul quale è stata interpretata la curva di dispersione relativa alle componenti in frequenza dei tremori alla quale è sottoposto il sottosuolo del sito in esame.

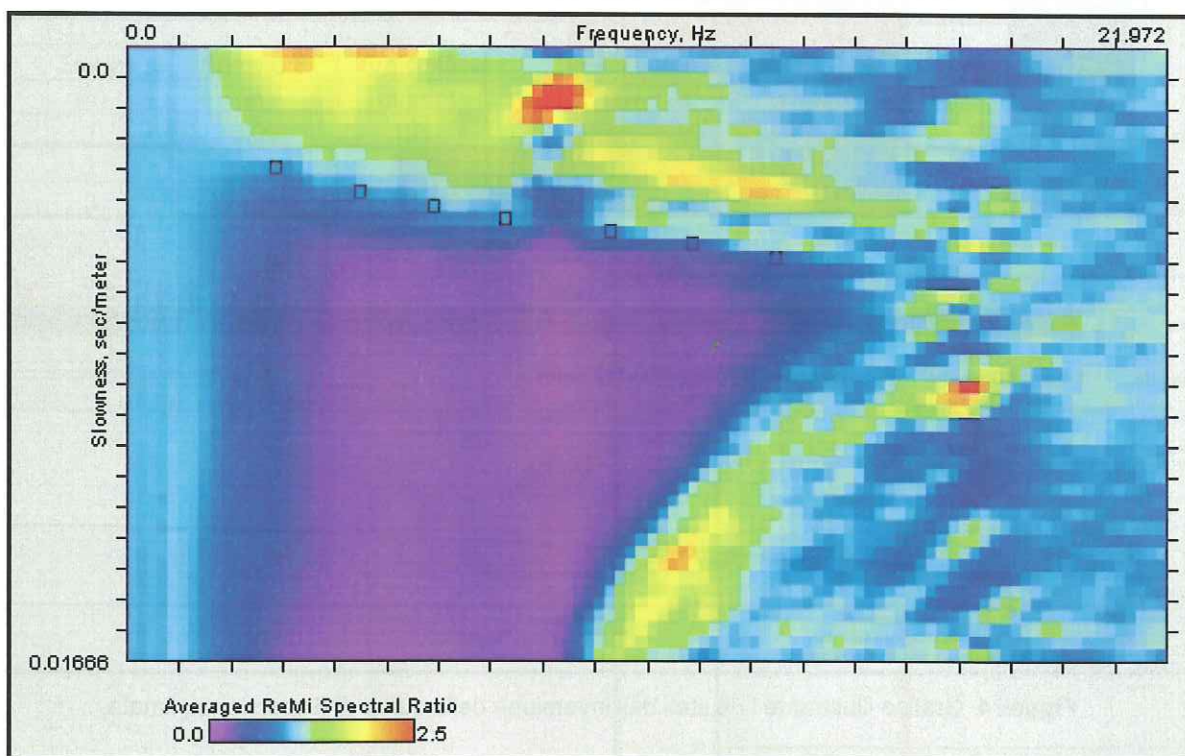


Figura 3: Grafico illustrante un esempio di spettro di tipo "frequency-slowness" e picking della curva di dispersione.

L'inversione della curva di dispersione, ha consentito la valutazione dell'andamento delle Vs con buona affidabilità fino a circa 50 metri di profondità.



GEOREFLEX srl

Uffici: Via Carlo Fioruzzi, 15 – 29121 Piacenza - tel. 0523/454042 (fax: 0523/462427) – P.IVA: 01164400333

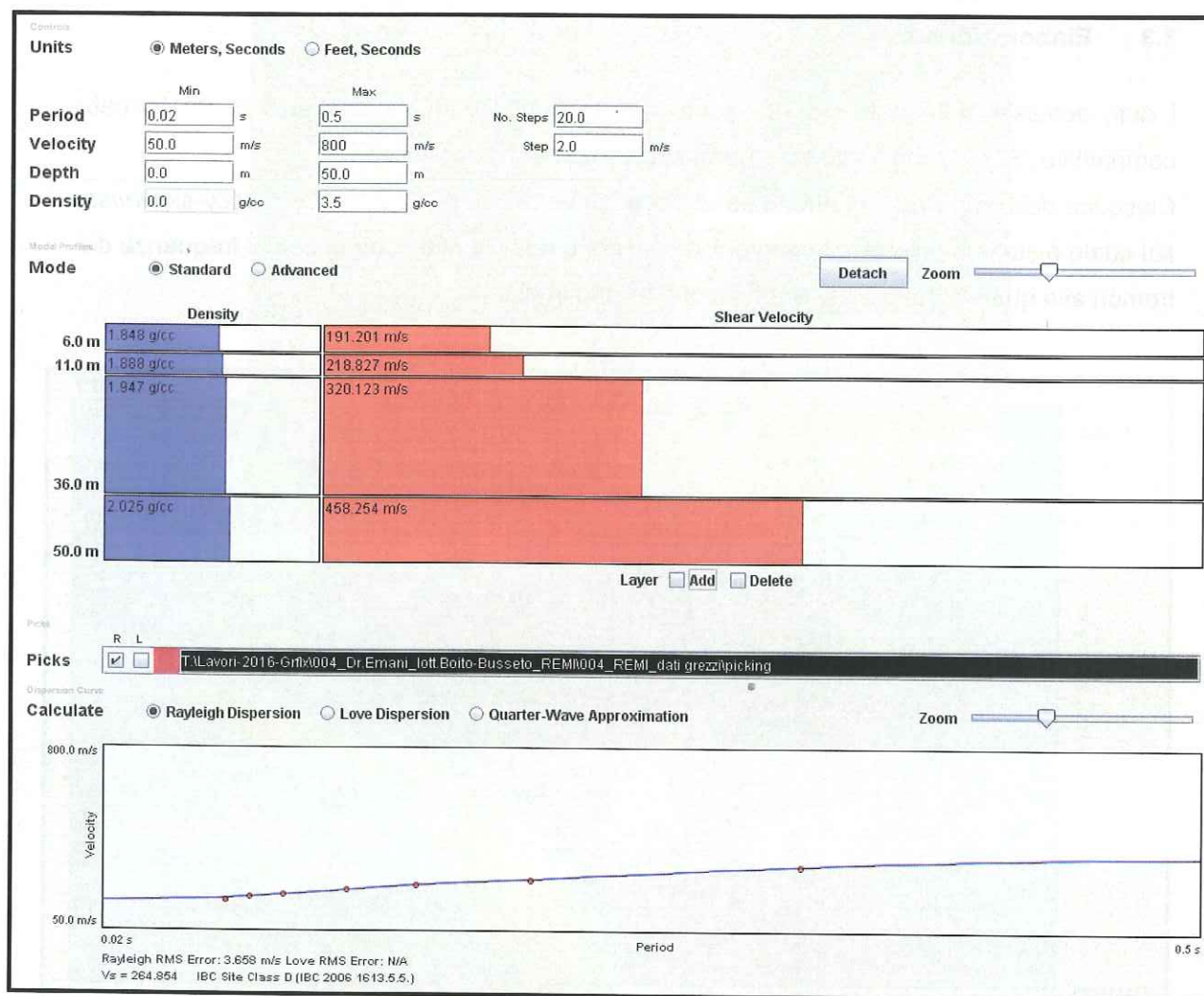


Figura 4: Grafico illustrante i risultati dell'inversione della curva di dispersione stimata.



GEOREFLEX srl

Uffici: Via Carlo Fioruzzi, 15 – 29121 Piacenza - tel. 0523/454042 (fax: 0523/462427) – P.IVA: 01164400333

4. CALCOLO DELLE Vs30

Per il calcolo delle Vs30, sulla base dei dati ottenuti dalle indagini dei microtremori (ReMI), è stata impiegata la formula riportata nel D.M. del 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" così di seguito enunciata:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

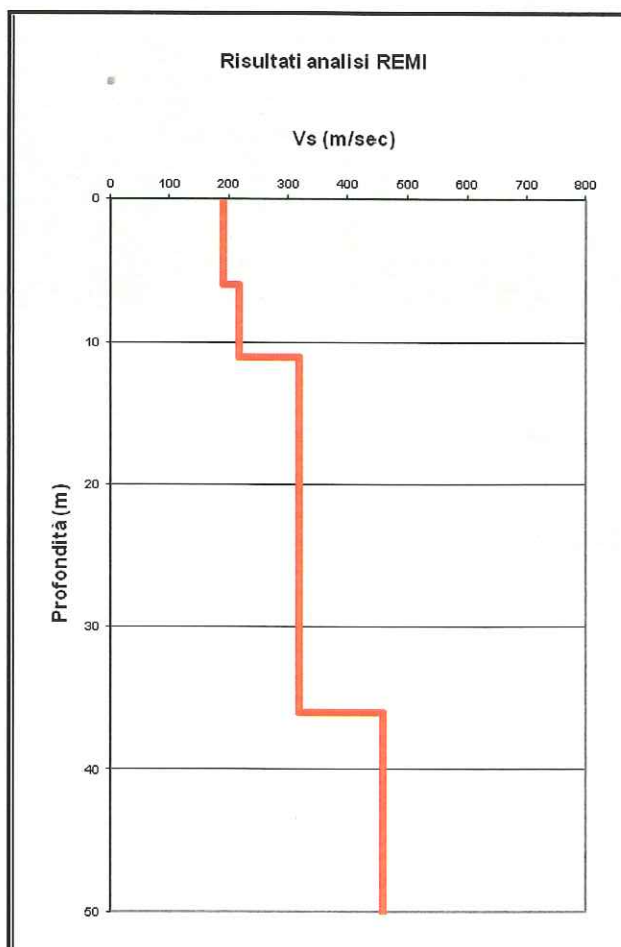
dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	6,00	191
2	5,00	219
3	14,00	320

$$V_{s30} = 264 \text{ m/sec}$$

GEOREFLEX S.r.l.

Sede legale: Via Fioruzzi n. 15 - 29100 Piacenza (PC)
Capitale sociale Euro 30.000,00 i.v.
Reg. Imprese PC n° 0116440333 – REA 131568
c.f. 01164400333
p.IVA 01164400333



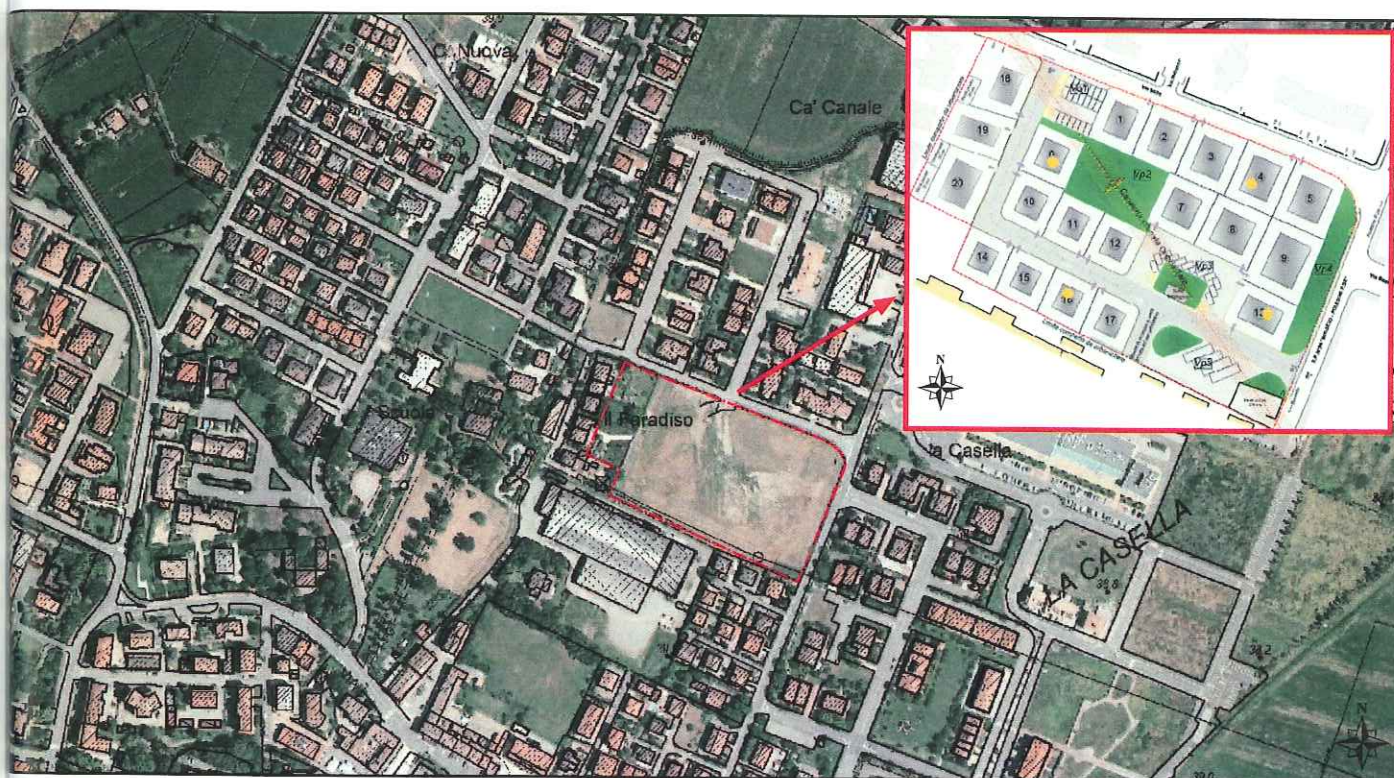


Fig. 2 - Estratto da ortofotogrammetrico AGEA2015 (scala 1: 2000)

LEGENDA

Ubicazione area di progetto di Lottizzazione



GEOREFLEX srl
GEOLOGIA-GEOFISICA-TOPOGRAFIA

sede legale: Via Fioruzzi, 15 - 29100 - Piacenza Tel.: 0523-454042 fax: 0523/462427
<http://www.georeflex.it> - E-mail: info@georeflex.it

INQUADRAMENTO TERRITORIALE scala 1: 2000 (in formato A3)

GEOREFLEX srl - GEOLOGIA-GEOFISICA-TOPOGRAFIA
uffici: Via Fioruzzi, 15 - 29121 Piacenza - tel.: 0523/454042

Fig. 1



Dettaglio stazione di acquisizione dati



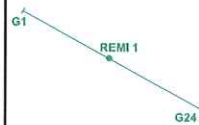
Panoramica stendimento sismico (da SSE a NNW)



Fig. 1 - Ubicazione da Ortofoto (1: 1000)

LEGENDA INDAGINI GEOFISICHE

Analisi dei microtremori mediante
metodo REMI: acquisizione sismica per
ricavare le V30 e definire il suolo sismico
di fondazione.
Stendimento a 24 canali (interasse costante 5 metri)
Sismografo: Geometrics (mod. GEODE)
Geofoni frequenza naturale: 4,5 Hz



UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE scala 1: 1000 (in formato A3)

GEOREFLEX srl - GEOLOGIA E GEOFISICA

uffici: Via Fioruzzi, 15 - 29121 Piacenza - tel.: 0523/454042

Fig. 2



GEOREFLEX srl
GEOLOGIA E GEOFISICA

sede legale: Via Fioruzzi, 15 - 29100 - Piacenza Tel.: 0523-454042 fax: 0523/462427
http://www.georeflex.it - E-mail: info@georeflex.it