



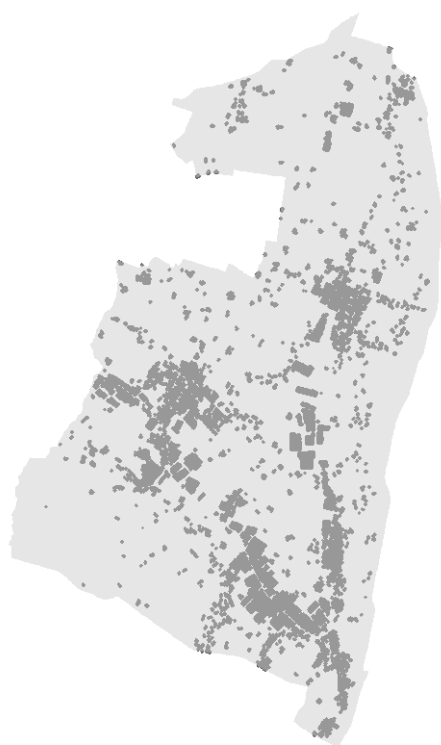
Comune di Casalgrande

Provincia di Reggio Emilia

POC

**Piano Operativo Comunale
anticipatorio "Casa della Salute"**

TAV. E **RELAZIONE GEOLOGICA**



Sindaco:

Alberto Vaccari

Segretario Generale:

Emilio Binini

Responsabile del settore pianificazione territoriale:

Arch. Giuliano Barbieri

Committente:

Azienda Unità Sanitaria Locale Reggio Emilia

Progettista:

Ing. Claudia Reggiani

con la collaborazione di:

Arch. Paolo Dallasta; Arch. Angelo Dallasta
Geom. Giampiero Gianferrari (SGT Associati)

ValSAT:

Arch. Giorgio Adelmo Bertani (Ufficio Progetti Architetti
Associati Giorgio Adelmo Bertani & Francesca Vezzali)

Geologia e tutela sismica:

Dott. Geol. Fabrizio Giorgini (Subsoil Srl)

Valutazione previsionale di Clima Acustico:

Morlini Engineering

Adottato:

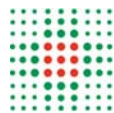
Controdetto:

Approvato:



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA
Azienda Unità Sanitaria Locale di Reggio Emilia

ottobre 2017



**SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA**
Azienda Unità Sanitaria Locale di Reggio Emilia

COMMITTENTE:

Azienda Sanitaria Locale di Reggio Emilia
Via Amendola n.° 2
42122 Reggio Emilia
Tel.: 0522 335111 – Fax.: 0522 335200

IMPRESA ESECUTRICE:

SUBSOIL Srl
Indagini geologiche & monitoraggio geotecnici
Strada Barco 1C Montecchio Emilia (RE)
Tel 0522.887268 fax 0522.249540



SUBSOIL
INDAGINI GEOLOGICHE & MONITORAGGI GEOTECNICI

UNI EN ISO 9001:2000 Sincert RT-05
SOA per la cat. OS 20B
Laboratorio Concessionato dal Ministero n° 3655 Cic. 7619/STC settore C
Operatore certificato RINA RC/C18 ISO 9712 controlli sulle murature e calcestruzzo

RELAZIONE GEOLOGICA

Progettazione di fattibilità tecnica ed economica, definitiva ed esecutiva, nonché del coordinamento della sicurezza in fase di progettazione del nuovo edificio “CASA DELLA SALUTE” di Casalgrande

RELAZIONE GEOLOGICA

Codice Commessa	Documento	ALLEGATI
06200017_FG	RGEOL	n.° 2

		IMPRESA ESECUTRICE		
Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A	Emissione	SETTEMBRE 2017	SETTEMBRE 2017	SETTEMBRE 2017
		Dott. Roberto Spagni	Dott. Roberto Spagni	Dott. Geol. Fabrizio Giorgini

INDICE

1. PREMESSA	4
1.1 Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento	5
1.2 Quadro Normativo	6
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	6
2.1 Inquadramento regionale	6
2.2 Inquadramento geomorfologico e idrografico	7
2.2.1 Rischio idraulico	8
2.3 Analisi documenti e cartografia	10
3. MODELLAZIONE GEOLOGICA	11
3.1 Analisi geologica, geomorfologica e idrogeologica.	11
3.2 Indagini geognostiche	12
3.2.1 Indagini geognostiche	13
3.2.1.1 Sondaggi	13
3.2.1.2 Prove Penetrometriche Statiche (CPT)	14
3.2.1.3 Indagine sismica a rifrazione	15
3.2.1.4 Indagine sismica tipo MASW-Re.Mi.	15
3.2.1.5 Indagine sismica passiva (HVSr)	16
3.3 Modello geologico di sintesi	17
3.3.1 Modellazione dei risultati	17
3.3.2 Analisi di sintesi per la progettazione	18
4. ANALISI SISMICA DI TERZO LIVELLO	22
4.1 Modellazione sismica	22
4.1.1 Definizione del rischio sismico	22
4.1.2 Definizione spettri di risposta	23
4.1.3 Definizione coefficienti sismici	24
4.1.4 Definizione della Magnitudo di riferimento	25
4.2 Analisi degli effetti locali	26
4.2.1 Definizione dell'amplificazione sismica locale	26
5. ANALISI DELLA PERICOLOSITA'	35
6. CONCLUSIONI	35

ALLEGATI

- ALLEGATO 1
 - Modello geologico
- ALLEGATO 2
 - Parametri geotecnici da prove CPT

1. PREMESSA

Su incarico ricevuto dall'Azienda Unità Sanitaria Locale di Reggio Emilia avente oggetto "Progettazione di fattibilità tecnica ed economica, definitiva ed esecutiva, nonché del coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, del nuovo edificio "CASA DELLA SALUTE" di Casalgrande" con codice CIG 7012551C24 e codice CUP G57H16000650003, è stata redatta la seguente Relazione Geologica a corredo della realizzazione della Casa della Salute in Via Botte a Casalgrande in Provincia di Reggio Emilia.

Nella fase di progettazione attuale vengono utilizzati dati bibliografici, i dati estrapolati dalla campagna geognostica eseguita nel mese di Agosto 2017 dalla ditta PARMAGEO.

1.1 Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento

L'area oggetto di studio è situato in Via Botta nell'abitato di Casalgrande nel comune di Casalgrande in provincia di Reggio Emilia ed è cartografato nel CTR alla scala 1:10000 alla sezione 219010 denominata "SACNDIANO" dove risulta in una zona subpianeggiante con una leggera pendenza verso Nord-Nord-Est ad una quota di circa 90 m. s.l.m. (Fig. 1).

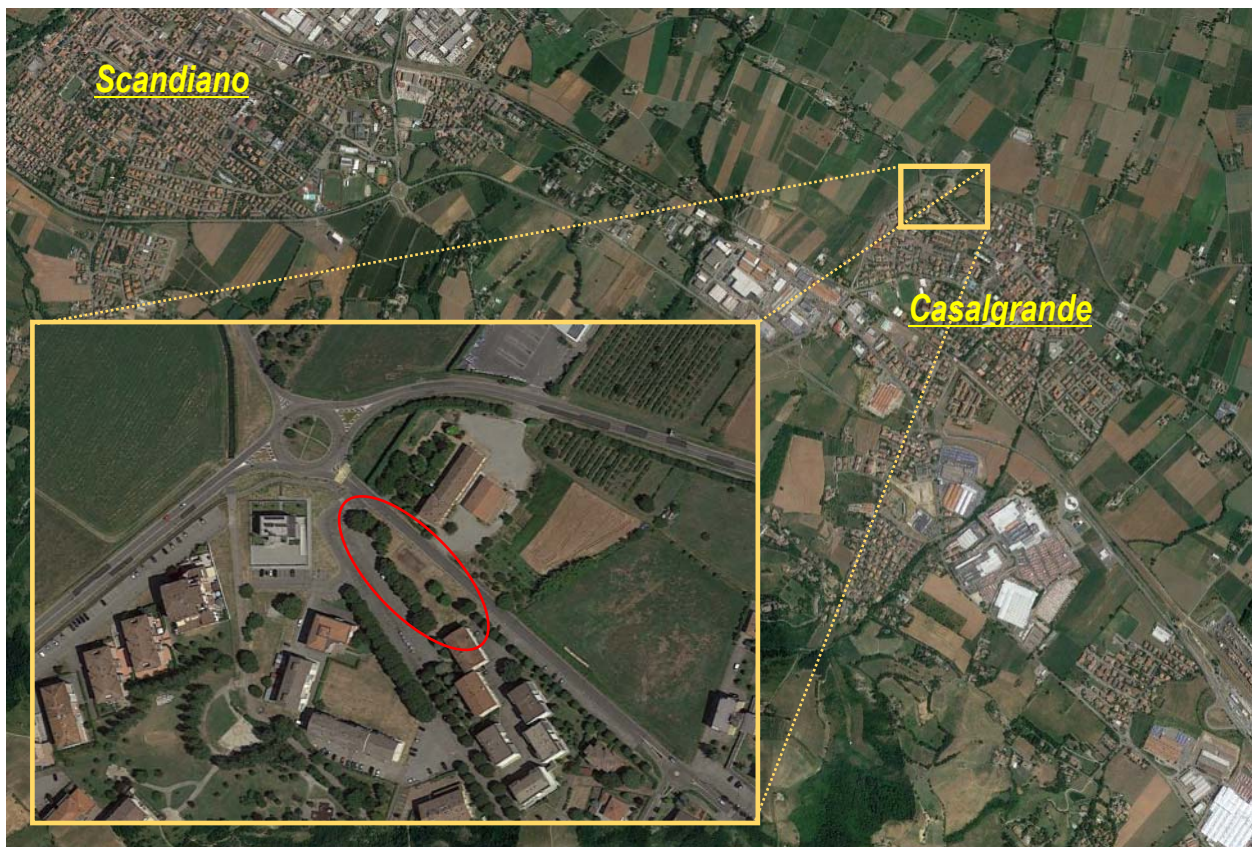


Figura 1: Foto aerea dell'area oggetto di studio.

1.2 Quadro Normativo

La presente "Relazione Geologica" segue quanto previsto nelle **NTC2008 "Norme tecniche per le costruzioni"** approvate con D.M. del 14/01/2008 e pubblicate nella Gazzetta Ufficiale del 4/02/2008 n.° 29, nelle quali si raccolgono le norme che disciplinano la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni al fine di garantire, per stabiliti livelli di sicurezza, la pubblica incolumità. Secondo l'NTC2008 si definisce che la "Relazione Geologica" consiste nella modellazione geologica del sito, ovvero definendone l'inquadramento geologico strutturale, la successione stratigrafica della zona dell'intervento, la descrizione dei processi geomorfologici che ne hanno guidato l'evoluzione nel corso del tempo e dei processi morfologici in atto.

L'NTC2008 supera la seguente e precedente normativa geologica-geotecnica:

- DM Ministro lavori Pubblici 11/3/1988 – *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;*
- Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 24/9/1988 n.° 30483 – *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione;*
- Circolare Ministero dei Lavori Pubblici del 9 Gennaio 1996 n.° 218/24/3 – *Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica.*

Per quanto riguarda l'analisi sismica si fa riferimento a:

- **OPCM 20.3.2003 n.° 3274** redatta dal INGV "Redazione della mappa di pericolosità sismica"
- **Delibera Giunta regionale n.° 2193 del 21 dicembre 2015.**

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

2.1 Inquadramento regionale

L'area oggetto di studio è situata nella fascia di transizione tra l'alta pianura Padana e la propaggine più settentrionale dell'edificio appenninico.

A partire dall'Oligocene superiore lo scontro tra la placca africana, in particolare la microplacca Adriatica, con la placca euroasiatica ha portato al sollevamento della catena appenninica e la formazione di un bacino antistante (avanfossa padana). A partire dal Pliocene medio anche il bacino antistante la catena appenninica è stato coinvolto nel processo di orogenesi che ha portato alla formazione di strutture compressive e trascorrenti come faglie, pieghe thrust in parte sepolte dalle coperture alluvionali quaternarie apportate dai corsi appenninici.

Le coperture continentali presenti risultano tipiche dei sistemi deposizionali della pianura pedemontana, caratterizzati da depositi prevalentemente ghiaiosi nelle aree attigue o contigue ai corsi d'acqua principali e da limi e/o argille nelle aree perfluviali di interconoide. Il rapporto tra materiali grossolani e fini risulta elevato nella zona di alta pianura e decresce procedendo verso valle e verso le zone interne delle aree perfluviali (zone di interconoide).

La stratigrafia profonda estrapolata dal quadro stratigrafico strutturale elaborato dalla Regione Emilia Romagna è riportata nella figura 2 rappresenta la sezione 108 pubblicata e consultabile on-line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, in cui risulta un ammasso prevalentemente limo/limo-sabbioso/argilloso, con importanti lenti di ghiaie la cui potenza aumenta con la profondità.

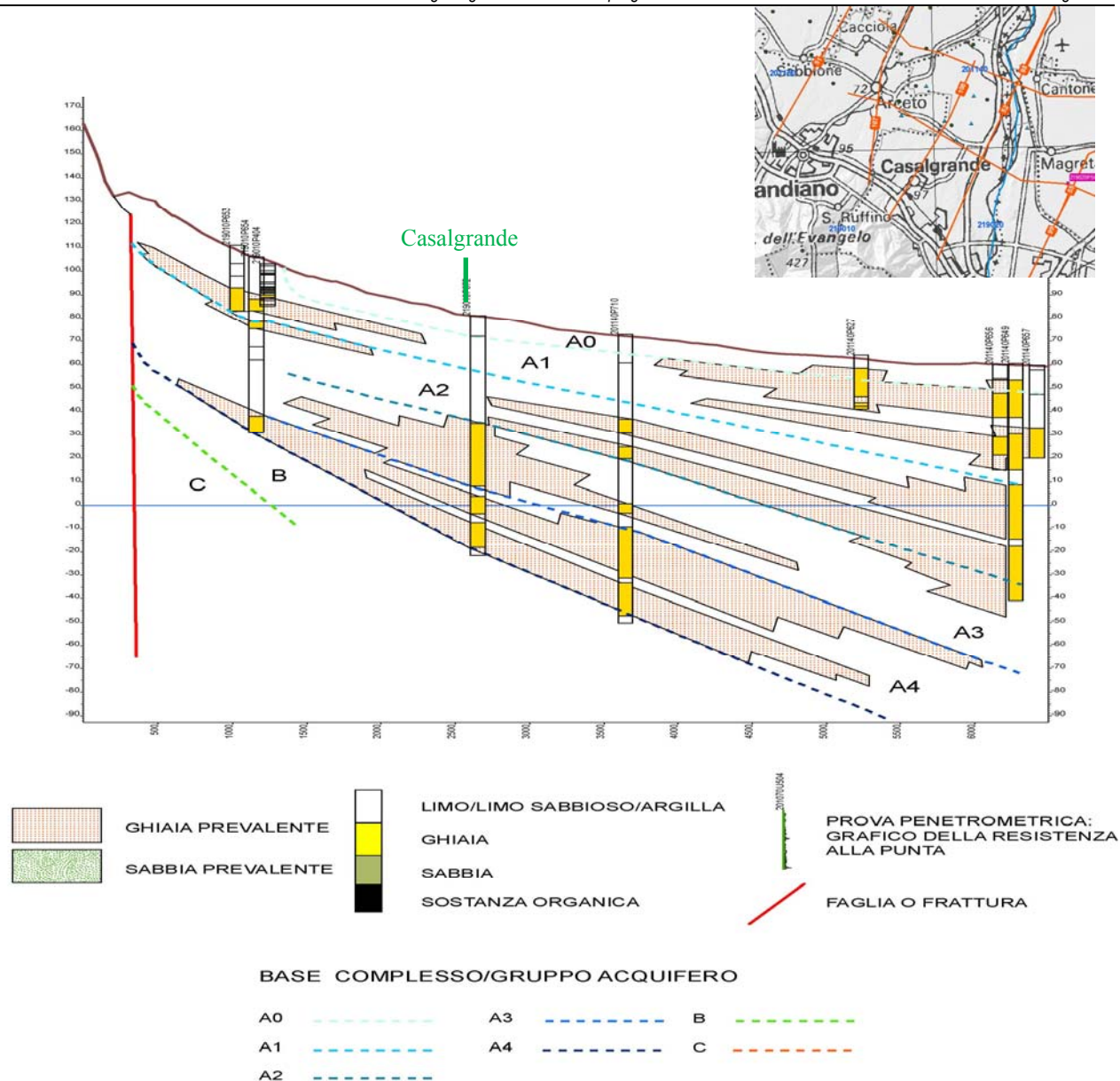


Figura 2: Sezione 108 pubblicata nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna

2.2 Inquadramento geomorfologico e idrografico

L'assetto geomorfologico dell'area è il risultato dell'effetto combinato tra gli eventi fluviali, le deformazioni tettoniche e gli interventi antropici.

L'area è situata nella fascia di passaggio tra il margine collinare e l'alta pianura reggiana, caratterizzata da terrazzi alluvionali che si riducono in ampiezza spostandosi verso monte e da conoidi alluvionali con pendenze dell'ordine di 2÷4° costituiti da depositi ghiaiosi e sabbiosi ricoperti da materiali fini riconducibili al Fiume Secchia e al Torrente Tresinaro.

Il corso principale del territorio comunale è il Fiume Secchia che segna il confine orientale con la vicina provincia di Modena. Altro importante corso d'acqua è il Torrente Tresinaro che scorre ad Ovest rispetto al territorio comunale. Infine si segnala la presenza di diversi piccoli rii appenninici tra i quali ricordiamo il Rio Riazzone ed il Rio Canaletto entrambi affluenti di destra del Torrente Tresinaro.

Trovandoci nella prima periferia dell'abitato di Casalgrande l'area risulta fortemente antropizzata, anche se risulta possibile individuare le diverse morfologie sopra riportate per la presenza di evidenti dislivelli. Infine si segnala la presenza di numerosi canali artificiali realizzati nei secoli per scopi irrigui e con funzioni scolante. Tra Questi il più importante risulta il Canale di Reggio che entrando nell'abitato di Casalgrande risulta interrato.

2.2.1 Rischio idraulico

La carta pubblicata dalla Regione Emilia Romagna – Piano di gestione del rischio di alluvioni secondo la direttiva europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni, "Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010) – tavola 201SO-RUBIERA" alla scala 1:25000, consiste in un quadro conoscitivo della pericolosità di alluvioni (Fig. 3)

A seconda dell'elevata estensione del reticolo idrografico, della complessità del sistema e delle presenza di zone morfologicamente depresse, il territorio è stato suddiviso in:

- Alluvioni frequenti: con tempi di ritorno fino a 50 anni;
- Alluvioni poco frequenti: con tempi di ritorno fino a 200 anni.

Dalla cartografia risulta che l'area oggetto di studio ricade nello scenario di pericolosità P3 -M (alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni -media probabilità). Si ricorda che lo studio non tiene in considerazione la possibilità che si verifichino rotture arginali o malfunzionamenti degli impianti di sollevamento e delle opere di gestione delle piene (chiaviche, paratoie, ecc.).

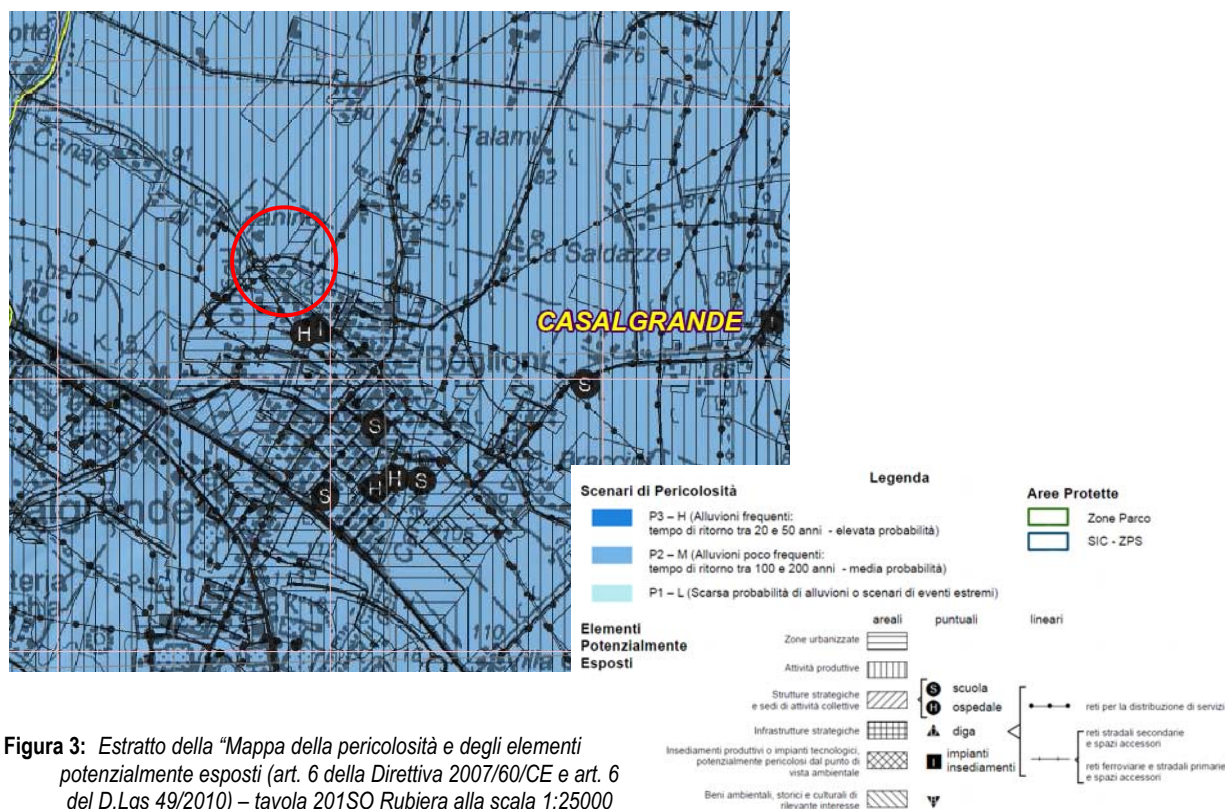


Figura 3: Estratto della "Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs 49/2010) – tavola 201SO Rubiera alla scala 1:25000

La carta pubblicata dalla Regione Emilia Romagna – Piano di gestione del rischio di alluvioni secondo la direttiva europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni, "Mappa del rischio potenziale (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010) – tavola 201SO-RUBIERA" alla scala 1:25000 (Fig. 4), consiste nella mappatura del rischio alluvioni basato sulla seguente formula:

$$R = P \times E \times V = P \times Dp$$

Dove:

P (pericolosità) rappresenta la probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo di un fenomeno naturale di assegnata intensità;

E (elementi esposti) sono i beni e le persone esposte ad un evento naturale;

V (vulnerabilità) rappresenta il grado di capacità (o incapacità) di un sistema/elemento a resistere all'evento naturale;

Dp (danno potenziale) rappresenta il grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto;

R (rischio) rappresenta il numero atteso di vittime persone ferite danni a proprietà, beni culturali e ambientali, distruzione o interruzione di attività economiche, in conseguenza di un fenomeno naturale di assegnata intensità.

Dalla cartografia risulta che l'area oggetto di studio ricade nella classe di rischio **R2** nel quale sono possibili danni minori agli edifici alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.

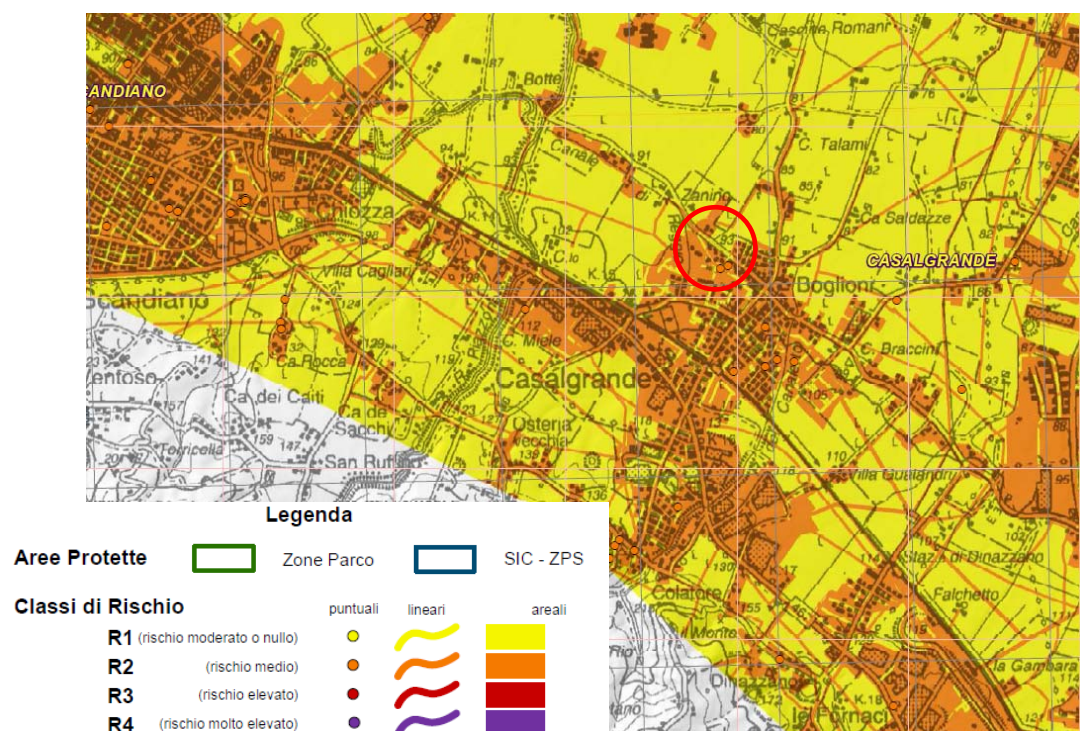


Figura 4: Estratto della "Mappa del rischio potenziale (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs 49/2010) – tavola 201SO Rubiera alla scala 1:25000

2.3 Analisi documenti e cartografia

Dal PSC del Comune di Casalgrande "TAV2a – Tavola dei Vincoli: tutela degli elementi storico-culturali e ambientali" in scala 1:10000 (Fig. 5) l'area oggetto di studio ricade all'interno del territorio urbanizzato (art. 1.6) mentre nelle immediate vicinanze sono presenti "Canali storici (art 8.33)" e "Canali di bonifica (art 8.37ter)".

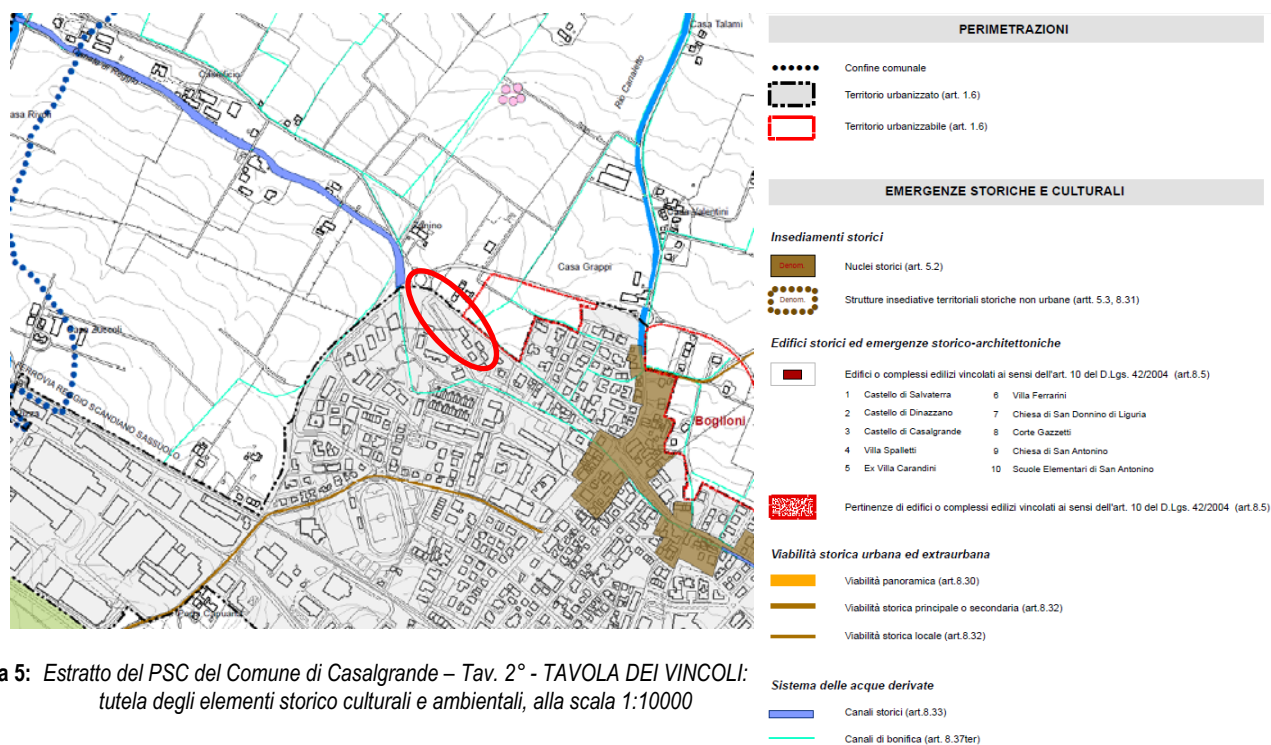


Figura 5: Estratto del PSC del Comune di Casalgrande – Tav. 2° - TAVOLA DEI VINCOLI: tutela degli elementi storico culturali e ambientali, alla scala 1:10000

3. MODELLAZIONE GEOLOGICA

3.1 Analisi geologica, geomorfologica e idrogeologica.

Il sito oggetto di studio è situato nella fascia di passaggio tra il margine collinare e l'alta pianura reggiana, caratterizzata da terrazzi alluvionali e da conoidi alluvionali riconducibili al Fiume Secchia e al Torrente Tresinaro.

Dalla "Carta geologica dell'appennino emiliano-romagnolo a scala 1:10000 edizione 2011 – Rilevamento geologico originale eseguito alla scala 1:10000 negli anni 1982/1996. Aggiornamento delle unità geologiche al 2005 e parziale aggiornamento delle coperture al 2011" alla Sezione 219010 Scandiano" rappresentata in figura 6, nell'area oggetto di studio è presente la "**Successione neogenico-quadernario del margine appenninico padano**" ed in particolare il Subintema di Ravenna (AES8), l'Unità di Vignola (AES7b) e l'Unità di Niviano (AES7a).



Figura 6: Estratto della carta geologica regionale sezione 219010 Scandiano alla scala 1:10000

Il **Subintema di Ravenna (AES8)** viene descritto come – Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Nell'alta pianura su AES7b (affiorante solo in cave). Potenza fino a oltre 20 m. (Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni)

L' **Unità di Vignola (AES7b)** vengono descritte come - Ghiaie con matrice limo-sabbiosa in prossimità dei torrenti e fiumi principali, passanti distalmente e lateralmente a limi e limi sabbiosi. Depositi fluviali intravallivo e di conoide passante lateralmente a interconoide e distalmente a piana inondabile. Al tetto suoli decarbonatati con tracce di illuviazione di argilla e fronte di alterazione tra 1,5 e 2 m, orizzonti superficiali di colore da rosso bruno a bruno scuro. Potenza fino a oltre 20 m. (Pleistocene sup. - Olocene basale)

L' **Unità di Niviano (AES7a)** vengono descritte come - Depositi continentali ghiaioso sabbiosi dei terrazzi intravallivi e di conoide dei fiumi principali, e limo-sabbiosi dei torrenti minori. Al tetto suoli decarbonatati, a luoghi rubefatti, con fronte di alterazione < 5 metri, orizzonti superficiali con colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Contatto superiore coincidente con la superficie topografica nelle aree intravallive e pedecollinari, sepolto da AES7b e AES8 nell'alta pianura. Potenza affiorante < 10 m o non valutabile. (Pleistocene sup.)

3.2 Indagini geognostiche

Data l'attuale fase di progettazione, per la stesura di tale relazione geologica, sono stati presi in considerazione i dati estrapolati dalla campagna di indagini eseguite da "PARMAGEO Srl" nel mese di Agosto 2017 i cui risultati sono riportati nel verbale lavori con titolo "**Indagine geognostica e sismica propedeutica alla redazione della Relazione Geologica a corredo del progetto di realizzazione della "Nuova Casa della Salute di Casalgrande"**" con riferimento CIG Z231FAAAD2 e contratto 2017/50942.0

Come riportato nel suddetto verbale lavori, le prove eseguite nel lotto oggetto di studio sono state le seguenti:

- n.° 2 sondaggi a carotaggio continuo (S);
- n.° 2 prove penetrometriche statiche (CPT);
- n.° 1 indagine sismica a rifrazione (RIFRA);
- n.° 1 indagine sismica tipo MASW;
- n.° 1 indagine sismica tipo HVSR;

L'ubicazione delle indagini è riportata in figura 7.



Figura 7: Ubicazione indagini presso frazione di Cerezzola Ciano d'Enza (RE).

3.2.1 Indagini geognostiche

L'indagine eseguita nell'anno 2017 dalla ditta "PARMAGEO Srl" è costituita da n.° 2 sondaggi a carotaggio continuo, n.° 2 prove penetrometriche meccaniche, n.° 1 indagine sismica a rifrazione, n.° 1 indagine sismica MASW e n.° 1 indagine sismica HVSR come quanto riportato nel verbale lavori "Indagine geognostica e sismica propedeutica alla redazione della Relazione Geologica a corredo del progetto di realizzazione della "Nuova Casa della Salute di Casalgrande" con riferimento CIG Z231FAAAD2 e contratto 2017/50942.0.

Di seguito vengono brevemente descritte le prove eseguite, la strumentazione impiegata ed i risultati delle indagini.

3.2.1.1 Sondaggi

Nel mese di Agosto 2017 sono stati realizzati n.° 2 sondaggi a carotaggio continuo mediante sonda di perforazione MDT80V.

Le caratteristiche ed i risultati sono riportati in tabella 3.1

Nome prova: **S01**
Data esecuzione: **28/08/2017**
Profondità: **20,00 m. da p.c.**
Falda: **13,50 m. da p.c. il 28/08/2017**

Nome prova: **S02**
Data esecuzione: **29/08/2017**
Profondità: **20,00 m. da p.c.**
Falda: **13,00 m. da p.c. il 29/08/2017**

Profondità (m)	Descrizione	Profondità (m)	Descrizione
0,00 ÷ 4,40	Coltre di copertura a base limo-argillosa/sabbioso-argillosa di colore marrone chiaro leggermente violaceo, colto secca e compatta con qualche piccolo frammento di laterizio e ghiaietto minuto incluso nella base terrosa entro i primi due metri circa	0,00 ÷ 2,80	Altemanze di limi sabbiosi/argillo-sabbiosi di colore marrone violaceo spesso inglobanti ghiaie minute, decisamente asciutte e pietrisco e sabbia in miscela con scarso materiale terroso.
4,40 ÷ 7,00	Limi sabbio-argillosi con ripetute intercalazioni di ghiaie minute. L'ammasso è in colorazione marrone chiara fino a circa 6,0 m. di profondità oer poi assumere tonalità marroni molto più accese ed ocracee di pari passo all'aumento del tasso di alterazione del sedimento (dai sei metri anche le ghiaie incluse sono molto più ossidate). Terreni ancora relativamente secchi.	2,80 ÷ 5,00	Argille limose localmente sabbiose o debolmente sabbiose di colore marrone. Ricorrenza di piccole concrezioni calcaree bianco-giallastre. Il terreno inizia a mostrare un certo grado di umidità.
7,00 ÷ 16,20	Argille limose di colore marrone, da giallastro a rossastro, con innumerevoli puntinature organiche bruno nerastre e calcinelli calcarei biancastri per lo più millimetrici. Sporadiche inclusioni di ghiaie minuti. Già a partire dal tetto del deposito, inizia ad aumentare il tasso di umidità dei sedimenti.	5,00 ÷ 6,00	Argille limose di colore marrone leggermente rossastre con ghiaie minute
16,20 ÷ 20,00	Ghiaie in matrice sabbio-limosa/sabbio-argillosa di colore marrone leggermente rossastro fino a 19,00 metri, grigiastra nel tratto sottostante. In sede di perforazione apparse molto addensate.	6,00 ÷ 15,90	Argille limose di colore marrone, da chiaro a scuro, da giallastro a leggermente rossastro. Caratteristica la ragguardevole diffusione di calcinelli calcarei, molto abbondanti tra gli otto e i nove metri e tra i dodici e i quattordici metri di profondità. Il sedimento appare fittamente intriso di frustoli carboniosi e percorso da sottili tasche sabbiose via via più frequenti con la profondità. In questo stesso senso aumenta anche il grado di alterazione dell'ammasso evidenziato da screziature rossastre brune e grigie, da chiare a scure.
		15,90 ÷ 20,00	Ghiaie in matrice sabbioso-limosa/sabbio-argillosa di colore marrone leggermente rossastro fino a 19,50 m. grigiastra nel tratto sottostante. In sede di perforazione apparse molto addensate.

Tabella 3.1: Sondaggi a carotaggio continuo

All'interno dei sondaggi sono state eseguite varie prove SPT (Standard Penetration Test) con campionatore standard a punta aperta.

Sondaggio	Nome prova	Data	Quota inizio prova (m. da p.c.)	Tipo punta	Prova			N _{SPT}
					N1	N2	N3	
S01	SPT1	28/08/2017	4,00 m	Aperta	16	19	19	38
	SPT2	28/08/2017	7,00 m	Aperta	6	11	13	24
	SPT3	28/08/2017	12,00 m	Aperta	13	16	20	36
S02	SPT1	29/08/2017	2,00 m	Aperta	6	6	6	12
	SPT2	29/08/2017	5,00 m	Aperta	6	10	8	18
	SPT3	29/08/2017	10,00 m	Aperta	20	23	23	46

Tabella 3.2: Prove SPT

3.2.1.2 Prove Penetrometriche Statiche (CPT)

In data 30 Agosto 2017 sono state effettuate n.° 2 prove CPT con punta Begemann con penetrometro Pagani Modello TG73, spinte fino alla profondità di rifiuto.

In tabella 3.3 si riportano la data, le profondità raggiunte dalle prove, la presenza di acqua ed i risultati.

Nome prova: **CPT1**
Data esecuzione: **30/08/2017**
Profondità: **16,40 m. da p.c.**
Falda: **13,00 m. da p.c. il 30/08/2017**

Nome prova: **CPT2**
Data esecuzione: **30/08/2017**
Profondità: **15,60 m. da p.c.**
Falda: **13,00 m. da p.c. il 30/08/2017**

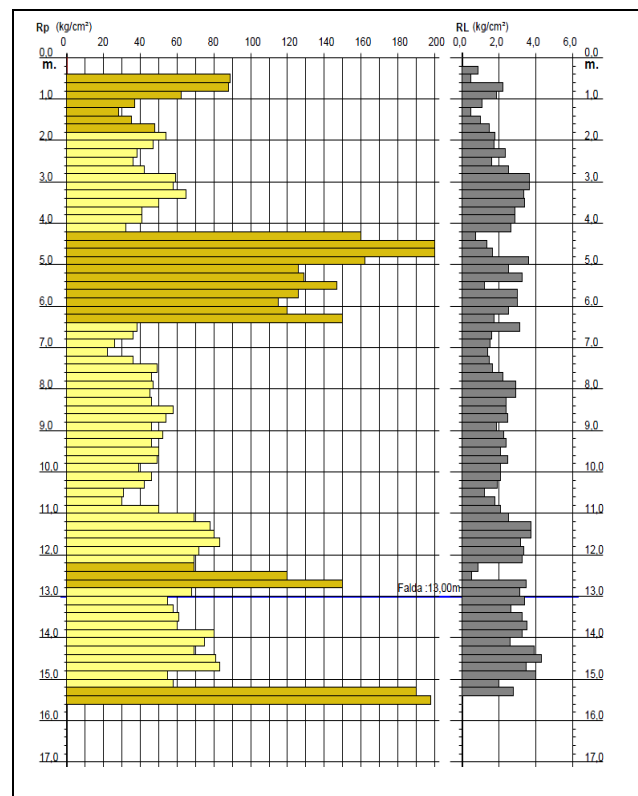
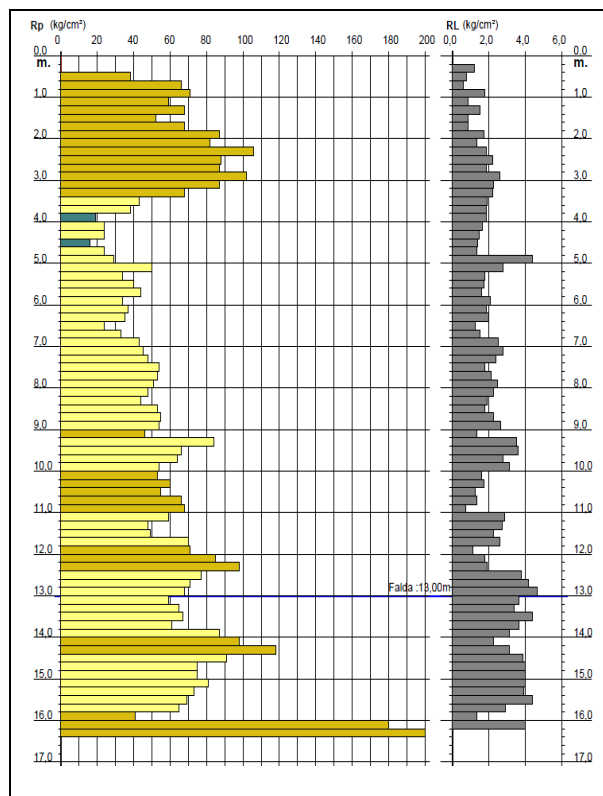


Tabella 3.3: Risultati prove CPT

3.2.1.3 Indagine sismica a rifrazione

Nel mese di Agosto 2017 è stata eseguita una indagine sismica mediante tomografia a rifrazione finalizzata all'individuazione dell'assetto strutturale e stratigrafico del sottosuolo e della morfologia sepolta.

In tabella 3.4 si riportano le caratteristiche ed i risultati della prova eseguita.

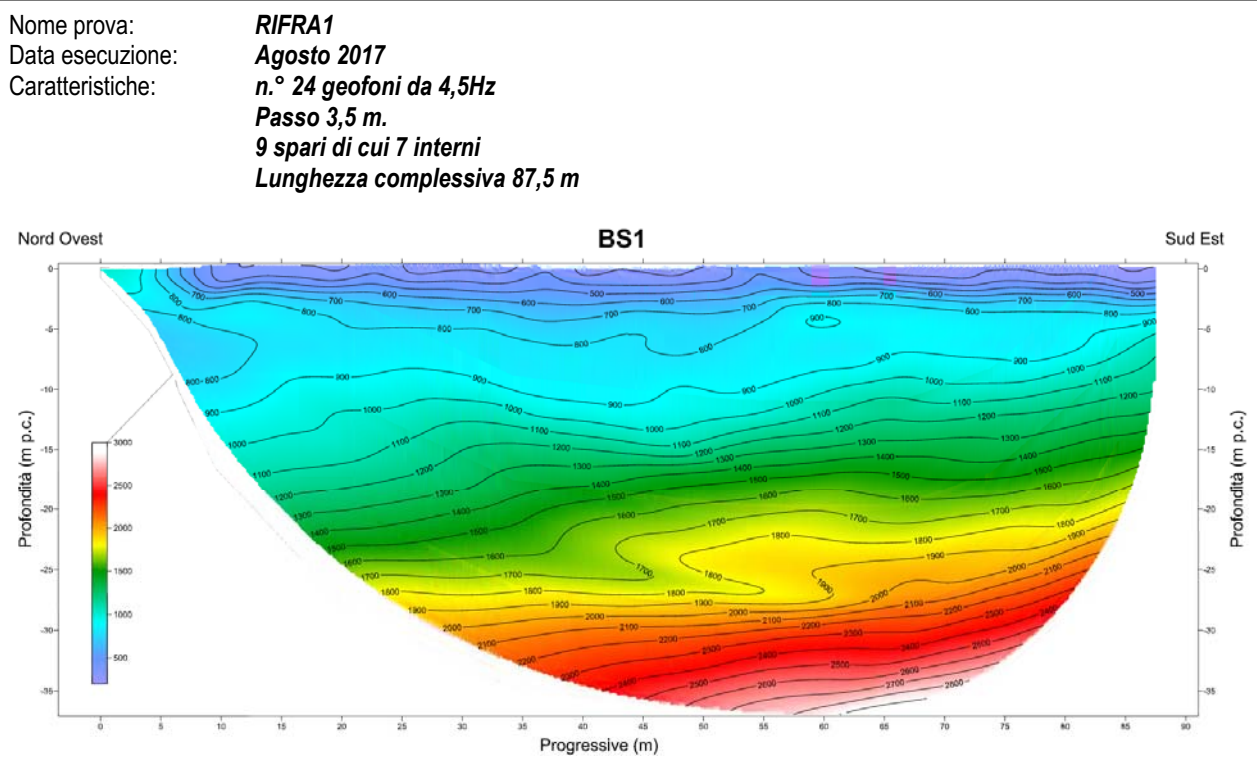


Tabella 3.4: Risultati prove CPT

3.2.1.4 Indagine sismica tipo MASW-Re.Mi.

Dall'indagine MASW-Re.Mi. eseguita nell'Agosto 2017 è stato possibile determinare la Vs30 e la categoria di sottosuolo.

In tabella 3.5 si riportano le caratteristiche ed i risultati della prova eseguita.

Nome prova: **MASW-Re.Mi.**
Data esecuzione: **Agosto 2017**
Caratteristiche: **n.° 24 geofoni da 4,5 Hz**
Passo 3 m.
Spazi a 6 e 10 m. dal primo geofono

Orizzonte	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1	0 ÷ 4	4	180
2	4 ÷ 11	7	250
3	11 ÷ 20	9	450
4	20 ÷ 50	30	580
5	50 ÷ 70	20	530
6	>72		560

Tabella 3.5: Risultati prova MASW

La definizione del valore di Vs30 è stata calcolata mediante la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

Dove:

hi = spessore dello strato i-esimo in m

vi = velocità dello strato i-esimo m/s

Il valore di Vs30 ottenuto è pari a **343** m/s che corrisponde alla categoria di sottosuolo **C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

3.2.1.5 Indagine sismica passiva (HVSr)

Nell'Agosto 2017 è stata eseguita una indagine sismica tipo passiva a stazione singola per l'acquisizione dei microtremori ambientali. L'acquisizione è stata effettuata campionando il segnale a 125 Hz per una durata di 30 minuti. Nella tabella 3.6 si riportano le analisi spettrali delle diverse componenti dei microtremori misurati in sito e l'analisi H/V sperimentale.

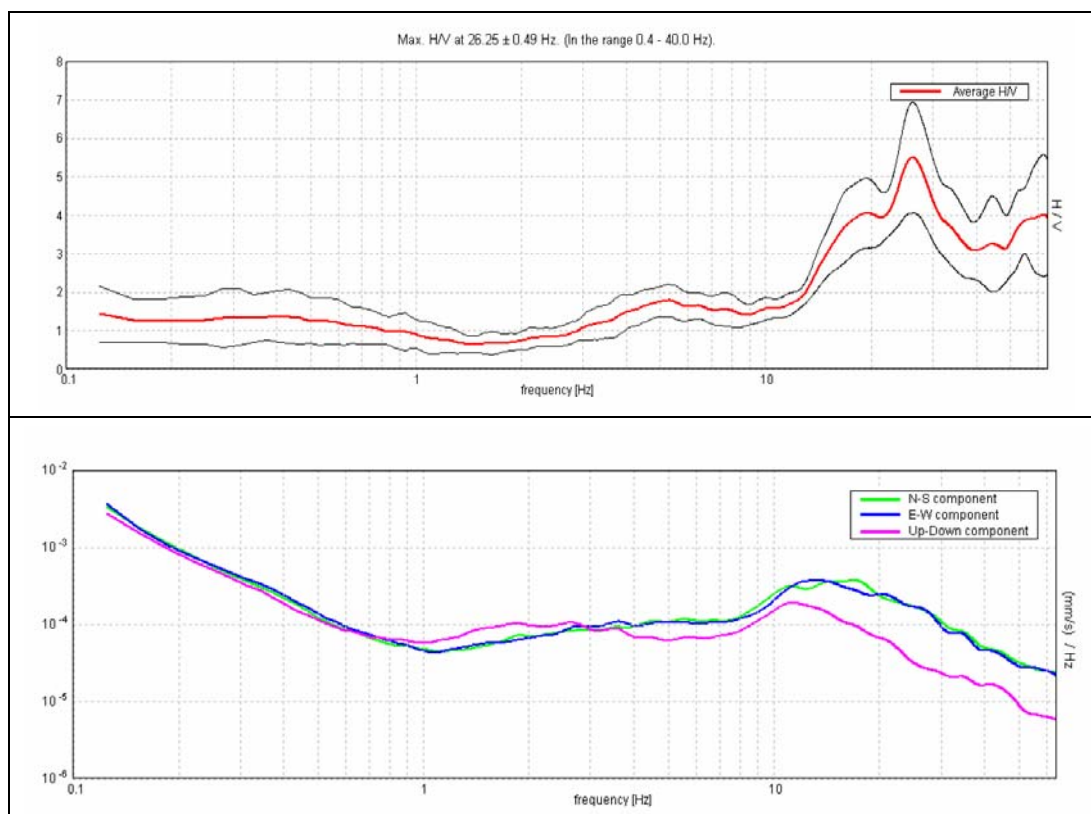


Tabella 3.6: Risultati prova HVSr

Dall'esame dei dati, vengono riportati i principali picchi di frequenza individuati dall'analisi spettrale.

Frequenza Hz	Profondità (m. da p.c.)
26,3	2,5 ÷ 3,5
18	-
5,2	15 ÷ 20

Tabella 3.7: Picchi di frequenza

3.3 Modello geologico di sintesi

3.3.1 Modellazione dei risultati

Il sito oggetto di studio è collocato a Nord dell'abitato di Casalgrande in una zona subpianeggiante con una leggera pendenza verso Nord-Est.

Dall'analisi delle indagini è stato possibile correlare una successione stratigrafica dei primi metri nel lotto oggetto di studio. Il volume di terreno indagato risulta costituito da ammasso prevalentemente argilloso limoso fino alla profondità di 16,0 m. dal piano campagna, all'interno del quale sono presenti piccole lenti sabbiose-ghiaiose di estensione areale limitata. Tra queste quella di maggiore rilevanza per il suo spessore, risulta quella individuata in corrispondenza della CPT2 tra 4,0 e 6,5 m. dal piano campagna. Questo orizzonte non individuato nelle indagini eseguite più a sud (S01 e CPT1), tende a chiudersi verso Nord visto che nel sondaggio S02 presenta solamente 1,0 m. di spessore (da 5,0 a 6,0 m. da p.c.).

A partire da 16,0 m. dal piano campagna è stato individuato, in ciascun punto investigato, un orizzonte ghiaioso.

Nell'Agosto 2017 la falda è stata individuata alla profondità di 13,0 m. dal piano campagna. Non si escludono importanti oscillazioni del livello idrometrico stagionale e in concomitanza di eventi meteorici particolarmente avversi.

Il modello geologico sopra descritto è riportato in figura 8 e in Allegato 1.

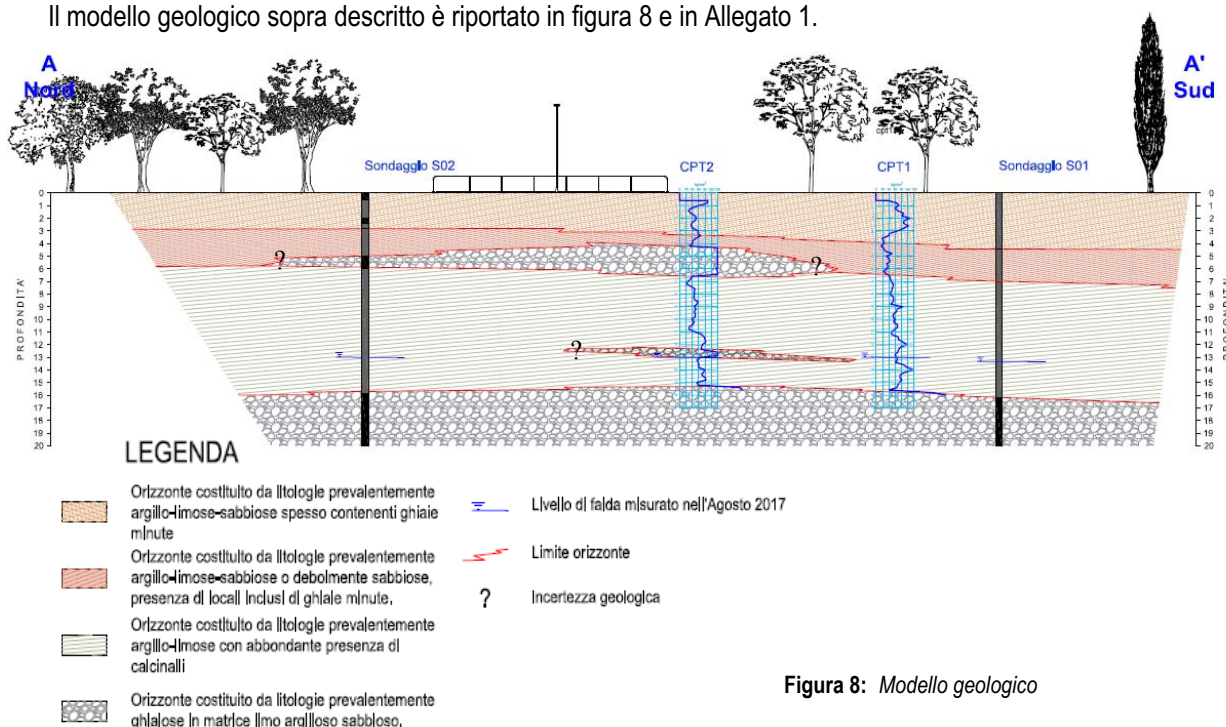


Figura 8: Modello geologico

3.3.2 Analisi di sintesi per la progettazione

Per definire i parametri geotecnici delle unità attraversate è stata eseguita una analisi statistica tramite il software CPeT-IT prodotto dalla GEOLOGISMIKI delle prove penetrometriche. Con questa elaborazione, riportata nelle seguenti figure (fig. 9 e 10), è stato possibile suddividere le varie unità in orizzonti con caratteristiche omogenee dalle quali estrapolare parametri caratteristici.

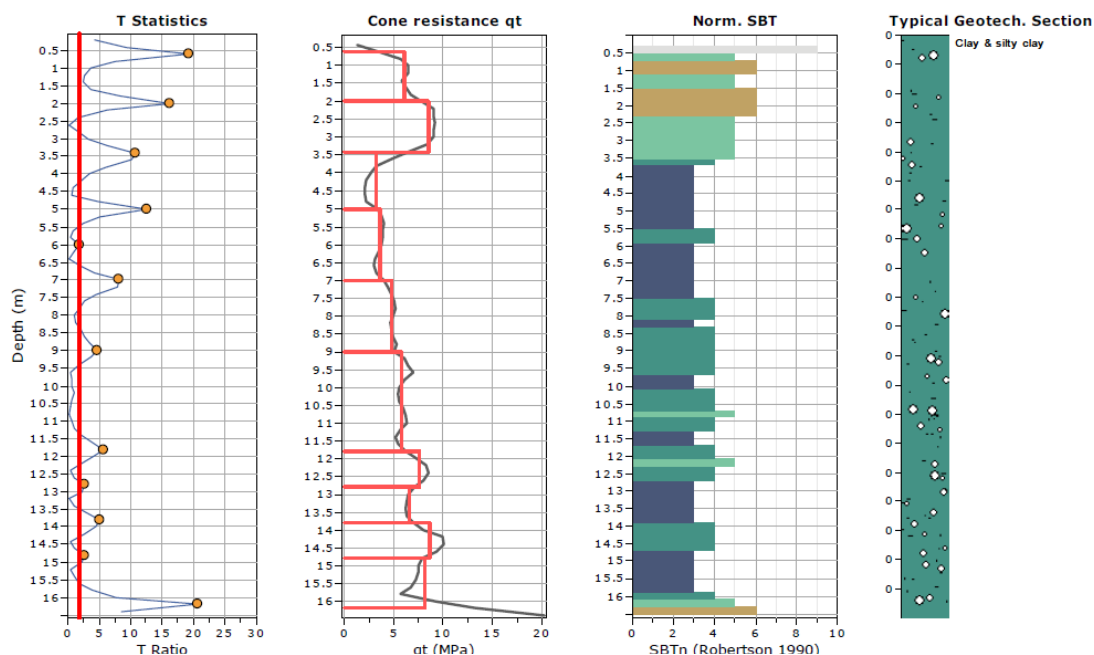


Figura 9: Analisi statistica della CPT1 eseguita con software CPeT-IT prodotto dalla GEOLOGISMIKI

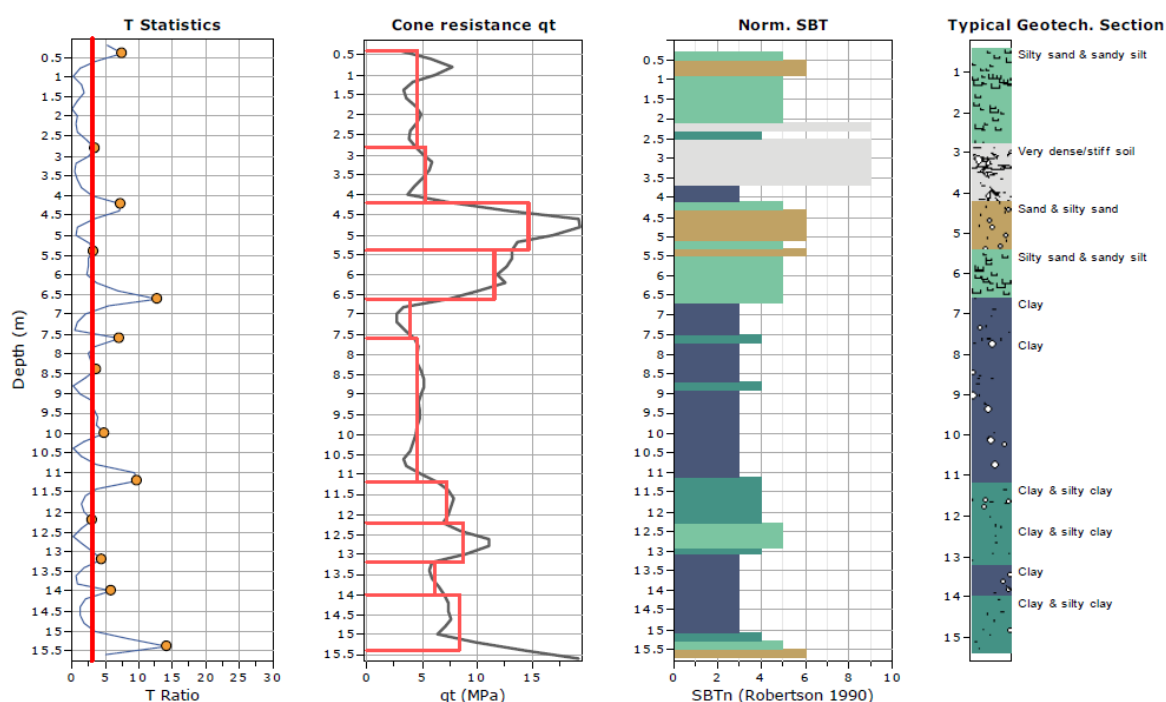


Figura 10: Analisi statistica della CPT2 eseguita con software CPeT-IT prodotto dalla GEOLOGISMIKI

Di ogni orizzonte individuato sono stati desunti i parametri geotecnici caratteristici intesi come stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato, ed identificato come il 5° percentile della distribuzione della media campionaria secondo la relazione sotto riportata:

$$\mu = t(n-1) \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) + \bar{x}$$

I parametri geotecnici sono stati ottenuti dal software WIN-CPT e riportati nell'Allegato 2.
In tabella 3.8 e 3.9 si riportano i parametri caratteristici di ogni orizzonte individuato.

CPT1

Strato	Prof (m)	c _u (kg/cm ²)	OCR	M (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)
1	0,00÷2,00	-	-	160	86	40
2	2,00÷3,40	-	-	240	79	30
3	3,40÷5,00	0,80	5,72	63	-	-
4	5,00÷7,00	1,10	6,07	97	-	-
5	7,00÷9,00	1,58	6,87	142	-	-
6	9,00÷11,80	1,71	5,25	150	-	-
7	11,80÷12,80	2,21	5,90	195	-	-
8	12,80÷13,80	2,04	5,00	186	-	-
9	13,80÷14,80	2,00	4,75	180	-	-
10	14,80÷16,00	2,27	5,15	204	-	-
11	16,00÷16,40	-	-	540	68	37

Tab. 3.8: Parametri caratteristici dei livelli individuati dalla CPT1

CPT2

Strato	Prof (m)	c _u (kg/cm ²)	OCR	M (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)
1	0,00÷2,80	1,19	17,34	118		
2	2,80÷4,20	1,35	15,09	121		
3	4,20÷5,40	-	-	295	67	37
4	5,40÷6,60	-	-	264	59	36
5	6,60÷7,60	0,93	4,16	78		
6	7,60÷11,20	1,45	5,06	131		
7	11,20÷12,20	2,33	6,80	209		
8	12,20÷13,20	1,59	3,57	144		
9	13,20÷14,00	1,74	4,16	157		
10	14,00÷15,20	2,08	4,86	188		
11	15,20÷15,60	-	-	570	70	38

Tab. 3.9: Parametri caratteristici dei livelli individuati dalla CPT2

I parametri ottenuti dalle prove **SPT** sono stati calcolati a seconda della natura litologica (coesiva o granulare) secondo le seguenti correlazioni:

TERRENI COESIVI

- coesione non drenata (c_u) (Hara et al., 1971)

$$c_u \text{ (kPa)} = 29 \cdot N_{SPT}^{0,72}$$

- OCR (Mayne e Kemper, 1988)

$$OCR = 0,193 \times \left(\frac{N_{SPT}}{\sigma_{vo}} \right)^{0,689}$$

TERRENI GRANULARI

- Angolo di resistenza al taglio φ secondo Road Bridge Specification
 $\varphi = 0,3N_{spt} + 27$

- Densità relativa secondo Gibbs & Holtz

$$Dr(\%) = 21 \sqrt{\frac{N_{spt}}{\sigma + 0,7}}$$

dove σ è la pressione litostatica efficace a metà strato in kg/cmq e N_{spt} il numero di colpi medio misurato nello strato.

- Modulo edometrico di Farrent

Il metodo di Farrent è valido per le sabbie in genere. Il metodo non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di N_{spt} ad una diminuzione di M con la profondità.

$$M \text{ (kg/cmq)} = 7,1 N_{spt}$$

- Consistenza

La consistenza in litologie sabbiose viene definita sul numero di N_{spt} come da tabella 3.10 (tabella riportata dal "manuale del geologo di Mario Casadio, Carlo Elmi Pitagora Editrice Bologna, 1999)

Consistenza	N_{spt}
Molto sciolto	< 4
Sciolto	4 – 10
Medio	10 – 30
Denso	30 – 50
Molto denso	> 50

Tabella 3.10: definizione della consistenza di un ammasso sabbioso dal valore di N_{spt}

Nelle seguenti tabelle si riportano i valori dei parametri geotecnici desunti dalle suddette relazioni tenendo in considerazione la natura litologica dell'orizzonte in cui è stata effettuata la prova.

SONDAGGIO S01

Prova	Profondità	N_{SPT}	Terreni coesivi		Terreni attritivi			
			Cu (Hara et Al.) kPa	OCR	φ (Road Bridge Specification)	Dr %	Modulo Edometrico (kg/cm ²)	Consistenza
SPT1	4,00 m	38	397	0,58	-	-	-	-
SPT2	7,00 m	24	285	0,29	-	-	-	-
SPT3	12,00 m	36	382	0,26	-	-	-	-

Tabella 3.10: Parametri geotecnici da prove SPT

SONDAGGIO S02

Prova	Profondità	N _{SPT}	Terreni coesivi		Terreni attritivi			
			Cu (Hara et Al.) kPa	OCR	φ (Road Bridge Specification)	Dr %	Modulo Edometrico (kg/cm ²)	Consistenza
SPT1	(2,00 m)	12	173	0,42	-	-	-	-
SPT2	(5,00 m)	18	232	0,30	-	-	-	-
SPT3	(10,00 m)	46	456	0,35	-	-	-	-

Tabella 3.11 Parametri geotecnici da prove SPT

4. ANALISI SISMICA DI TERZO LIVELLO

4.1 Modellazione sismica

4.1.1 Definizione del rischio sismico

Dal PTCP della Provincia di Reggio Emilia "Rischio sismico – Carta degli effetti attesi – P9a219NO" in scala 1:25000 (fig. 11) si osserva che l'area oggetto di studio è classificata nella classe C in cui gli effetti attesi risultano essere fenomeni di amplificazione stratigrafica

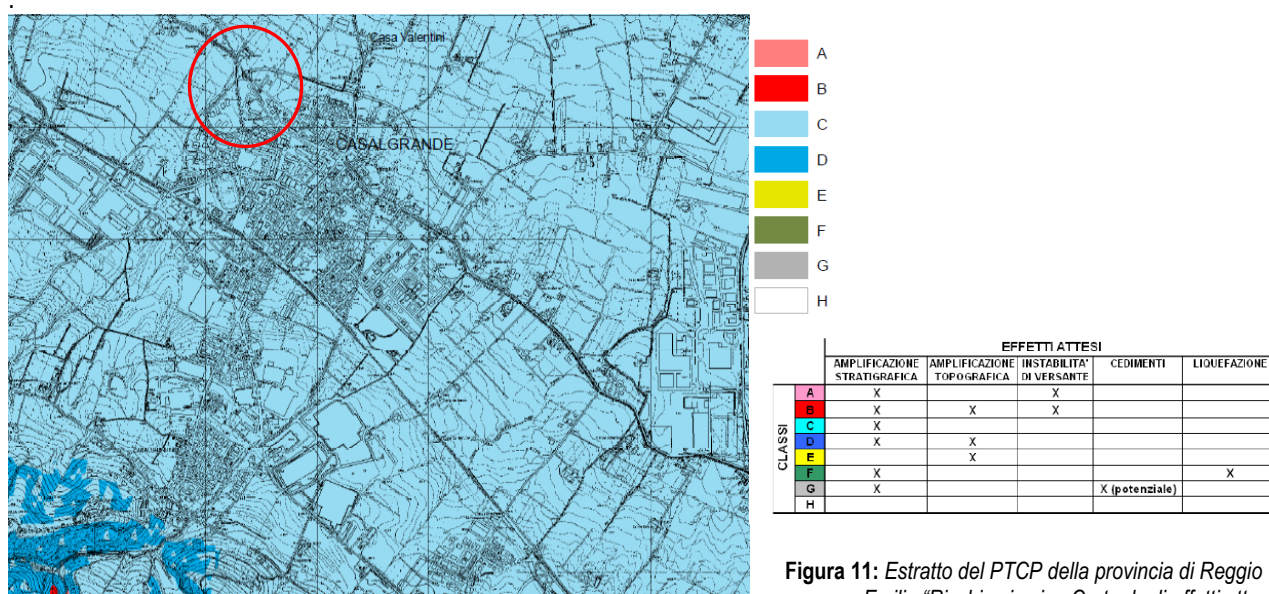


Figura 11: Estratto del PTCP della provincia di Reggio Emilia "Rischio sismico-Carta degli effetti attesi-P9a218NO" in scala 1:25000

Dal PTCP della Provincia di Reggio Emilia "Rischio sismico – Carta dei livelli di approfondimento – P9b219NO" in scala 1:25000 (fig. 12) si osserva che l'area oggetto di studio è classificata in classe livello di approfondimento 2, ma visto la realizzazione di un edificio di pubblica utilità si procede alla studio di 3° livello.

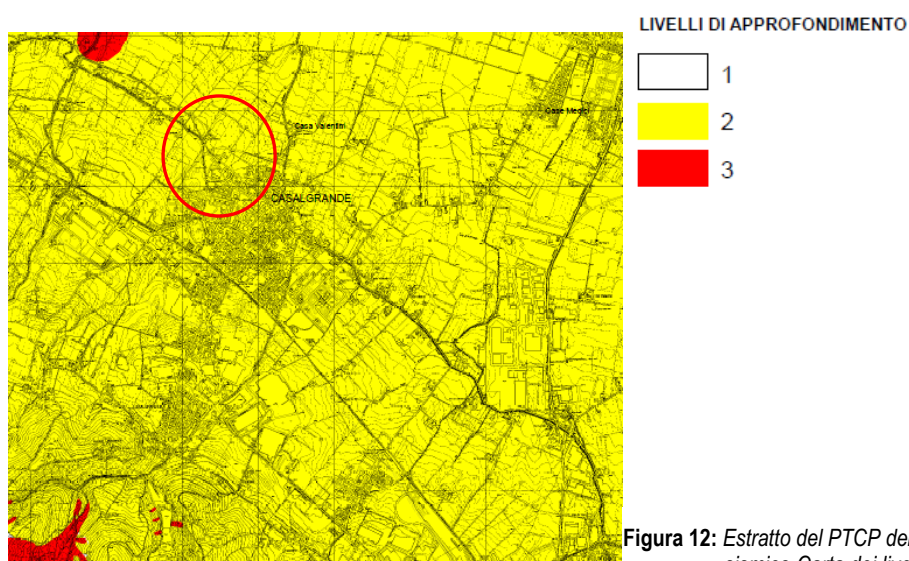


Figura 12: Estratto del PTCP della provincia di Reggio Emilia "Rischio sismico-Carta dei livelli di approfondimento-P9b218NO" in scala 1:25000

4.1.2 Definizione spettri di risposta

Per definire le azioni sismiche come richiesto dal DM 14.1.08 è stato utilizzato il programma sperimentale "SPETTRI DI RISPOSTA ver 1.03" fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Considerando i seguenti valori:

- Coordinate ED50:
Longitudine: 10,736146
Latitudine: 44,593311
- Vita nominale $V_N \geq 50$ anni Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza (Rif. Tab. 2.4.1 NTC/08)
- Classe d'uso III: Costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso
- Coefficiente d'uso C_U pari a 1,5 (Rif. Tab. 2.4.II NTC/08)
- Periodo di riferimento V_R è pari a 75 anni

I valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_r associati a ciascun Stato Limite sono riportati nella seguente tabella 4.1:

	Prob. Superamento (%)	T_r (anni)	a_g (g)	F_0 (adim)	T_c (s)
Operatività (SLO)	81	45	0,061	2,488	0,262
Danno (SLD)	63	75	0,076	2,468	0,271
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,186	2,372	0,298
Prevenzione del collasso (SLC)	5	1462	0,231	2,407	0,312

Tabella 4.1: Parametri sismici

Nella tab. 4.1 a_g è l'accelerazione orizzontale massima al sito, F_0 è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale e T_c è il periodo di inizio tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In figura 13 si riportano gli spettri di risposta per i diversi Stati Limite calcolati sulla base della scelta di progettazione sopra riportata.

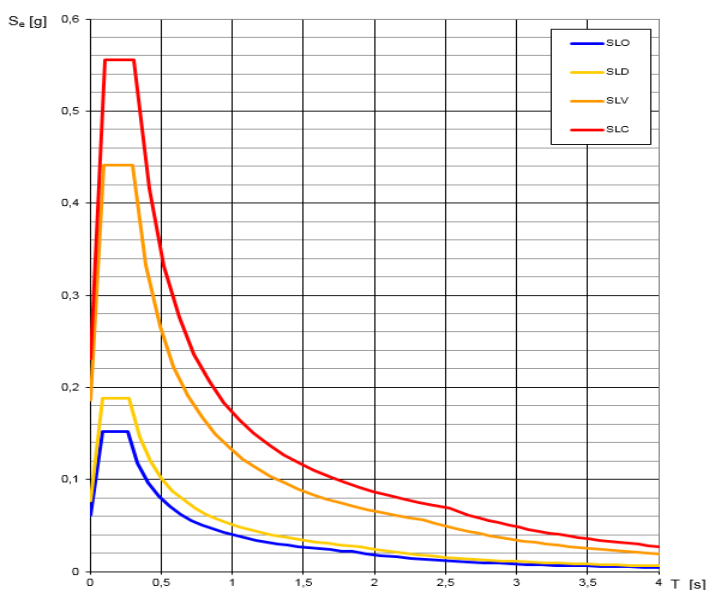


Figura 13: Spettri di risposta per i diversi Stati Limite.

4.1.3 Definizione coefficienti sismici

Dal valore di a_g ottenuto dalla tabella 4.1 è possibile definire l'accelerazione massima attesa al suolo per i vari stati limite secondo la seguente relazione:

$$a_{g_max} = (a_g) \times (S_s) \times (S_t)$$

dove S_s è l'amplificazione stratigrafica mentre S_t è l'amplificazione topografica.

La configurazione topografica nella quale ricade l'area oggetto di studio consiste in una zona pianeggiante. La definizione dell'amplificazione topografica viene eseguita mediante la Tabella 3.2.IV Categorie topografiche proposte dal NTC08 (tab. 4.2), secondo la quale il sito ricade nella Categoria topografica T1 – Pianeggiante, pendii con inclinazione media $< 15^\circ$, con coefficiente S_T pari a 1,0.

Categoria	Superficie topografica	i	S_T
T1	Pianeggiante, pendii con inclinazione media	$\leq 15^\circ$	1,0
T2	Pendii con inclinazione media	$> 15^\circ$	1,2
T3	Larghezza della cresta del rilievo inferiore della base	$15^\circ - 30^\circ$	1,2
T4		$> 30^\circ$	1,4

Tabella 4.2: Tabella per determinare la categoria topografica tratta da NTC08 tabella 3.2.IV

L'amplificazione stratigrafica viene calcolata, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V del NTC08 che per la categoria di suolo C risulta:

$$S_s = 1,70 - 0,60 \times F_0 \times a_g/g$$

ed ha il seguente campo di variazione $1,00 \div 1,50$

Il coefficiente di variazione del periodo C_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante T_c dello spettro è:

$$C_c = 1,05 \times (T_c^*)^{-0,33}$$

e risulta superiore all'unità.

Considerando i dati del sito preso in esame, si ottengono i seguenti risultati, considerando come probabilità di superamento nella vita di riferimento del 10% con un tempo di ritorno di 712 anni:

$$a_g = 0,186 \text{ g} \quad F_0 = 2,372 \quad T_c(s) = 0,298$$

Con i parametri sopra indicati si ottengono i seguenti parametri riassunti in tabella 4.3 e 4.4.

Categoria di suolo	S_s	C_c	S_t
C	1,43	1,56	1,00

Tabella 4.3: Tabella per determinare il coefficiente di amplificazione S_s e S_t

Stati limite	a_{g_max}
Operatività (SLO)	0,087
Danno (SLD)	0,107
Salvaguardia della vita (SLV)	0,266
Prevenzione del collasso (SLC)	0,330

Tabella 4.4: calcolo dell'accelerazioni massime al suolo

Il valore dei coefficienti sismici orizzontali e verticali si determinano, con le seguenti relazioni:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{MAX}}{g}$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h$$

dove β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, il cui valore è funzione della categoria di suolo e del valore di a_g , come riportato in tabella 4.5.

a_g	Categoria di suolo	
	A	B, C, D, E
0,2 ÷ 0,4	0,30	0,28
0,1 ÷ 0,2	0,27	0,24
≤ 0,1	0,20	0,2

Tabella 4.5: Valori di β_s in funzione della categoria di suolo

I valori dei coefficienti sismici orizzontali e verticali sono riportati in tabella 4.6

Stati limite	k_h	k_v
Operatività (SLO)	0,012	0,006
Danno (SLD)	0,015	0,008
Salvaguardia della vita (SLV)	0,045	0,022
Prevenzione del collasso (SLC)	0,065	0,032

Tabella 4.6: Coefficienti sismici orizzontali e verticali

4.1.4 Definizione della Magnitudo di riferimento

La definizione della Magnitudo di riferimento è legata alla determinazione del fattore scala che compare nella valutazione della pericolosità della liquefazione permettendo inoltre la possibile esclusione a questa verifica.

Per la sua stima non vi sono specifici riferimenti alla normativa in vigore e pertanto si è deciso di seguire quanto contenuto nelle "Linee Guida del Gruppo di Lavoro MS, 2008 (paragrafo 2,8.2) – Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica - Conderenza delle Regioni e delle Provincie Autonome, Dipartimento della protezione civile".

Il comune di Casalgrande in provincia di Reggio Emilia è collocata all'interno della zona sismogenetica 913 denominata "Appennino Emiliano Romagnolo" con Magnitudo di riferimento massimo di 6,14.

Dalla disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni ricavata dall'"Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia" nel comune di Casalgrande si attendono sismi con magnitudo da 4,0 a 6,0 con distanza epicentrale di 30 km con magnitudo media di 4,88 e distanza epicentrale media di 8,240km.

4.2 Analisi degli effetti locali

4.2.1 Definizione dell'amplificazione sismica locale

È stata eseguita una analisi approfondita sugli effetti di amplificazione locale in caso di sisma, considerando la modellazione ricavata dall'interpretazione delle indagini geognostiche eseguite nell'area.

Dalla prova HVSR eseguita nel lotto si individua un picco di frequenza a 5,2 Hz che corrisponde al passaggio litologico tra argille e ghiaia presente alla profondità di 16,0 m. dal piano campagna. Da tale prova non si individuano ulteriori picchi a frequenze inferiori.

Dalla microzonazione sismica del comune di Casalgrande "Carta delle frequenze naturali dei terreni –Settore Nord" (Fig. 14) sono state misurate nella zona Nord dell'abitato di Casalgrande frequenze di picco tra 3,5 e 6 Hz, frequenze da considerarsi correlabili con la prova eseguita nel lotto.

Legenda

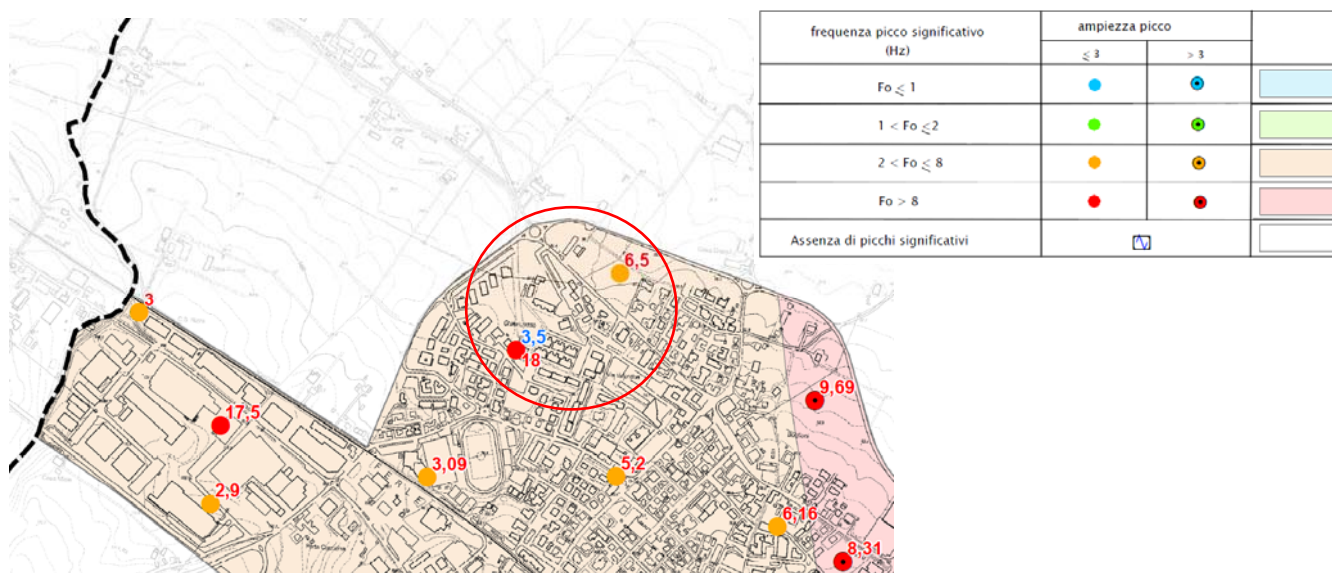


Figura 14: Estratto dalla Microzonazione sismica del comune di Casalgrande – Carta delle frequenze naturali dei terreni settore Nord.

Visto che le indagini eseguite e i dati bibliografici a disposizione non mettono in evidenza un netto passaggio con il bedrock sismico e visto che anche la sezione geologica pubblicata dalla Regione Emilia Romagna, riportata in figura 2 di questa relazione geologica, rileva la presenza di corpi alluvionali fino ad oltre 100/150 m. dal piano campagna, si è considerato il picco di frequenza a 5,2 Hz come il passaggio al pseudo-bedrock attribuendo alle varie unità le velocità definite dalle prove MASW-Re.Mi..

Per valutare gli effetti di risposta sismica locale, in termini di amplificazione locale dell'impulso sismico al suolo, si è proceduto con l'elaborazione di una modellazione numerica tramite il foglio di calcolo EERA (*Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses*) dove la verifica monodimensionale si compone di n.° 2 fasi: elaborazione del modello e simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

La prima fase consiste nell'inserire i dati (accelerazione, intervalli di tempo), relativi ai segnali di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" forniti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, che corrispondono a possibili sismi che si possono verificare

nel territorio comunale. Si tratta di tre tipologie di segnali, già "scalati" per il territorio comunale a cui si riferiscono e sono rappresentati da tre differenti accelerogrammi di progetti, riportati nella delibera regionale:

- 1- Impulsivo – sisma profondo;
- 2- Con componente predominante alle alte frequenze – sisma vicino;
- 3- Con ampio contenuto in frequenze – distanza del sisma medio

Dopo aver determinato gli input sismici, si è proceduto alla costruzione della colonna di sottosuolo di riferimento rappresentata da strati (layer) e da diversi valori delle onde di taglio S.

La colonna di sottosuolo caratteristico fino alla quota di 50 m. dal piano campagna è stata ottenuta dall'interpretazione della prova sismica MASW-Re.Mi. e dalle prove geognostiche (CPT e sondaggi), che hanno permesso di attribuire ad ogni layer uno spessore e una velocità di propagazione delle onde di taglio così come riportato in tabella 4.7.

Layer	Spessore	Profondità	Litologia dominate	Vs(m/s)	γ (kN/m ³)	Acqua
1	4,00	4,00	Argilla	180	17	
2	7,00	11,00	Argilla	250	18	
3	5,00	16,00	Argilla	300	19	si
4	34,00	50,00	Ghiaia	580	20	si

Tabella 4.7: calcolo dell'accelerazioni massime al suolo

Per il comportamento elastico e di smorzamento dei vari strati di terreno o roccia del profilo stratigrafico si fa riferimento principalmente ai litotipi granulari, coesivi e rocciosi. Nel caso specifico, in considerazione delle caratteristiche litologiche delle formazioni della zona di interesse, i litotipi utilizzati sono quelli proposti da "Vucetic –P.I.50" per le argille, "Seed Idriss –media" per le sabbie, "Rollins et al. 1998" per le ghiaie e roccia.

In considerazione dell'assetto litostratigrafico della zona in esame, si è preferito trasferire il moto di un sisma di riferimento lungo tutta la colonna litostratigrafica ricostruita, indipendentemente dalla individuazione di un substrato sismico più o meno riconosciuto dalle indagini eseguite. Questa procedura sembra individuare meglio le frequenze tipiche di amplificazione del suolo più significative.

La seconda fase di elaborazione consente di ottenere tre differenti "spettri di risposta" corrispondenti alla pseudoaccelerazione spettrale (PSA), pseudovelocità spettrale (PSV) spostamento spettrale (SD). Tali spettri descrivono il comportamento dello strato superficiale di terreno rispetto alla colonna stratigrafica di riferimento in relazione all'input sismico utilizzato.

- a) lo spettro PSA mostra il comportamento dell'accelerazione spettrale per diversi valori di periodo da 0 a 10 secondi.
- b) lo spettro PSV mostra il comportamento della velocità spettrale in funzione del periodo compreso tra 0 e 10 secondi. Il risultato di questa analisi è utilizzabile per il calcolo del fattore di Intensità spettrale di Housner (SI). L'SI è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità in un intervallo prefissato di frequenze. Questa grandezza è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto e quindi esprime il possibile grado di danneggiamento subito dagli edifici.
- c) lo spettro SD mostra il comportamento dello spostamento spettrale nel periodo da 0 a 10 secondi. Lo spostamento spettrale è un parametro utilizzato per valutare il danno strutturale a cui è soggetta una costruzione dopo il sisma.

In figura 15 si riportano i segnali dei sismi di riferimento denominati 046, 126 e 354.

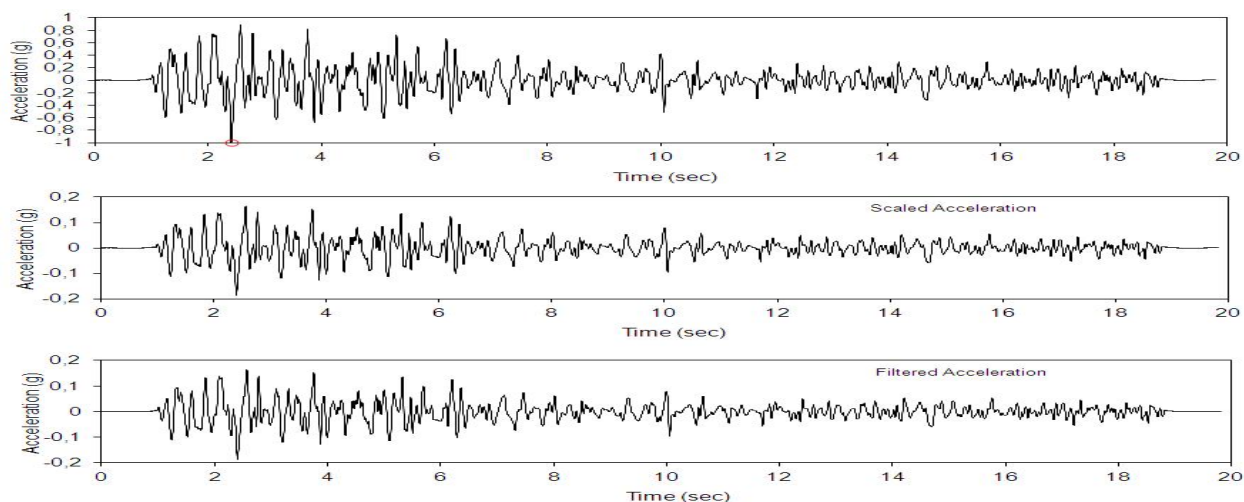


Figura 15.a: sisma di riferimento 046.

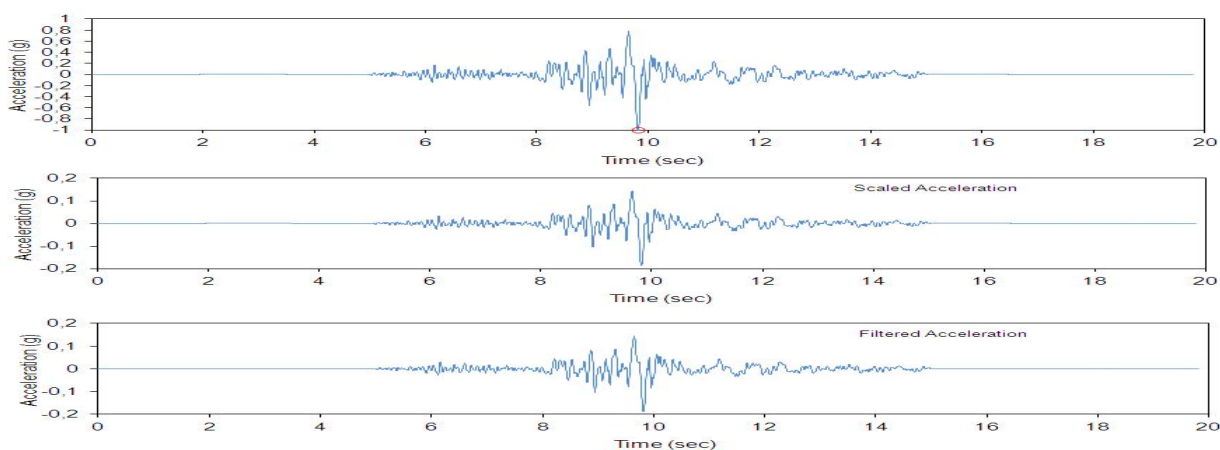


Figura 15.b: sisma di riferimento 126.

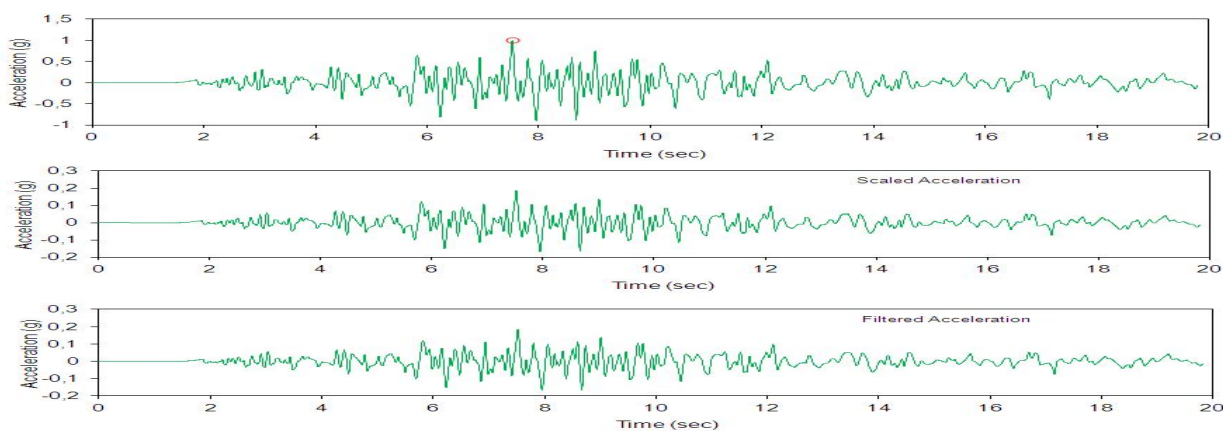


Figura 15.c: sisma di riferimento 354.

In figura 16 si riportano gli spettri di risposta con smorzamento del 5% della pseudoaccelerazione spettrale, della pseudovelocità spettrale e dello spostamento spettrale relativi allo strato superficiale di terreno riferiti ai tre sismi di riferimento.

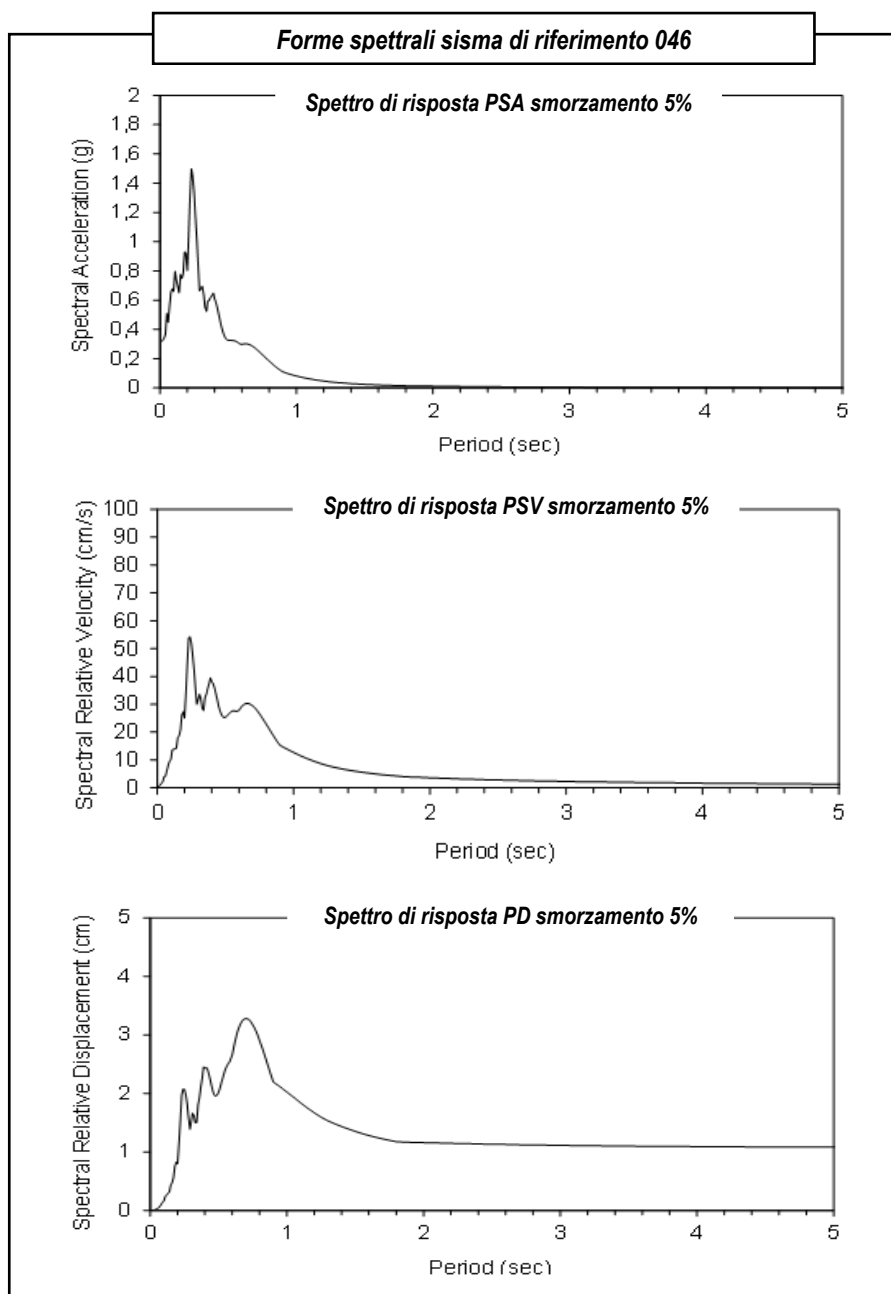


Figura 16.a: Forme spettrali di risposta con smorzamento del 5% calcolate sisma di riferimento 046.

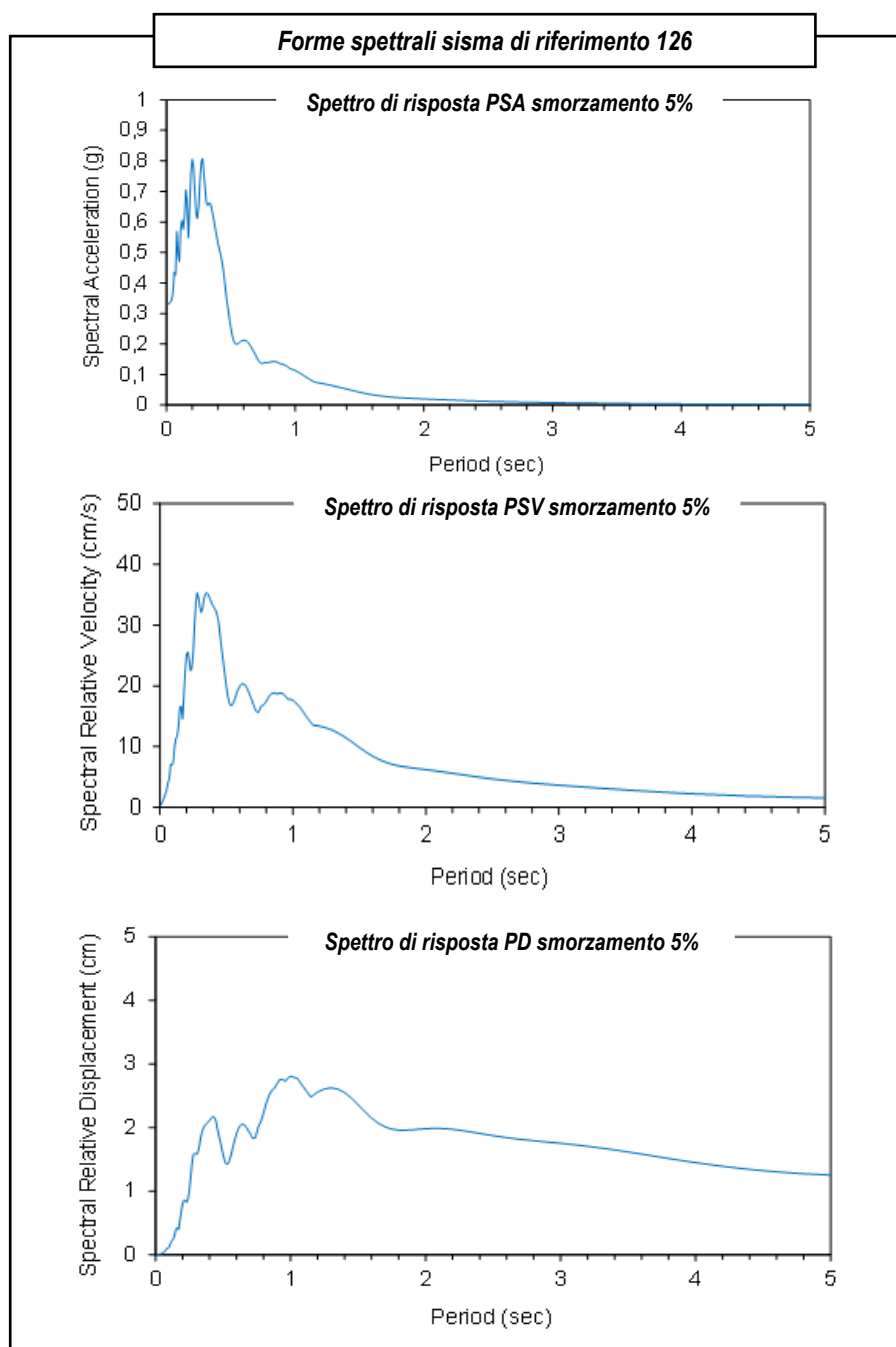


Figura 16.b: Forme spettrali di risposta con smorzamento del 5% calcolate sisma di riferimento 126.

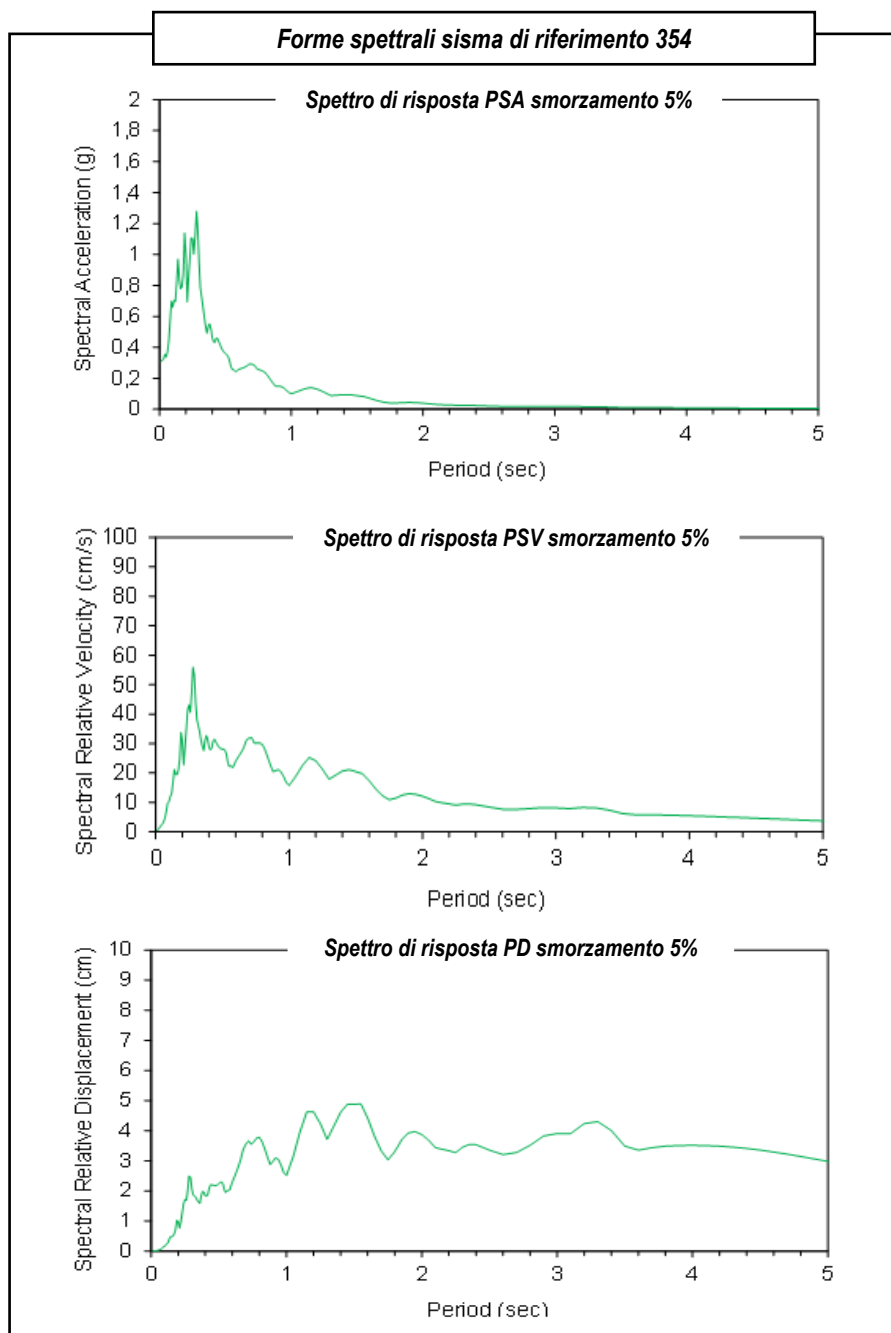


Figura 16.c: Forme spettrali di risposta con smorzamento del 5% calcolate sisma di riferimento 354.

La modellazione consente la valutazione dell'amplificazione locale intesa come rapporto PGA/PGA_0 ossia come rapporto dell' $a_{g\ max}$ al suolo rispetto all' a_g di riferimento del terremoto (per Casalgrande comune di Casalgrande) pari a 0,1636. Il fattore di amplificazione ottenuto dai sismi di riferimenti viene riportata in tabella 4.8 dalla quale il fattore di amplificazione FA più cautelativo è quello ottenuto considerando il sisma di riferimento 126 pari a **FA=1,79** che risulta inferiore rispetto al fattore di amplificazione semplificato locale che si può ottenere secondo

la Delibera Giunta regionale n.° 2193 del 21 dicembre 2015 (FA= 1,2 per il contesto "APPENNINO (zone collinari e montane) substrato non rigido Vs<800 m/s").

Sisma di riferimento	F.A.
Input 046	1,765
Input 126	1,794
Input 354	1,705

Tabella 4.8: Fattore di amplificazione calcolato per ogni sisma di riferimento

La figura 17 riporta l'andamento delle amplificazioni locali in funzione delle frequenze del moto di vibrazione dell'impulso sismico, del fattore di smorzamento D, del rapporto tra le impedenze sismiche dei sismostrati. La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la **funzione di amplificazione A(f)** del sito. Il moto sismico può essere amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali **fn** di vibrazione dell'area. In questo senso diventa molto importante la prima frequenza di vibrazione **f1** che viene denominata **frequenza fondamentale**, in corrispondenza della quale la funzione di amplificazione assume valore massimo.

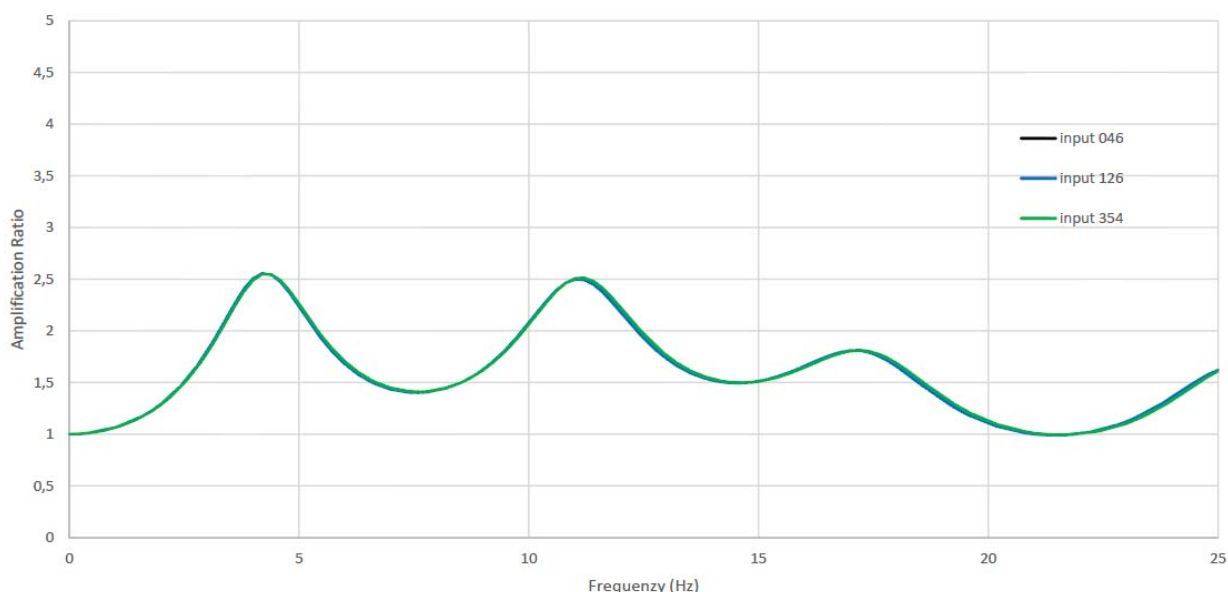


Figura 17: Amplificazione Suolo Bedrock

Dalle funzioni di amplificazione ricavate dalle elaborazioni risulta che la frequenza fondamentale assume un valore locale di 4,2 Hz. Le frequenze naturali individuate sono:

- f1 = 4,2 Hz con amplificazione di 2,56
- f2 = 11,0 Hz con amplificazione di 2,51
- f3 = 17,0 Hz con amplificazione di 1,81

Gli esiti di amplificazione ricavati dal modello numerico sono coerenti con le tracce H/V ricavate dalle amplificazioni tromografiche, dove si rilevano amplificazioni a frequenze tra 4,2±1,0 Hz 11,0±1,0 Hz e 17,0±1,0 Hz con un picco maggiormente definito alle frequenze di 4,2 Hz, corrispondente al picco principale del modello numerico.

Si vuole ricordare che la figura 14 è un utile strumento per la valutazione della vulnerabilità degli edifici in previsione rispetto agli effetti di amplificazione locale del moto sismico. Le strutture infatti sono caratterizzate da differenti modi di vibrazione, in funzione di molti parametri tra cui l'elevazione, la tipologia, il materiale costruttivo,

ecc.. Tra tutti questi fattori, grande importanza assume l'altezza dell'edificio stesso. In figura 15 si riporta un abaco di possibile relazione tra altezza di un edificio in c.a. e la frequenza di risonanza propria.

Una relazione empirica che lega la frequenza di vibrazione di un edificio e la sua altezza è la seguente:

$$f = (10 \div 12) / n. \text{ piani}$$

Se la frequenza di risonanza naturale del terreno e la frequenza di vibrazione delle strutture coincidono si possono verificare pericolose amplificazioni nel caso di impulsi ciclici in caso di sisma (effetto "doppia risonanza") La modellazione evidenzia possibilità di amplificazione del moto sismico solamente a frequenze inferiori a $4,2 \pm 1,0$ Hz, che può pertanto indurre effetti di "doppia risonanza" con edifici di elevazione superiore a 3÷4 piani.

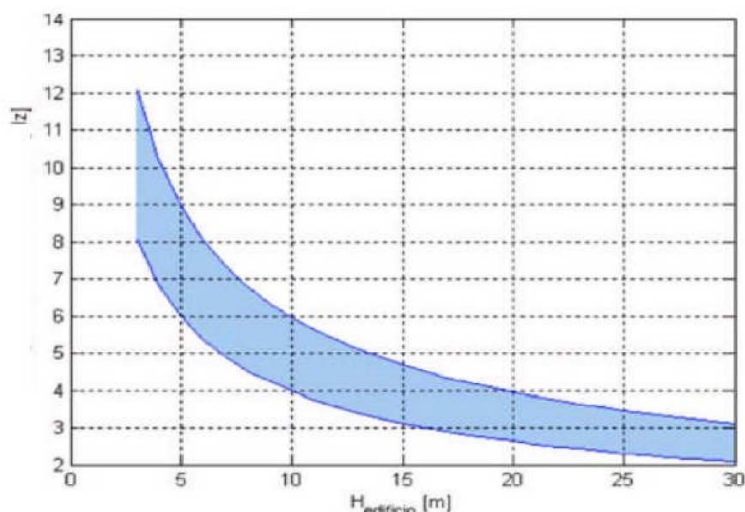


Figura 18: Abaco di relazione tipica tra altezza edificio in c.a. – primo modo flessionale (da Masi et al., 2007)

Per quanto riguarda l'intensità spettrale di Housner SI (richiesta nel 3° livello di caratterizzazione sismica), intesa come rapporto fra gli spettri PSV al suolo e PSV al suolo, stimata per gli intervalli temporali prefissati dalla Regione Emilia Romagna si ricavano i valori riportati in tabella 4.9 per ciascun sisma di riferimento:

Sisma di riferimento	Intensità Spettrale di Housner (SI)	
	SI1 ($0,1 \leq T_0 \leq 0,5s$)	SI2 ($0,5 \leq T_0 \leq 1,0s$)
Input 046	1,54	1,05
Input 126	1,66	1,15
Input 354	1,78	1,17

Tabella 4.9: Intensità Spettrale di Housner

Dalle Intensità Spettrali di Housner calcolati i valori più cautelativi risultano essere i seguenti:

- F.A. S1 = 1,8 (0,1s – 0,5s) rispetto a 1,2 RER margine tipo B
- F.A. S2 = 1,2 (0,5s – 1,0s) rispetto a 1,3 RER margine tipo B

Rispetto all'analisi semplificata e cautelativa proposta dalla Delibera Giunta regionale n.° 2193 del 21 dicembre 2015 la simulazione di risposta sismica locale evidenzia esiti più elevati del parametro dell'Intensità Spettrale (PSV) nel periodo 0,1-0,5s mentre assume valori inferiori nel periodo 0,5-1,0s.

La Figura 19 sovrappone gli spettri PSV relativi al bedrock e al suolo per ogni input sismico di riferimento.

Intensità di Housner SI (smorz 5%)

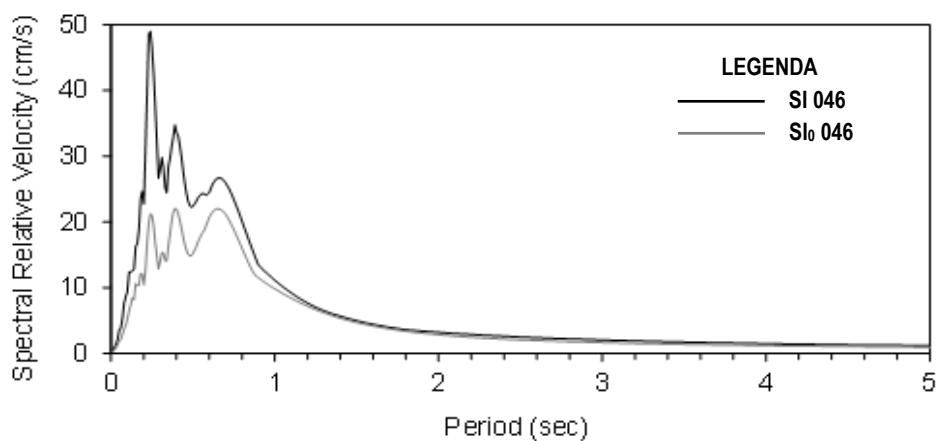


Figura 19.a: Intensità di Housner SI calcolate per sisma di riferimento 046

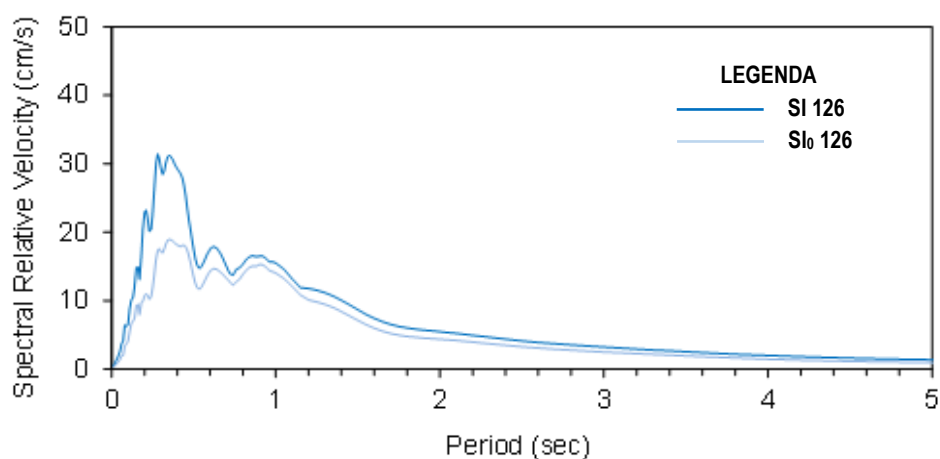


Figura 19.b: Intensità di Housner SI calcolate per sisma di riferimento 126

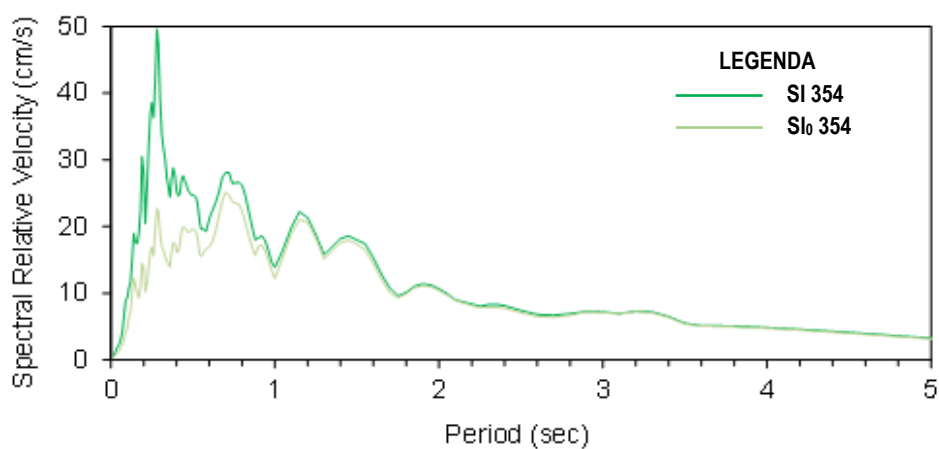


Figura 19.c: Intensità di Housner SI calcolate per sisma di riferimento 354

5. ANALISI DELLA PERICOLOSITA'

Dal Piano Strutturale del comune di Casalgrande l'area oggetto di studio non presenta particolari pericolosità geomorfologiche.

Dal PTCP della Provincia di Reggio Emilia l'area risulta al di fuori delle aree di inondazione per piene catastrofiche (FASCIA C del PAI).

Dalla "Carta Idrogeologica" alla scala 1:10000 del comune di Casalgrande, il sito risulta classificato come "Zona di protezione delle acque sotterranee del territorio di pedecollina-pianura – Settore B: area caratterizzata da ricarica indiretta della falda, generalmente comprese tra il settore A e la media pianura, idrogeologicamente identificabili con sistema debolmente compartimentato, in cui alla falda freatica superficiale segue una falda semiconfinata in collegamento per drenanza verticale".

effetto degli afflussi meteorici, la velocità con cui il fronte di saturazione si approfondisce è il parametro chiave per determinare le soglie d'innesco di questi fenomeni d'instabilità.

6. CONCLUSIONI

L'area oggetto di studio è situato in Via Botta nella porzione Nord dell'abitato di Casalgrande nel comune di Casalgrande in provincia di Reggio Emilia in una zona subpianeggiante con una leggera pendenza verso Nord-Nord-Est ad una quota di circa 90 m. s.l.m. (Fig. 1).

L'assetto geomorfologico dell'area è il risultato dell'effetto combinato tra gli eventi fluviali, le deformazioni tettoniche e gli interventi antropici.

L'area è situata nella fascia di passaggio tra il margine collinare e l'alta pianura reggiana caratterizzata dalla presenza di terrazzi alluvionali e conoidi alluvionali legate al Fiume Secchia e Torrente Tresinaro. Mentre i primi sono caratterizzati da gradini morfologici netti, i secondi da una superficie subpianeggiante con leggere pendenze dell'ordine di 2÷4°.

Trovandoci all'interno dell'ambiente urbano, il sito risulta fortemente antropizzato. Si segnala la presenza di numerosi canali artificiali realizzati nei secoli con funzione irrigua e scolante. Tra questi si ricorda il Canale di Reggio, il cui attraversamento dell'abitato di Casalgrande risulta interrato.

La stratigrafia profonda, estrapolata dal quadro stratigrafico strutturale elaborato dalla Regione Emilia Romagna rappresentata alla sezione 108, mostra la presenza di un ammasso prevalentemente limo/limo-sabbioso/argilloso, con importanti lenti di ghiaia la cui potenza aumenta con la profondità.

La stratigrafia dell'area mostra la presenza di un livello superficiale prevalentemente fine (argilloso limoso) fino alla profondità di 16,0 m. dal piano campagna, all'interno del quale sono presenti piccole lenti sabbiose-ghiaiose di estensione areale limitata. Tra queste quella di maggiore rilevanza per il loro spessore, risulta quella individuata in corrispondenza della CPT2 tra 4,0 e 6,5 m. dal piano campagna che però non risulta presente nelle indagini eseguite più a sud (S01 e CPT1), mentre verso Nord tende a chiudersi fino ad avere uno spessore di 1,0 m. nel sondaggio S02 (da 5,0 a 6,0 m. da p.c.).

A partire da 16,0 m. dal piano campagna è stato individuato, in ciascun punto investigato, un orizzonte ghiaioso.

Nell'Agosto 2017 in occasione dell'esecuzione della campagna di indagine è stata individuata una falda alla profondità di 13,0 m. dal piano campagna. Non si escludono oscillazioni anche importanti con il variare delle stagioni e in concomitanza di eventi meteorici avversi.

Dal punto di vista sismico il sito presenta un valore di **Vs30 di 343 m/s** (considerando come riferimento il piano campagna), che classifica il sito in **categoria C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

La riclassificazione sismica del territorio nazionale OPCM 3274/2003, NTC 14/01/2008 attribuisce al comune di Casalgrande codice ISTAT 8035012 la zona 2.

Dalla "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003 - Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, appendice 2", il territorio comunale di Casalgrande rientra all'interno della zona sismogenetica n.° 916 con magnitudo di riferimento Mw (max.) = 6,14.

L'analisi di **approfondimento di 3° livello** eseguito nell'area evidenzia, in termini di amplificazione stratigrafica, picchi marcati a frequenze di $6,0 \pm 1,0$ Hz, valore che può indurre effetti di doppia risonanza con edifici di levazione superiori a 3÷4 piani.

Sulla base di quanto ottenuto, non si riscontrano particolari problematiche relative alla urbanizzazione dell'area.

Si ricorda che l'eventuale terreno "scavato" se asportato all'esterno dell'area di proprietà, rientra nella categoria "rifiuto" e dovrà essere sottoposto ad una dedicata relazione tecnica per le terre e rocce da scavo redatta ai sensi del D.M. 161/2012.

Le indagini geognostiche eseguite, in quanto "prove puntuali", rilevano la condizione all'interno di una verticale di terreno. Tramite la correlazione di due prove attigue si può dare un'interpretazione ipotetica della conformazione del sottosuolo, la quale può essere smentita dalla presenza di irregolarità naturali o antropiche più o meno estese riscontrabili nel sottosuolo.

Si raccomanda di comunicarci con ragionevole anticipo la data d'inizio lavori, affinché si possa procedere agli opportuni sopralluoghi alla verifica delle condizioni rilevate ed escludere la presenza di un'eventuale "sorpresa geologica", da intendersi come il rinvenimento di un'anomalia obiettiva non prevista né prevedibile durante l'esecuzione delle prove o da bibliografia.

Settembre 2017

Il geologo
Dott. Fabrizio Giorgini