



Certificazione UNI EN ISO 9001 per le "indagini geognostiche e monitoraggi geotecnici",

Certificazione SOA OS 20B "indagini geologiche"

Iscrizione al SISTRI Operatore in campo ambientale con per il carico, scarico e trasporto in conto proprio di rifiuti non pericolosi

Concessione Ministeriale n. 3655 "nel settore C" come laboratorio per indagini geognostiche, prelievo campioni e prove in sito ai sensi della circolare 7619/STC di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001

Certificato UNI EN ISO 9712 per controlli sui calcestruzzi e murature nonché prove non distruttive e collaudi strutturali

MG prove magnetometriche  
SC prove sclerometriche  
UT prove ultrasoniche  
SO prove soniche  
PC prove di carico  
MPT prove con martinetti piatti  
MC microcarotaggi  
MO monitoraggi strutturali e quadri fessurativi  
VS indagine visiva



UNI EN ISO 9001:2008

## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA A SUPPORTO DEL PROGETTO DI RECUPERO DELL'EDIFICIO "EX SCUOLE ELEMENTARI" DI PUIANELLO, IN COMUNE DI QUATTRO CASTELLA (RE)

REDATTO	APPROVATO
MARZO 2022	MARZO 2022
Dott. Carlo Alberto De Risio	Dott. Geol. Fabrizio Giorgini







## INDICE

---

INDICE	3
1. PREMESSA	4
2. PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA COMUNALE	5
2.1 Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento	5
2.2 Analisi documenti e cartografia	6
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	8
3.1 Inquadramento geologico	8
4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO	9
4.1 Indagini geognostiche	10
4.1.1 Prova Penetrometrica Statica (CPT)	10
4.1.2 Indagine sismica tipo MASW	11
4.1.3 Prova sismica a stazione singola tipo HVSR	13
4.1.4 Indagine sismica a rifrazione (RIFRA)	14
4.2 Sintesi dei risultati	16
4.3 Analisi degli aspetti geomorfologici e idrogeologici	18
4.4 Modellazione sismica	18
4.4.1 Definizione rischio sismico e della risposta sismica locale	18
4.4.2 Microzonazione sismica	20
4.4.3 Risposta sismica locale	22
4.4.4 Fattore di Amplificazione (FA)	24
4.5 Elementi di sintesi per la progettazione	25
5. ANALISI DELLA PERICOLOSITA'	26
5.1 Problematiche e pericolosità geomorfologiche e idrogeologiche	26
6. CONCLUSIONI	26

## ALLEGATI

---

ALLEGATO 1	Prove penetrometriche statiche (CPT)
ALLEGATO 2	Tabella parametri
ALLEGATO 3	Sismica a rifrazione
ALLEGATO 4	Modello Geologico
ALLEGATO 5	Sismica tipo HVSR



## 1. PREMESSA

Su incarico ricevuto dall'Impresa BONACINI S.A.S. e dal Progettista Geom. Urbano Camalatti la presente relazione geologica riprende ed adegua la relazione geologica del Marzo 2014, redatta dallo scrivente Dott. Geol. Fabrizio Giorgini, alla normativa regionale (DGR 630/2019) e nazionale (NTC 2018) vigente in materia di risposta sismica locale. Vengono inoltre recipite le indicazioni derivanti dagli studi di microzonazione sismica e le disposizioni dettate dalla variante parziale al Piano Regolatore Generale (PRG) del Comune di Quattro Castella. L'attuale relazione geologica si basa sulle informazioni disponibili in letteratura, sui dati raccolti durante la campagna di indagini eseguita a Marzo 2014 e dalle indagini integrative svolte nel Marzo 2022. Negli allegati vengono esposte le indagini eseguite.

## 2. PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA COMUNALE

### 2.1 Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento

L'edificio oggetto di studio denominato "Ex Scuole Elementari" è situato in zona d'angolo tra Via F.lli Menozzi e Via R. Valentini in località Puianello nel comune di Quattro in Provincia di Reggio Emilia.

Il sito è cartografato nel CTR alla scala 1:10.000 nella sezioni 200150 denominata "Vezzano sul Crostolo" dove risulta essere ad una quota di circa 41 m. sul livello del mare, con una leggera pendenza verso Nord- Est. In Figura 2.1 si riporta la foto aerea dell'area oggetto di studio.



Figura 2.1. Stralcio immagine satellitare dell'area oggetto di studio.

Il lotto è cartografato nella particella n.° 79 del foglio 34 del registro del "Catasto dei Terreni" del comune di Quattro Castella.

Le indagini sono state eseguite per definire l'inquadramento geologico strutturale, la successione stratigrafica ed i processi geomorfologici in atto nel sito, relative agli interventi in progetto di recupero dell'edificio "Ex Scuole Elementari" di Puianello, secondo la richiesta di variazione al PRG del Comune di Quattro Castella.

La tipologia di intervento proposto nella variante riguarda la *realizzazione* di tre corpi edilizi in stile moderno con piani interrati e servizi box.

## 2.2 Analisi documenti e cartografia

Dal PTCP della provincia di Reggio Emilia "Zone, Sistemi ed Elementi della tutela Paesistica – P5a 200SE" alla scala 1:25000 (Figura 2.2) nella quale si nota che l'area non ricade all'interno di vincoli. Le strade che delimitano l'area risultano classificate come "Tutela delle risorse storiche e archeologiche" ed in particolare come "Viabilità storica (art. 51)" e come "Viabilità panoramica (art. 55)".

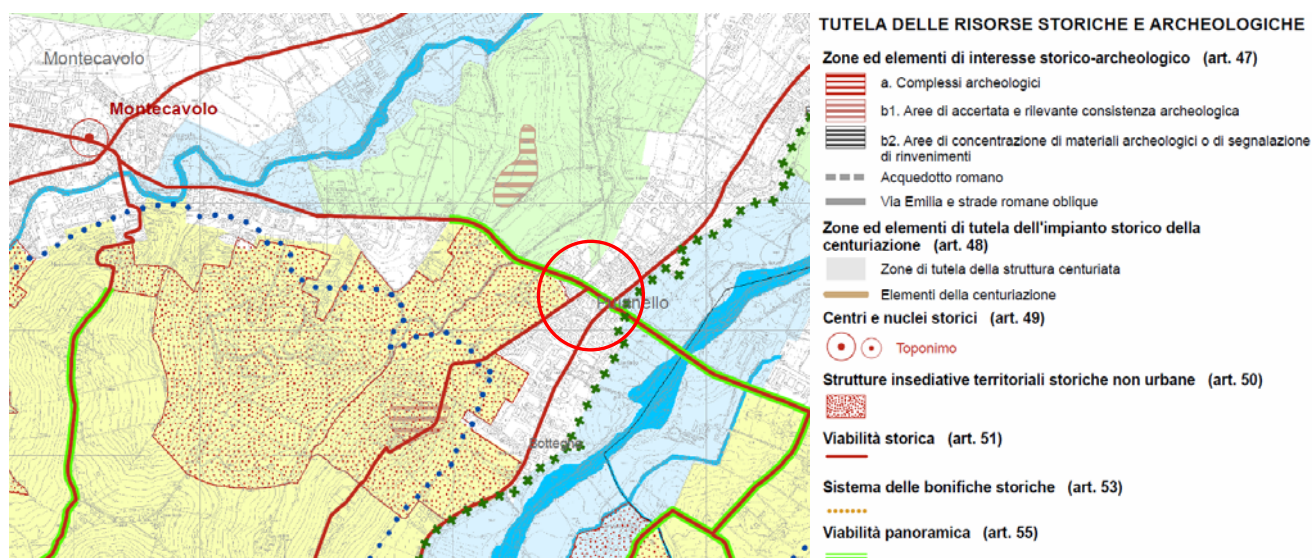


Figura 2.2. Estratto del PTCP della Provincia di Reggio Emilia "Zone, Sistemi ed Elementi della tutela paesistica – P5a 200SE" alla scala 1:25000

L'art. 51 "Viabilità storica" prescrive:

1. La viabilità storica è definita dalla sede storica dei percorsi, comprensiva degli slarghi e delle piazze, nonché dei relativi elementi di pertinenza e di arredo ancora presenti.
2. Il presente Piano attribuisce agli elementi di cui al comma 1 interesse storico-testimoniale e ne persegue la tutela e valorizzazione, da attuarsi attraverso:
  - a) Il mantenimento e il ripristino dei tracciati e delle relazioni con le componenti storiche e/o paesaggistiche;
  - b) L'utilizzo dei percorsi per la fruizione dei luoghi, anche turistico-culturale;
  - c) La conservazione degli elementi di pertinenza e di arredo.
3. Il presente Piano contiene nella tav. 5a l'individuazione della viabilità storica alla scala territoriale e stabilisce al successivo comma 6 i criteri generali di tutela, articolandoli in base alla funzione assunta attualmente dai tracciati storici.
4. D. I Comuni in sede di PSC o di varianti di adeguamento al presente Piano verificano ed integrano alla scala locale le individuazioni di cui al precedente comma 3, al fine di articolare in base all'importanza storica, alle attuali caratteristiche e funzione svolta dei diversi elementi, opportune discipline con riferimento alle direttive di cui al successivo comma 6.
5. P. L'individuazione operata dai Comuni nell'ambito degli strumenti di cui al comma precedente costituisce adempimento di cui all'art. 24 comma 1 del PTPR, nelle more di tali adempimenti sono permessi solo gli interventi che non alterino il tracciato e gli elementi di pertinenza storici della viabilità storica individuata nella tav. 5a del presente Piano.
6. D. La viabilità storica deve essere sottoposta a specifica disciplina in conformità alle seguenti direttive:
  - a) La sede storica dei percorsi non può essere soppressa né, sedi proprietà pubblica, privatizzata o comunque alienata o chiusa salvo che per motivi di sicurezza e di pubblica incolumità: devono essere inoltre salvaguardati gli elementi di pertinenza i quali, se di natura puntuale (quali pilastri, edicole e simile), in caso di modifica o trasformazione dell'asse viario, possono anche trovare differente collocazione in coerenza con il significato e la funzione storicamente consolidata.
  - b) Per la viabilità dell'impianto storico tuttora in uso nella rete della mobilità veicolare, che svolga attualmente funzioni di viabilità principale o secondaria o di scorrimento o di quartiere, come definite ai sensi del Codice della Strada. In caso di modifiche e trasformazioni, sia del tracciato che della sede stradale, deve essere tutelata la riconoscibilità dell'assetto storico attraverso il mantenimento percettivo del tracciato e degli elementi di pertinenza.
  - c) Per la viabilità d'impianto storico tuttora in uso nella rete della mobilità veicolare, che svolga attualmente funzioni di viabilità locale, come definita ai sensi del Codice della Strada, deve essere tutelato l'assetto storico ancora leggibile, sia fisico che percettivo e ne va favorito l'utilizzo come percorso per la fruizione turistico-culturale del territorio rurale, nonché ne va salvaguardata e valorizzata la dotazione vegetazionale (filari di alberi, siepi). In particolare, sono da evidenziare allargamenti e snaturamenti della sede stradale ed in caso di necessità di adeguamento del tratto viario alle disposizioni del Codice della

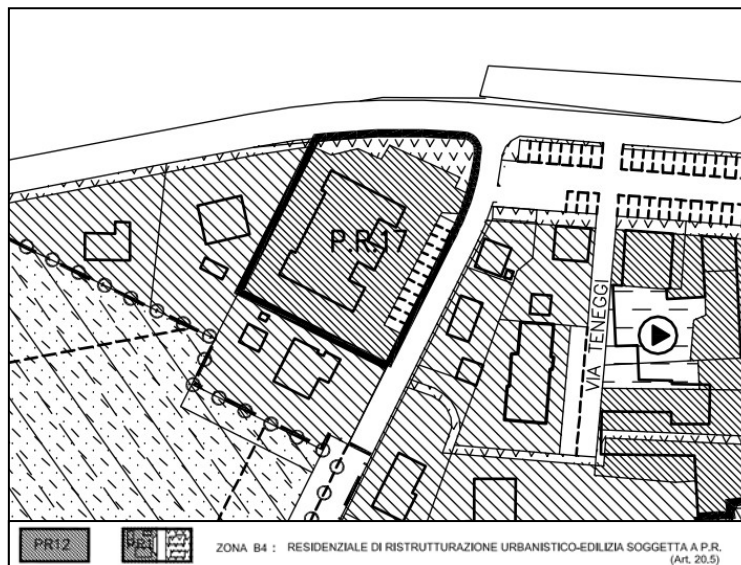
- Strada, sono da preferire soluzioni alternative all'allargamento sistematico della sede stradale, quali la realizzazione di spazi di fermata, "piazzole", per permettere la circolazione in due sensi di marcia alternati.
- d) Riguardo alla rete dei percorsi non utilizzati per la mobilità veicolare ed aventi uno spiccato interesse storico o paesaggistico, devono essere salvaguardati i tracciati dei percorsi e gli elementi di pertinenza ancora leggibili, con particolare attenzione ai tratti soggetti al pericolo di una definitiva scomparsa, e deve essere perseguito il recupero complessivo della funzionalità e significato della rete, da valorizzare per itinerari di interesse paesaggistico e storico-culturale. Tali percorsi non devono essere alterati nei loro elementi strutturali storici (andamento del tracciato, sezione della sede, pavimentazione, elementi di pertinenza) e se ne deve limitare l'uso, ove possibile, come percorso alternativo non carrabile.
  - e) In tutti i casi in cui alle lett. b), c), d), i tratti di viabilità storica ricadenti nei centri storici, o nelle loro aree di integrazione storico-paesaggistica, devono essere regolati dalla disciplina prevista per le zone storiche, con particolare riferimento alla conservazione della sagoma dei tracciati, nonché degli elementi di pertinenza meritevoli di tutela.

**L'art. 55 "Viabilità panoramica" prescrive:**

1. D. Il presente Piano individua la viabilità panoramica della tav. P5a. I Comuni in sede di PSC o di varianti di adeguamento alle disposizioni del presente Piano dovranno verificare, aggiornare ed integrare le individuazioni del presente Piano, al fine di assegnare in funzione dell'interesse paesaggistico svolto, su quale di questi tratti articolare opportune discipline con riferimento alle direttive di cui al successivo comma 3.
2. D. la localizzazione operata dai Comuni nell'ambito degli strumenti di cui al comma precedente costituiscono adempimento di cui all'art. 24 comma 2 del PTPR. Nelle more di tali adempimenti valgono le direttive di cui al successivo comma 3.
3. D. Al di fuori del perimetro del territorio urbanizzato individuato dai Comuni ai sensi dell'art. 28 comma 2 della LR 20/2000:
  - a) vanno evitati gli interventi che limitino le visuali di interesse paesaggistico. In cui particolare va evitata l'edificazione di nuovi manufatti edilizi ai margini della viabilità panoramica, ovvero va condizionata a particolari limitazioni, quali quelle relative alle altezze, alla sagoma, agli allineamenti, sul lato a favore di veduta panoramica, o su entrambi i lati nel caso di doppia veduta;
  - b) si devono promuovere interventi di valorizzazione della viabilità panoramica con particolare riguardo alla realizzazione di attrezzature di supporto quali parcheggi ed aree per la sosta. Le aree di sosta esistenti, attrezzate o attrezzabili come punti panoramici, non possono essere soppresse o chiuse, salvo che per motivi di sicurezza e di pubblica incolumità;
  - c) vanno evitate le installazioni pubblicitarie con eccezione delle targhe, dei cartelli e di tutta la segnaletica direzionale e informativa d'interesse storico turistico.

Dal PRG del Comune di Quattro Castella "TAV. 8H PROGETTO – Viabilità e zonizzazione" alla scala 1:2000 (Figura 2.3) l'area oggetto di studio ricade all'interno delle "Zone omogenee "B" (Art. 37 della Leg. Reg. 47/78 mod.)", in particolar modo nella "Zona B4 – Residenziale di ristrutturazione urbanistico-edilizia soggetta a P.R." (art. 20.5)".

Inoltre, il sito risulta all'interno delle "Perimetro delle aree dichiarate di notevole interesse pubblico di cui al DM 1/8/85 e successivo D.L.GS. N° 42 del 22/1/2004" e "Zona di tutela agronaturalistica (art. 45 del PTCP) – art 23.8 NTA"



**Figura 2.3.** Estratto del PRG del Comune di Quattro castella "Tav. 8H PROGETTO – Viabilità e zonizzazione" alla scala 1:2000

## 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

### 3.1 Inquadramento geologico

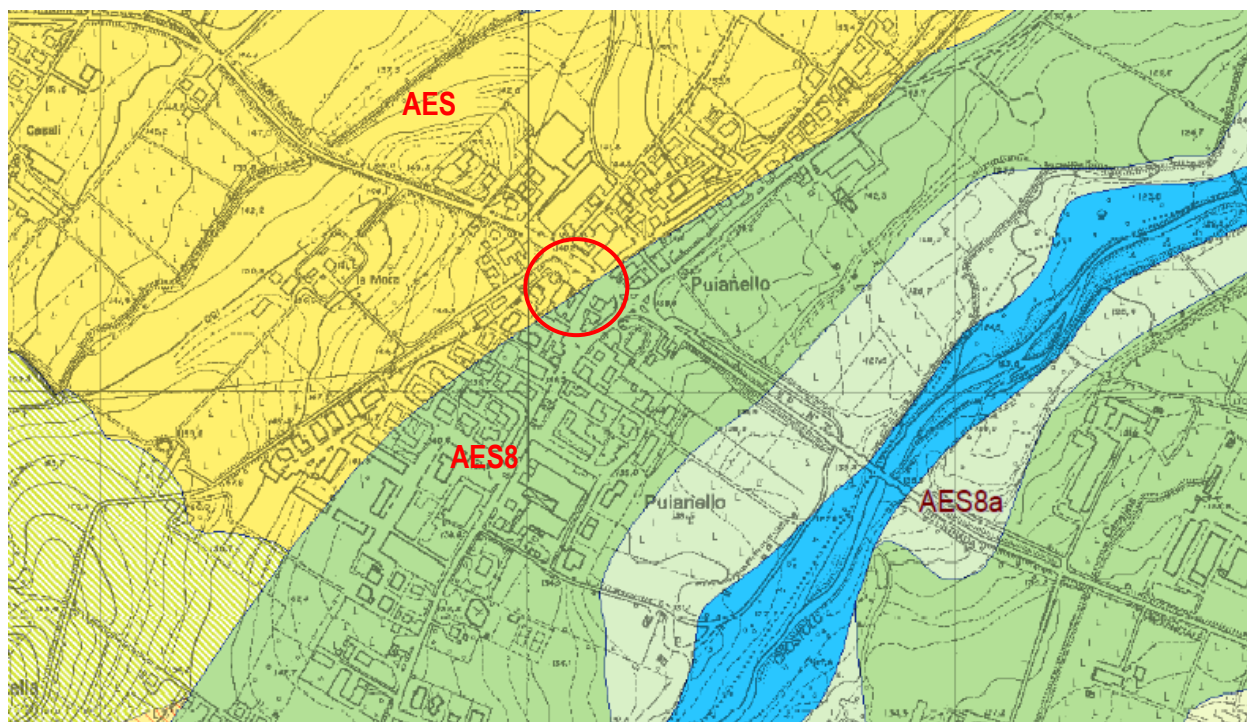
Il contesto geologico dell'area in esame vede la presenza di un substrato appartenente alle "Successione neogenico – quaternaria del margine appenninico padano" ed in particolare il "Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore" e al "Subsintema di Ravenna".

In accordo con la stratigrafia regionale "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 200150 denominata VEZZANO sul CROSTOLO rappresentata in Figura 3.1, sono stati individuati:

#### **Successione neogenico – quaternaria del margine appenninico padano**

**AES Sintema Emiliano Romagnolo Superiore:** Unità alluvionale da grossolana a fine con alla base una superficie di discontinuità nel margine appenninico e nell'alta pianura, passante a una superficie di continuità nel sottosuolo della pianura, su AEI.. (*Plicene inf. - Pleistocene inf.?*)

**AES8 Subsintema di Ravenna:** 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).*)



**Figura 3.1.** Estratto della "Carta geologica dell'appennino emiliano-romagnolo a scala 1:10000 edizione 2011 – Rilevamento geologico originale eseguito alla scala :10000 negli anni 1982/1996. Aggiornamento delle unità geologiche al 2005 e parziale aggiornamento delle coperture al 2011" alla sezione 200150 denominata Vezzano sul Crostolo

Dal punto di vista geomorfologico, l'area oggetto di studio è situata nella zona più sommitale dei terrazzamenti fluviali del torrente Crostolo. L'area risulta fortemente antropizzata.



Non si individuano fenomeni di instabilità, visto anche la bassa inclinazione del lotto inferiore a 10°.

Dal punto di vista idrologico il sito è situato in sinistra idrografica del Torrente Crostolo, che scorre a poche centinaia di metri più ad est. Dall'Allegato 6 – Tavola 5 del PTCP della Provincia di Reggio Emilia "Carta del Reticolo idrografici di interesse e relative fasce fluviali" si nota come l'area di indagine non sia interessata da nessuna fascia. Dalla Carta P7 bis "Reticolo secondario di pianura. Carta delle aree potenzialmente allagabili" (PAI-PTCP), l'area di indagine ricade nello scenario di pericolosità P2-M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità).

Nel mese di Marzo 2013 in concomitanza della campagna di indagini non è stata rilevata la presenza della falda all'interno del volume di terreno indagato.

## 4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

Data l'attuale fase di progettazione, per la stesura di tale relazione geologica, sono stati presi in considerazione dati bibliografici e dati ottenuti da un'appropriate indagine geologica eseguita nel Marzo 2014 durante la quale sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.° 2 prove penetrometrica statica (CPT);
- n.° 1 indagine sismica tipo MASW;
- n.° 1 indagine sismica a rifrazione (RIFRA)

Nel Marzo 2022 è stata eseguita n° 1 prova di sismica passiva a singolo geofono HVSR come richiesto nell'ambito della variante di progetto per l'adeguamento alla normativa aggiornata in materia di risposta sismica locale.

L'ubicazione delle indagini è riportata in Figura 4.1.



Figura 4.1. Ubicazione indagini.

## 4.1 Indagini geognostiche

### 4.1.1 Prova Penetrometrica Statica (CPT)

In data 5 Marzo 2014 è stata eseguita n.° 1 prova penetrometrica statica (CPT), realizzate mediante penetrometro statico tipo Tecnotest autoancorante montato su camion FIAT PC90 4x4, con spinta nominale di 20 ton, e impiegando per le prove una punta meccanica tipo "Begemann" (Figura 4.2) con le seguenti caratteristiche:

- diametro della punta 3,6 cm;
- angolo della punta 60°;
- superficie della punta 10 cm<sup>2</sup>;
- superficie del manicotto 150 cm<sup>2</sup>.



Figura 4.2. Punta meccanica tipo "Begemann"

Nella seguente tabella (tabella 4.1) è riportata la profondità della CPT e la relativa profondità della falda rilevata.

Prova n.°	Profondità prova (m. da p.c.)	Preforo (m.)	Profondità falda (m. da p.c.)
CPT1	7,80 m.	assente	assente
CPT2	7,00 m.	0,80 m	assente

Tabella 4.1: Prove CPT

Nell' **Allegato 1 – PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)** sono riportati i certificati di prova. La prova è stata eseguita secondo la procedura standard, ovvero attraverso l'infissione della punta meccanica a velocità costante di 2 cm/s, e lettura della resistenza alla penetrazione alla punta  $R_p$  e dell'attrito laterale  $R_l$  ogni 20 cm. (Allegato 1).

Nei tabulati di calcolo (Allegato 1) riferita alla prova, sono riportati i valori misurati ogni 20 cm. della resistenza penetrometrica alla punta ( $R_p$ ) espressi in kg/cm<sup>2</sup>, i valori della resistenza laterale locale ( $R_l$ ), espressi in kg/cm<sup>2</sup>, nonché i valori tra il rapporto tra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale ( $R_p/R_l$ ).

Nel diagramma penetrometrico nell'Allegato 1 sono riportate le due curve:

- a sinistra, la curva della resistenza penetrometrica alla punta ( $R_p$ : pressione di rottura del terreno), espressa in kg/cm<sup>2</sup>;
- a destra, la curva della resistenza penetrometrica laterale ( $R_l$ : resistenza laterale del terreno), espressa in kg/cm<sup>2</sup>.

Dalla prova penetrometrica viene effettuata una valutazione litologica dei terreni attraversati mediante Begemann ( $R_p/R_l$ ) e Schmertmann ( $R_p-R_l/R_p$ ).

L'indagine ha permesso di definire i seguenti parametri geotecnici dei terreni attraversati:

- determinazione della natura dei terreni e dei loro rapporti stratigrafici,
- peso di volume (efficace) del terreno ( $\delta$ );
- tensione verticale geostatica (efficace) del terreno  $\sigma_{v0}'$ ;
- coesione non drenata dei terreni con comportamento coesivo (limi e argille) o prevalentemente coesivo ( $c_u$ );

- angolo di attrito interno dei terreni con comportamento attritivo (ghiaie e sabbie) o prevalentemente attritivo ( $\varphi$ );
- grado di sovraconsolidazione (per terreni coesivi) (OCR);
- determinazione del modulo elastico ( $M_0$ ).

Tali parametri geotecnici vengono riportati nell'**Allegato 2 – TABELLA PARAMETRI**.

#### 4.1.2 Indagine sismica tipo MASW

In base alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005), in data 5 Marzo 2014, in accordo con la Committenza, è stata eseguita una prova geofisica tipo MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Wave*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999), una per sponda sul "Cavo Vettabbia", al fine di stimare le Vs30 del sito oggetto di studio.

Tale indagine è stata condotta per raggiungere i seguenti obiettivi:

- ricostruire la geometria delle unità litotecniche (definire gli spessori delle coperture e delle principali unità litotecniche, definire le geometrie dei corpi che possono essere sede di movimenti franosi)
- caratterizzare con la velocità delle onde S, le unità litologico-tecniche.

Il MASW (Park et al., 1999) è stato sviluppato in parte per superare le difficoltà dell'applicazione del SASW in ambienti rumorosi. La tecnica che prevede la registrazione simultanea (in questo caso l'energizzazione è prodotta da una massa battente di almeno 8-10 Kg) di 12 o più canali (separati da 0,5m a 10m), fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità.

Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di distinguere e evidenziare, durante l'analisi, le onde di Rayleigh presenti nel record che, normalmente, sono caratterizzate da un'elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si distribuisce in onde di superficie). Una particolare analisi spettrale, "overtone analysis", produce un grafico Velocità di fase-frequenza in cui si può distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs per successiva inversione 1-D.

La tecnica permette inoltre di eseguire misure ripetute spostandosi nella direzione di allineamento per risalire ad un profilo bidimensionale che evidenzia le variazioni laterali delle Vs. risoluzione.

#### Strumentazione impiegata

Entrambe le acquisizioni sono avvenute tramite sismografo a 24 canali (PASI 16SG24 N) collegata a geofoni verticali a frequenza propria di 4,5 Hz, con spaziatura tra i geofoni di 1,5 m., durata di acquisizione di 1 sec. Con passo di campionamento di 0,25 ms.

Dato l'utilizzo di 12 geofoni, è stata effettuata una doppia acquisizione e i due dataset (da 12 tracce ciascuna passo 3,0 m.) sono state sommate per ottenere un unico dataset che "simula" un'acquisizione a 24 tracce con passo 1,5 m..

Per ottenere questo risultato la sorgente è stata spostata (allontanata) di una lunghezza pari a metà della distanza intergeofonica (ed i geofoni restano immobili), come riportato in Figura 4.3.

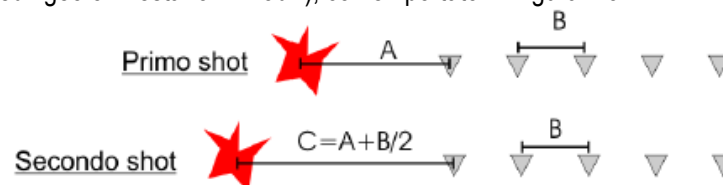


Figura 4.3: Metodo per la somma di un dataste.

L'energizzazione, realizzata a distanze di 5,00 m., 6,50 m., 8,00 m. e 9,50 m. dal primo geofono, è stata ottenuta con una massa battente di 10 kg.

I dati acquisiti sono stati elaborati mediante software winMASW 4.3 Standard, per ricostruire il profilo della velocità delle onde di taglio Vs.

## RISULTATI DELL'INDAGINE MASW

### Elaborazione

I dati acquisiti (Figura 4.4) sono stati elaborati (Figura 4.5) mediante software winMASW 4.3 Standard, per ricostruire il profilo della velocità delle onde di taglio Vs.

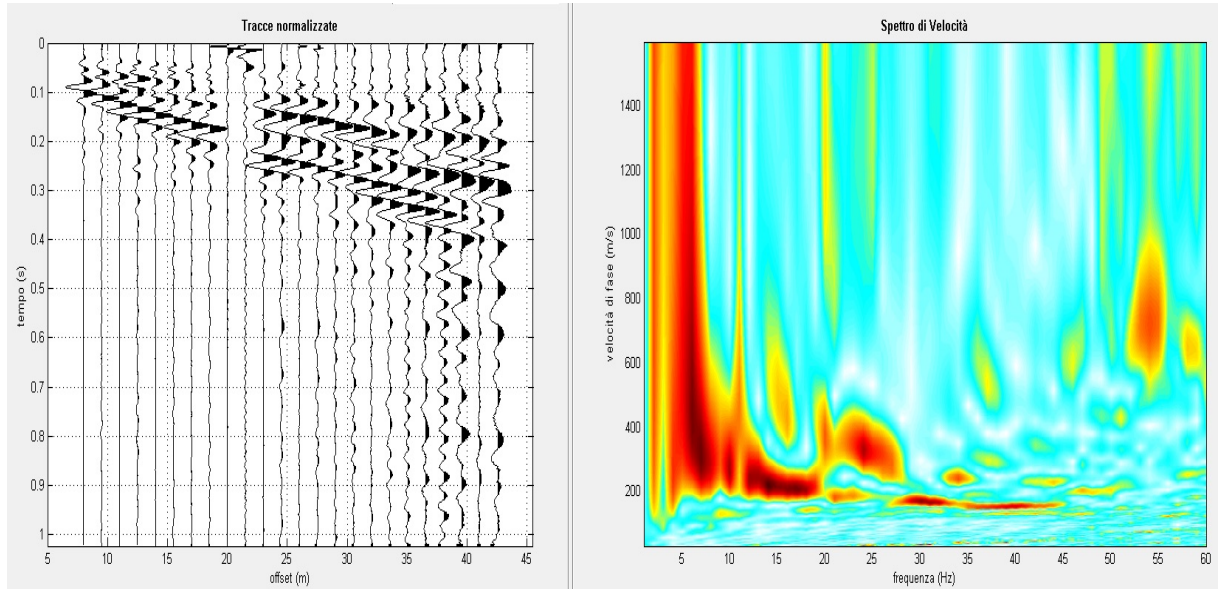


Figura 4.4: Tracce normalizzate e spettro di velocità.

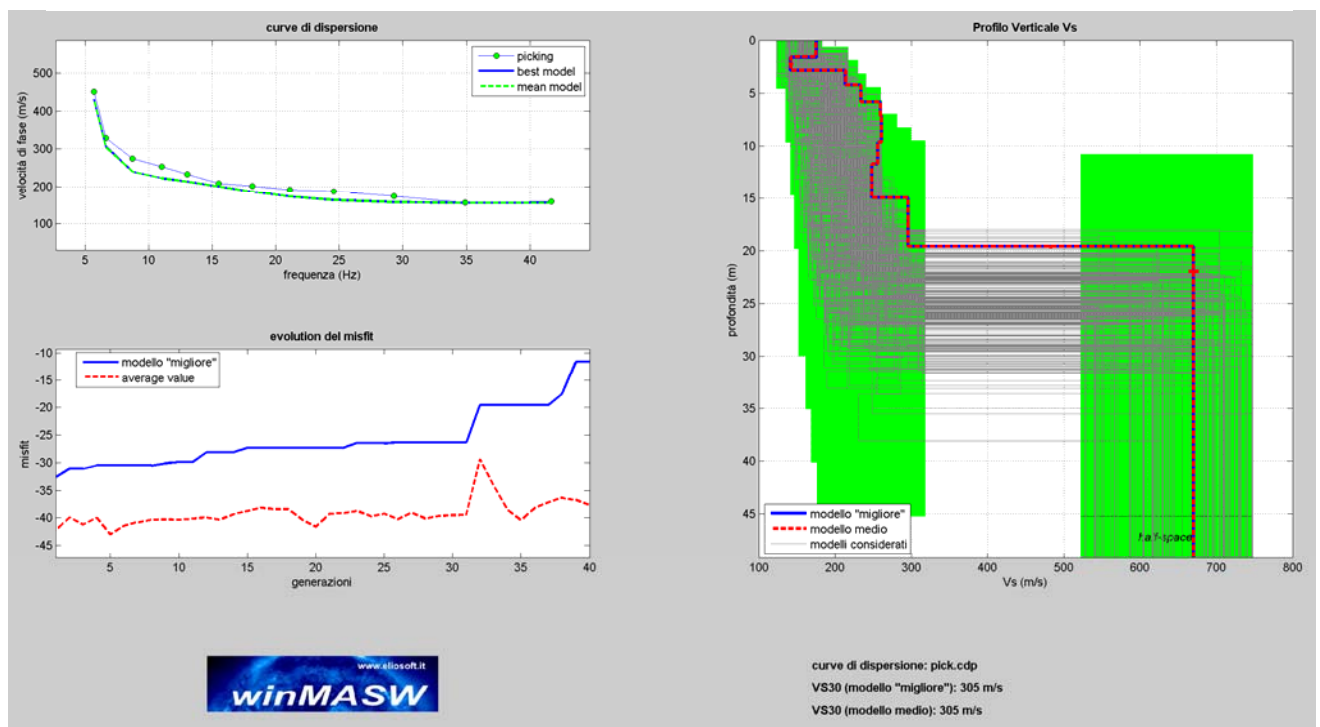
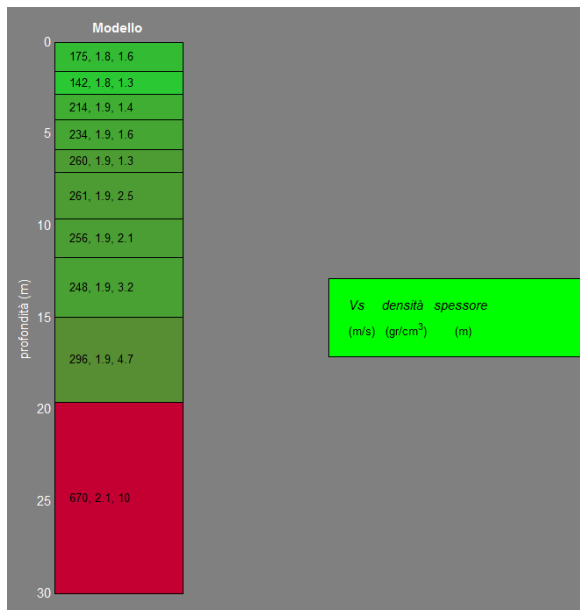


Figura 4.5: Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi di dati MASW. In alto a sinistra: curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale Vs identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici –Dal Moro et Al., 2007).

Dall'esame del grafico sottostante si possono fare le seguenti osservazioni:



- fino a 2,9 m. dal p.c. presenza di materiale con velocità di Vs attorno a 140 m/s e densità di 1,8 g/cm<sup>3</sup>;
- tra 2,9 e 5,9 m. dal p.c. presenza di materiale con velocità di Vs di 230 m/s e densità di 1,9 g/cm<sup>3</sup>;
- tra 5,9 e 15,0 m. dal p.c. presenza di materiale con velocità di Vs di 260 m/s e densità di 1,9 g/cm<sup>3</sup>;
- tra 15,0 e 19,7 m. dal p.c. presenza di materiale con velocità di Vs di 296 m/s e densità di 1,9 g/cm<sup>3</sup>;
- da 19,7 m. dal p.c. presenza di materiali con velocità di 670 m/s e densità di 2,1 g/cm<sup>3</sup>;

Il valore di **Vs30** calcolato nella relazione geologica del Marzo 2014 è di **305 m/s** (considerando come riferimento il piano campagna).

Rispetto le Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14 gennaio 2008) il sito in esame rientrava quindi nella **categoria di suolo C** corrispondente a - *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).*

Alla luce delle aggiornate **Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, DM del 17 gennaio 2018)** ed in conformità con l'approccio mantenuto della microzonazione sismica del Comune di Quattro Castella, la Vs è stata ricalcolata sulla base dei dati forniti dalla sismica MASW eseguita nel Marzo 2014; inoltre in conformità con le indicazioni fornite dalla Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione emilia Romagna riguardo la definizione di bedrock sismico per il territorio regionale, non si considera come bedrock sismico un substrato con Vs>800 m/s, ma con un contrasto di impedenza significativamente elevato (<2). Pertanto in conformità con tali indicazioni, la **Vs<sub>19,7</sub>** è di **237 m/s**.

Rispetto alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, DM del 17 gennaio 2018) il sito in esame rientra nella **categoria di suolo E** corrispondente a - *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*

#### 4.1.3 Prova sismica a stazione singola tipo HVSR

La prova sismica a stazione singola HVSR è basata sull'acquisizione del Rumore Sismico Ambientale (seismic noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali.

Questa tipologia è definita come metodo sismico passivo in quanto non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna visto che utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

Questo sistema di prova presenta diversi vantaggi:

- le acquisizioni vengono difficilmente "sporcate" da interferenze esterne poiché sfruttano come sorgente quella porzione di segnale sismico che altre tecniche considerano disturbo;
- non necessitando di alcuna energizzazione esterna si possono raggiungere profondità di investigazione anche superiori a 100 m.;

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva di tipo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo Nakamura) non permette un dettaglio come altri sistemi quali sismica a rifrazione o



down-hole, ma è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito, le quali sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

Per l'acquisizione del segnale è stato utilizzato il tomografo "TROMINO 3G+" prodotto da MOHO S.r.l. costituito da un geofono 3D ad alte prestazioni e bassa frequenza di risonanza, con sensori da 0,1 a 1024Hz e scheda da 24 bit reali.

L'elaborazione della prova è riportata nell'**Allegato 5 - HVSR** alla presente integrazione della relazione geologica.

La **frequenza di vibrazione naturale** del terreno misurata è di **11.56 ± 9.68 Hz** con un'impedenza di **1.42 H/V**, sebbene non sia presente un picco evidente ad quella determinata frequenza.

#### 4.1.4 Indagine sismica a rifrazione (RIFRA)

Nella prospezione sismica a rifrazione si sfrutta la velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione") che sono le più veloci, rispetto alle onde elastiche o trasversali (onde SH o "di taglio"), per determinare spessori e andamento dei livelli presenti. Tali velocità di propagazione sono differenti a seconda del materiale attraversato.

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (*Legge di Snell*), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) o trasversali ( $V_s$ ) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione. Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità  $V_p$  dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;
- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrona che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e

"cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

#### IL METODO DELLA TOMOGRAFIA SISMICA

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, qui eseguito con il programma RAYFRACT, prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Successivamente, con la fase di imaging, si otterrà con un software dedicato (SURFER 9) l'immagine della sezione tomografica.

#### SISTEMA DI ACQUISIZIONE

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo;
- sorgente energizzante;
- trigger;
- apparecchiatura di ricezione.

#### SISMOGRAFO

Lo strumento utilizzato è un sistema "Combinato Sismica + Tomografia Elettrica" fornito dalla ditta PASI Srl a 24 canali con le seguenti caratteristiche:

- Digitalizzatore a 24 bit;
- Intervallo di campionamento selezionabile da 0,016 a 2 millisecc su tutti i canali;
- Lunghezza registrazione estesa fino a >65000 millisecc;
- Filtri digitali in acquisizione ed in post-acquisizione;
- Sommatoria dei segnali fino ad un massimo di 10 stacks;
- Grande display LCD da 10,6";
- Scaricamento dati PC via USB;
- Sistema Windows XP;
- Formato dati SEG-2.

#### SISTEMA ENERGIZZANTE

Come sorgente energizzante per le onde P è stata utilizzata una mazza da 10 kg.

#### TRIGGER

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

#### APPARECCHIATURA DI RICEZIONE

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati 24 geofoni verticali PASI Srl con frequenza propria di 10 Hz.

#### CARATTERISTICHE DELLA PROSPEZIONE SISMICA

Il 5 Marzo 2014 è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche costituita da n.° 1 stendimento con la generazione e registrazione di onde P. Le caratteristiche della prospezione sono riportate schematicamente di seguito:

- RIFRA1  
 n.° geofoni 24 con passo intergeofonico di 2,0 m..  
 Spari a 10,0 e 5,0 m. dal geofono G1, tra i geofoni G4-G5, G8-G9, G12-G13, G16-G17, G20-G21 e a 5,0 m. dal geofono G24.

Nell'**Allegato 3 – SISMICA A RIFRAZIONE** si riportano le sezioni tomografiche elaborate con il programma RAYFRACT, corredate dallo schema del Ray Tracing e della densità dei dati. Le tomografie offrono ovviamente una maggiore discretizzazione delle velocità rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale, individuando in genere, per la caratteristica intrinseca dell'algoritmo di calcolo (basato sui gradienti di velocità) spessori diversi da quelli valutati utilizzando la sismica a rifrazione classica. In questo caso si osserva comunque una buona corrispondenza tra i due metodi.

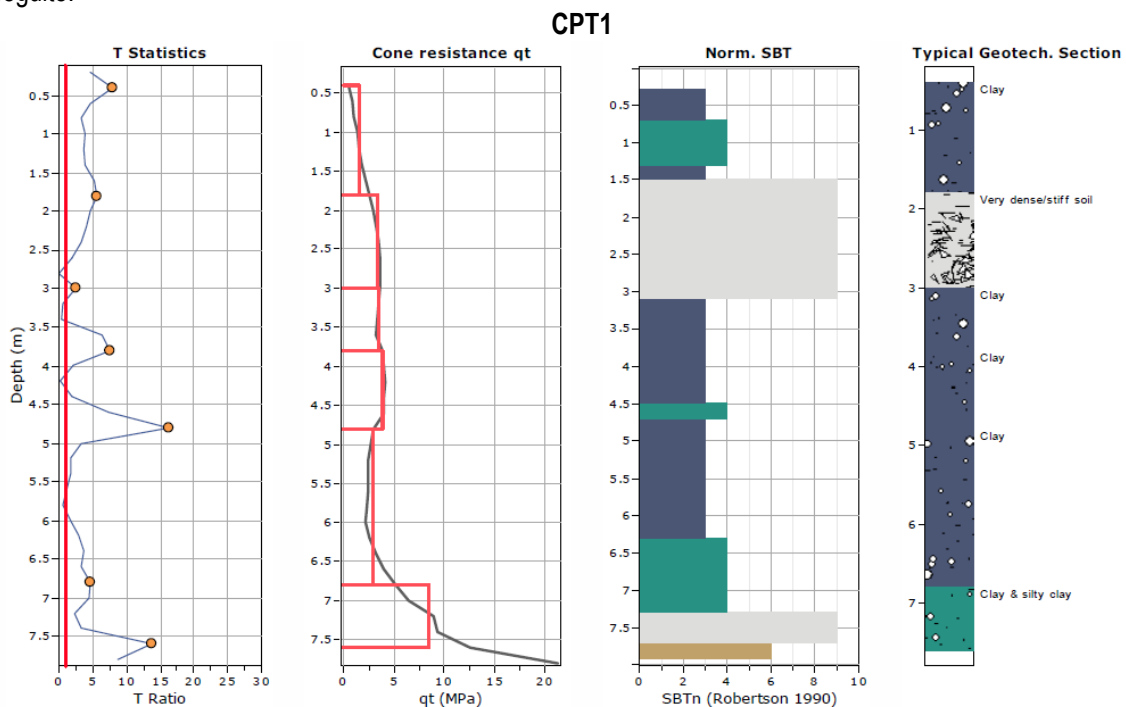
## 4.2 Sintesi dei risultati

Il sito oggetto di studio è collocato in un'area subpianeggiante, con una leggera pendenza verso Nord-Est, in Via F.lli Menozzi e Via R. Valentini in località Puianello nel comune di Quattro in Provincia di Reggio.

Dalle indagini geognostiche eseguite si è rilevato la presenza di un ammasso argilloso nel volume di terreno indagato.

La falda è risultata **assente** nei fori delle prove penetrometriche, eseguite nel Marzo 2014.

Nelle figure successive (Figura 4.6 e Figura 4.7) si riportano le analisi statistiche delle prove penetrometriche eseguite:



**Figura 4.6:** Analisi statistica della CPT1 eseguita con software CPeT-IT prodotto dalla GEOLOGISMIKI



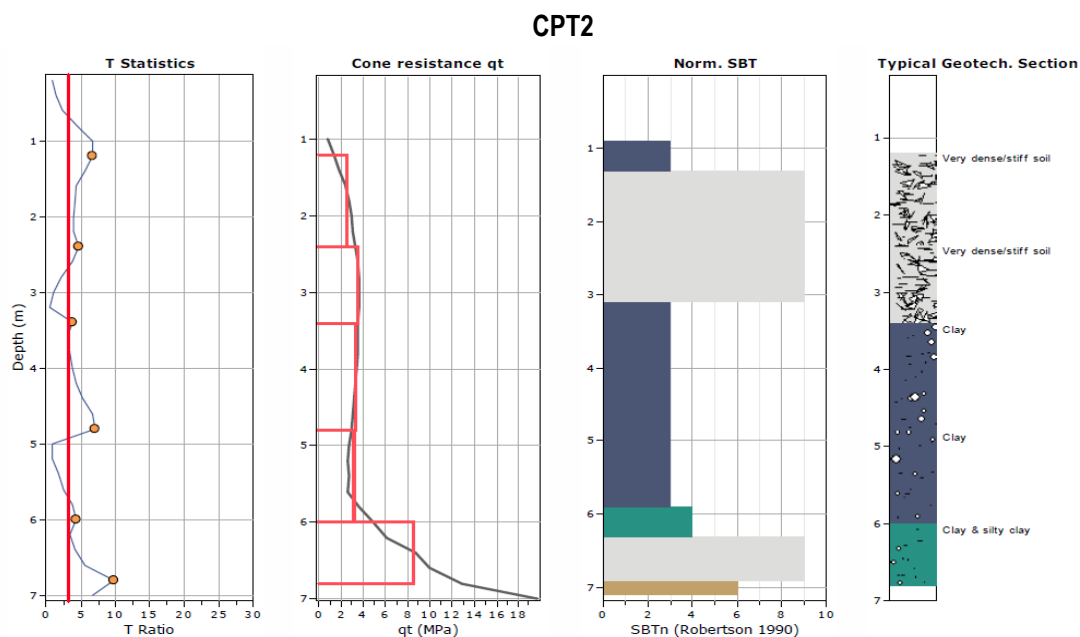


Figura 4.7: Analisi statistica della CPT2 eseguita con software CPeT-IT prodotto dalla GEOLOGISMIKI

Dall'analisi delle n.° 2 prove penetrometriche si individuano 7 differenti livelli che presentano una buona correlazione tra loro.

In corrispondenza della CPT1 si sono attraversati materiali, per tutta la lunghezza della prova, interpretabili come argille con resistenza variabile con la profondità.

In corrispondenza della sono stati attraversati materiali, interpretabili come argille ad eccezione dei primi 3,0 m. dal piano campagna nei quali sono presenti materiali addensati.

Materiali più resistenti che hanno determinato l'arresto delle prove si sono incontrati a 7,60 m. dal p.c. e a 6,0 m. dal p.c. rispettivamente in corrispondenza della CPT1 e della CPT2.

In Figura 4.8 (Allegato 4 – MODELLO GEOLOGICO), viene proposto il modello geologico dell'area.

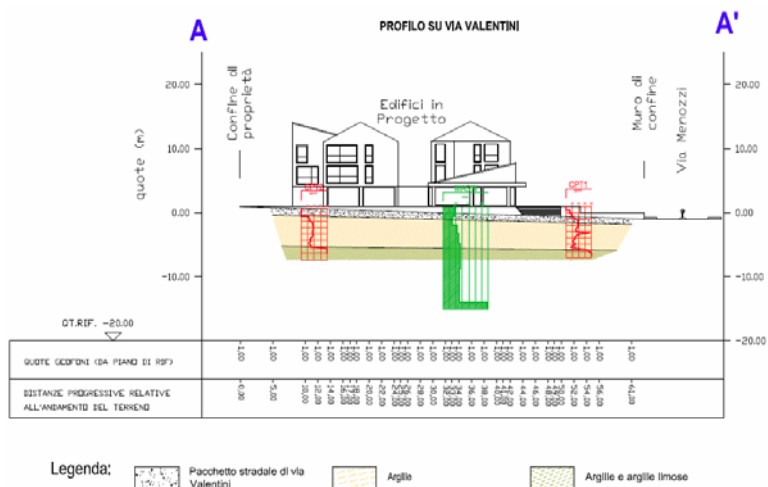


Figura 4.8: Modello geologico ricavato dall'interpretazione delle prove CPT.

### 4.3 Analisi degli aspetti geomorfologici e idrogeologici

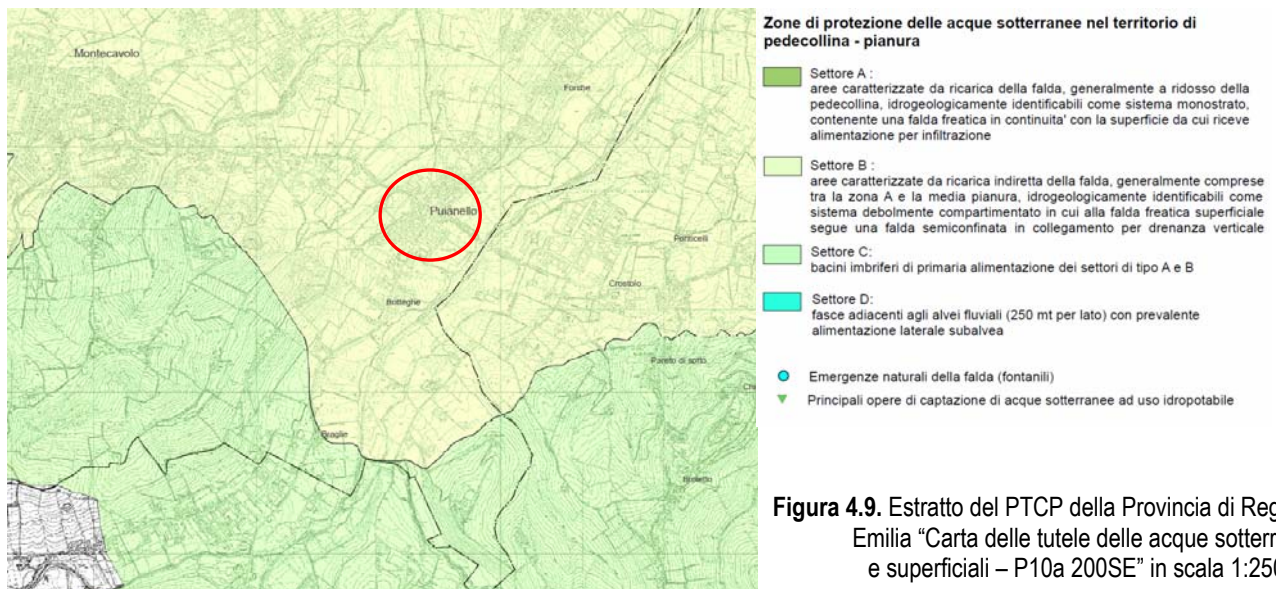
L'area risulta fortemente antropizzata in quanto all'interno di un centro abitato. Il lotto oggetto di studio è delimitato da un muro di sostegno che ha di fatto ridisegnato l'originale versante caratterizzato da una lieve pendenza verso Nord-Est, rendendolo pianeggiante.

Non si individuano fenomeni di instabilità, visto anche la bassa inclinazione del lotto inferiore a 10°.

Dal punto di vista idrologico il sito è situato in sinistra idrografica del Torrente Crostolo, che scorre a poche centinaia di metri più ad est. Il lotto risulta al di fuori delle fasce di rispetto dei corsi d'acqua.

Dal PTCP della provincia di Reggio Emilia "Carta delle tutele delle acque sotterranee e superficiali -P10a 200SE alla scala 1:25000" l'area ricade all'interno delle "Zone di protezione delle acque sotterranee nel territorio di pedecollina-pianura" in particolare all'interno del "Settore B - aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda, generalmente comprese tra la zona A e la media pianura, idrogeologicamente identificabili come sistema debolmente compartimentato in cui alla falda freatica superficiale segue una falda semiconfinata in collegamento pre drenanza verticale" (Figura 4.9).

In concomitanza delle indagini (Marzo 2014), la falda è risultata essente nel volume di terreno indagato.



**Figura 4.9.** Estratto del PTCP della Provincia di Reggio Emilia "Carta delle tutele delle acque sotterranee e superficiali - P10a 200SE" in scala 1:25000

### 4.4 Modellazione sismica

Il sito oggetto di studio ricade è situato nell'abitato di Puianello, frazione del Comune di Quattro Castella, il quale secondo quanto stabilito dall'Ordinanza n.° 3274 del 20/03/2003, ricade in zona sismica 3. Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15 aggiornato al 2020) dell'INGV riporta 4 avvenuti tutti all'interno del territorio regionale, eventi dal 1983 al 2008, con intensità massima pari a 6 e magnitudo momento ( $M_w$ ) massima di 5.36. Il Modello di Pericolosità Sismica (MPS04) dell'INGV indica una PGA massima a  $T=0$  secondi pari a 0.159 g per un terremoto con probabilità di eccedenza (PoE) pari al 10%. Il medesimo modello riporta un valore medio di magnitudo pari a 4.86, con a distanza di 8.17 Km ed un valore di  $\epsilon$  pari a 0.851.

#### 4.4.1 Definizione rischio sismico e della risposta sismica locale

Secondo la deliberazione n.° 112 del 2 Maggio 2007 ed il DGR 630/2019, gli studi di risposta sismica locale e micro zonazione sismica vanno condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda della finalità e delle applicazioni e degli scenari di pericolosità locale.

Si identificano due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè 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.). L'individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta mediante elaborazione dei dati disponibili in sede di elaborazione del PTCP e del PSC, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione delle aree.

Dal PTCP della provincia di Reggio Emilia "Rischio sismico –Carta degli effetti attesi P9a 200SE" alla scala 1:25000, il sito oggetto di studio ricade all'interno della "Classe degli effetti attesi C", classe nella quale l'unico effetto atteso risulta essere l'**amplificazione stratigrafica** (Figura 4.10).



Figura 4.10. Estratto del PTCP della Provincia di Reggio Emilia "Rischio sismico – Carta degli effetti attesi – P9a 200SE" in scala 1:25000

Dal PTCP della provincia di Reggio Emilia "Rischio sismico –Carta dei livelli di approfondimento P9b 200SE" alla scala 1:25000, il sito oggetto di studio ricade all'interno del "**Livello di approfondimento 2**" (Figura 4.11).

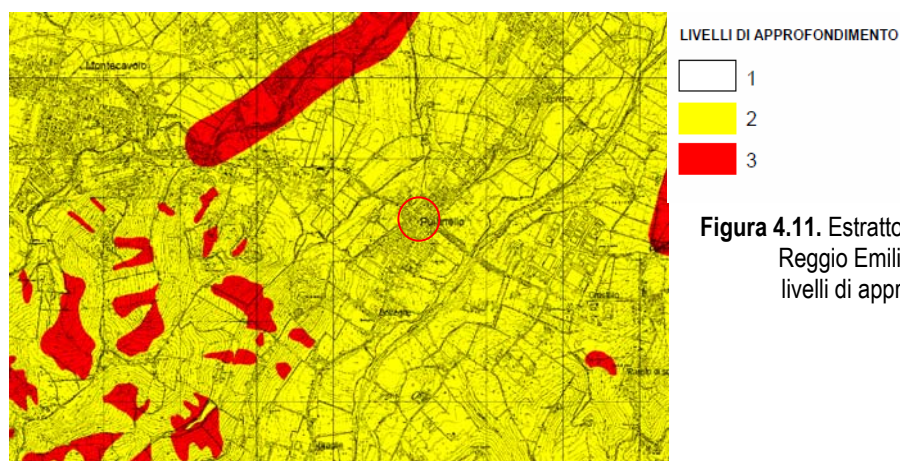


Figura 4.11. Estratto del PTCP della Provincia di Reggio Emilia "Rischio sismico – Carta dei livelli di approfondimento – P9b 200SE" in scala 1:25000

La seconda fase ha come obiettivo la micro zonazione sismica del territorio indagato con due livelli di approfondimento (analisi semplificata di 2° livello di approfondimento e analisi approfondita di 3° livello di approfondimento). L'analisi deve essere condotta almeno per le aree già urbanizzate o oggetto di urbanizzazione, ricadenti nelle aree potenzialmente soggette ad effetti locali individuate nella 1° fase.

Nell'analisi del 2° livello verranno indagate:

- le aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub orizzontale e sui versanti stabili con acclività  $\leq 15^\circ$  in cui il deposito ha spessore costante, si ritiene sufficiente un'analisi semplificata (2° livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità locale

può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche in situ e su prove geotecniche di tipo standard. Il numero di verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione geotecnica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;

- **un'analisi approfondita** (3° livello di approfondimento) è invece richiesta nei casi seguenti:
  - o aree soggette a liquefazione e densificazione;
  - o aree instabili e potenzialmente instabili;
  - o aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane o di fondovalle a ridosso dei versanti;
  - o 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 situ che in laboratorio, rivolte alla definizione del comportamento dei terreni sotto sollecitazione dinamica.

Per il sito oggetto di studio è sufficiente applicare l'analisi semplificata con un secondo livello di approfondimento.

#### 4.4.2 Microzonazione sismica

Il Comune di Quattro Castella nel Marzo 2017, congiuntamente al Comune di Albinea, si è dotato di uno studio di microzonazione sismica; tale studio rappresenta uno strumento con il quale il Comune si adegua all'A.2 comma 4 della LR 20/2000 ed all'art. 22 comma 2 della LR 24/2017 (Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio), secondo cui gli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica concorrono alla riduzione del rischio sismico attraverso analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione urbanistica ed orientano le proprie scelte localizzative, i possibili processi di trasformazione urbana e la realizzazione delle opere verso scenari di prevenzione e mitigazione del rischio.

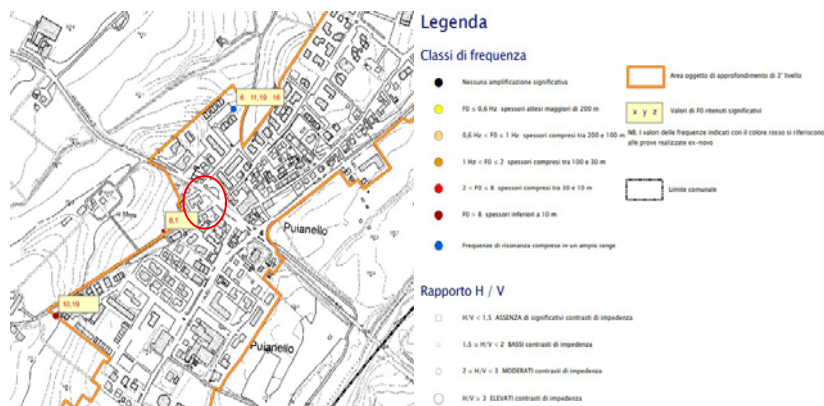


Figura 4.12. Stralcio della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) e relativa legenda. Scala 1:5000

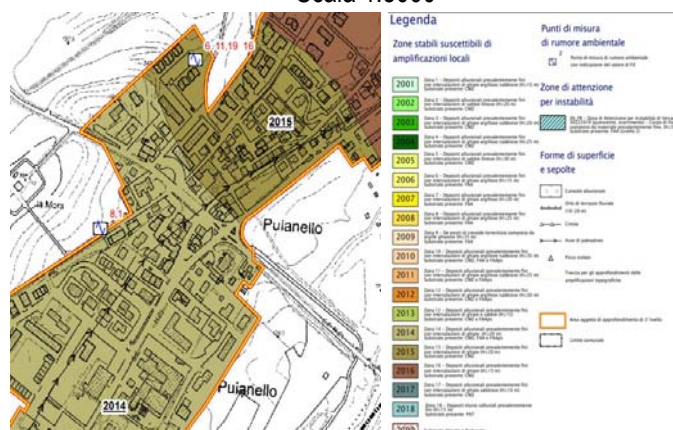


Figura 4.13. Stralcio della carta delle frequenze di vibrazione naturale F0 e relativa legenda. Scala 1:5000.

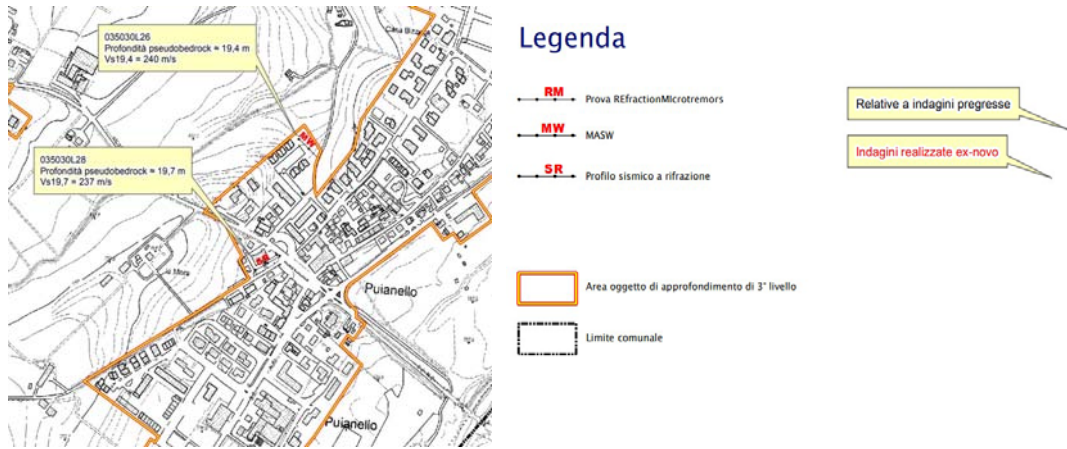


Figura 4.14. Stralcio della carta della Vs e relativa legenda. Scala 1:5000

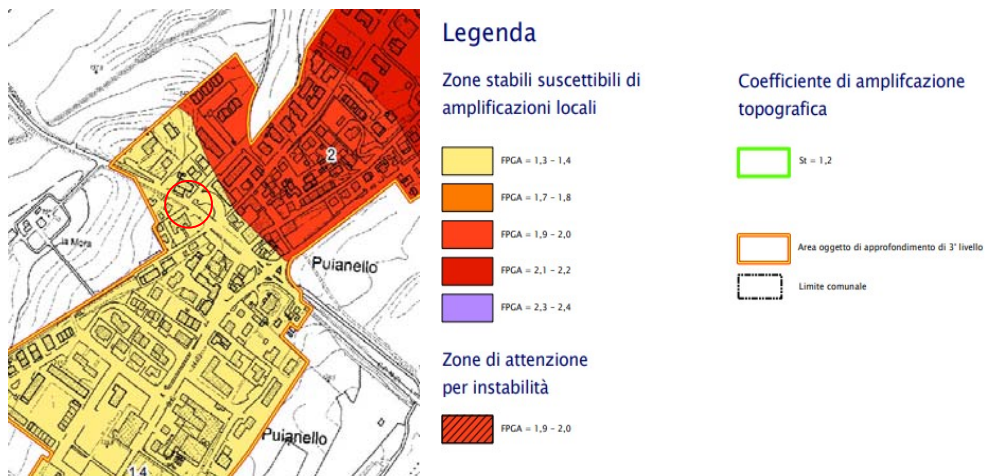


Figura 4.15. Stralcio della carta della PGA e relativa legenda. Scala 1:5000

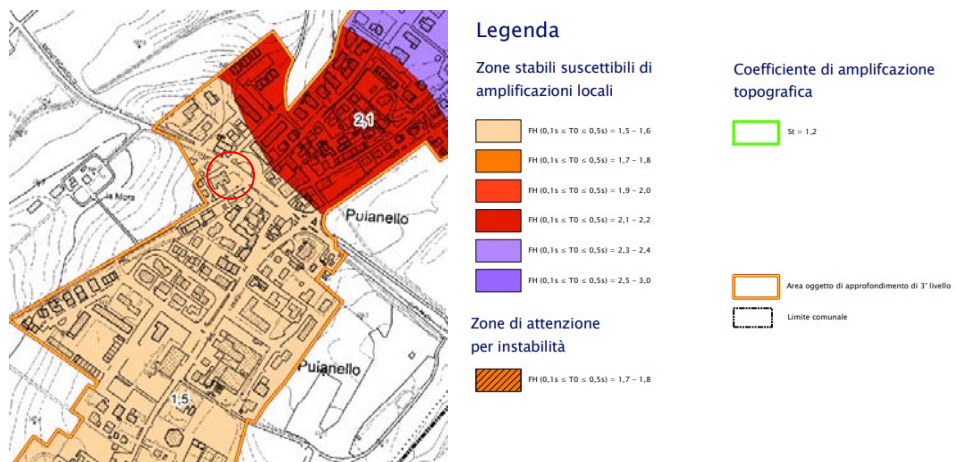
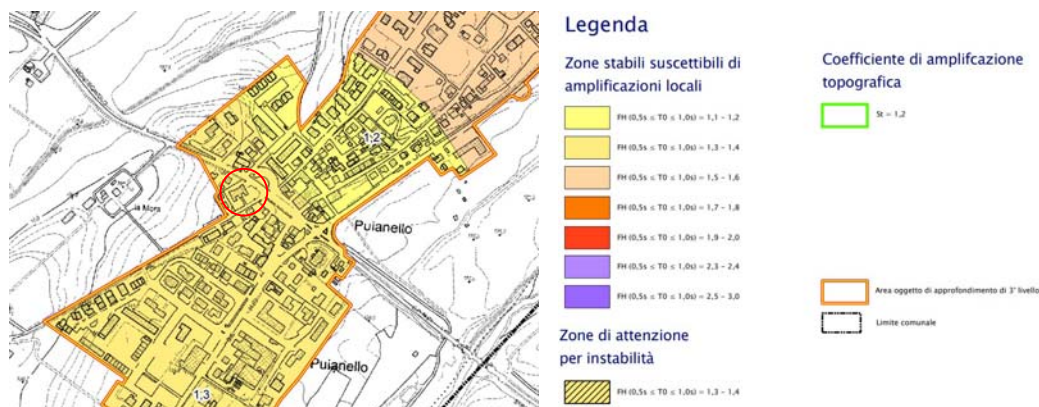


Figura 4.16. Stralcio della carta del Fattore di amplificazione di intensità di Housner per  $0,1 < T < 0,5$  s e relativa legenda. Scala 1:5000



**Figura 4.17.** Stralcio della carta del Fattore di amplificazione di intensità di Housner per  $0.5 < T < 1.0$  s e relativa legenda. Scala 1:5000

Gli stralci delle carte della microzonazione sismica del comune di Quattro Castella, riportati dalla Figura 4.12 alla Figura 4.17, mostrano le caratteristiche morfo-litologiche e di risposta sismica del territorio circostante all'area di studio.

#### 4.4.3 Risposta sismica locale

Per definire la Risposta Sismica Locale (RSL) dell'area di indagine in accordo con le NTC 2018 è stato utilizzato il software free *Geostru PS Advanced* fornito da Geostru dai quali è possibile definire i parametri sismici.

Le coordinate del sito sono:

Latitudine: 44,626441°  
 Longitudine: 10,562693°

Nel sito di riferimento, si considera:

- **Tipo di costruzione (art. 2.4.1):**  
**tipo 2 ( $V_n \geq 50$  anni):** Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza;
- **Classe s'uso (art. 2.4.2):**  
**classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

In Tabella 4.2 vengono riportati i parametri relativi alla **pericolosità sismica di base** relativa al territorio in cui è situata l'area di studio. I parametri necessari a definire la pericolosità sismica di base sono i seguenti:  $a_g$  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.

	Prob. Superamento (%)	Tr (anni)	$a_g$ (g/10)	$F_0$ (adim)	$T_c$ (s)
Operatività (SLO)	81	30	0,051	2,474	0,248
Danno (SLD)	63	50	0,064	2,490	0,262
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0.159	2,413	0,285
Prevenzione del collasso (SLC)	5	975	0.202	2,413	0,294

**Tabella 4.2:** Parametri di pericolosità sismica di base

Valutando i dati di pericolosità sismica di base 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 475 anni:

$$a_g = 0,159 \text{ g}$$

$$F_0 = 2,413$$

$$T_c(s) = 0,285$$

Al fine di definire la RSL di secondo livello sono necessari i seguenti parametri:

- **Categoria di sottosuolo (art. 3.2.2):**  
*Categoria E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*
- **Categoria topografica (art. 3.2.2):**  
*Categoria T1* Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media inferiore uguale a 15°
- **Rapporto h/H altezza pendio:**  
Definisce la variazione spaziale del coefficiente  $S_t$ ; ponendo  $h/H=1$ ,  $S_t$  assume i valori della tabella 3.2.VI; ponendo  $h/H=0$ ,  $S_t$  assume il valore unitario;
- **Coefficiente di amplificazione  $S_t$ :**  
Definito in 3.2.3.2.1 delle norme, in questa situazione pari a 1,0;
- **Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :**  
Definito in 3.2.3.2.1 delle norme, in questa situazione pari a 5%.

Nella tab. 4.3,  $S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica,  $C_c$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo, mentre  $S_t$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di suolo e delle condizioni topografiche. L'amplificazione stratigrafica viene calcolata, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V del NTC18 che per la categoria di suolo E risulta:

$$S_s = 2.00 - 1.10 \times F_0 \times a_g/g \text{ ed ha il seguente campo di variazione } 1,00 \div 1,60$$

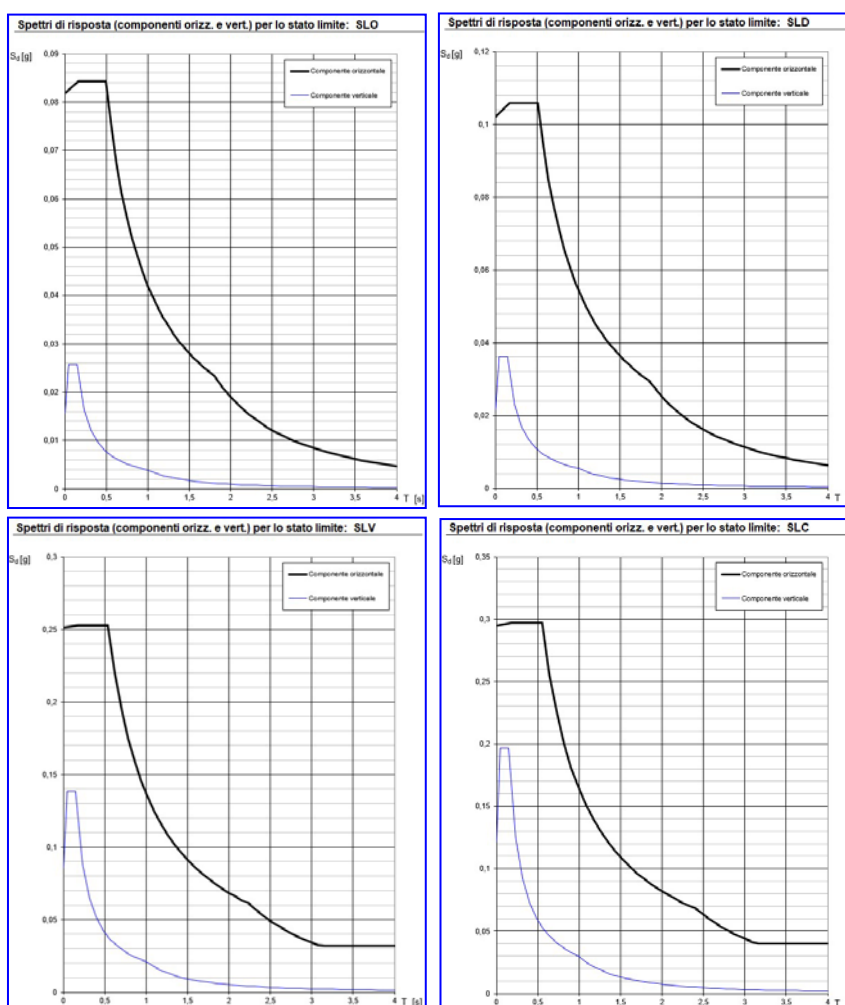
Il coefficiente di variazione del periodo  $C_c$  corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante  $T_c$  dello spettro è:

$$C_c = 1,5 \times (T_c^*)^{-0,40} \text{ e risulta superiore all'unità.}$$

Dalla combinazione dei parametri della pericolosità sismica di base con quelli descrittivi delle caratteristiche dell'area di indagine si ottengono i seguenti parametri di risposta sismica locale riassunti in tabella 4.3. In Figura 4.18 sono rappresentati gli spettri di risposta nella componente orizzontale e verticale per ciascuno stato limite.

	$S_s$	$C_c$	$S_t$	$A_{g\_max}$ (g)	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)	$A_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )	$K_h$	$K_v$	$\beta$
SLO	1,60	2,01	1,00	0.081	0.166	0.498	1.805	0.801	0.016	0.008	0.200
SLD	1,60	1,97	1,00	0.102	0.176	0.515	1.855	0.997	0.020	0.010	0.200
SLV	1,58	1,90	1,00	0.251	0.180	0.541	2.237	2.471	0.060	0.030	0.240
SLC	1,46	1,88	1,00	0.294	0.184	0.551	2.406	2.888	0.082	0.041	0.280

**Tabella 4.3:** coefficienti sismici della risposta sismica locale.



**Figura 4.18.** Spettri di risposta per la componente orizzontale e verticale di ciascuno stato limite.

#### 4.4.4 Fattore di Amplificazione (FA)

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

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

dove H è lo spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del bedrock,  $h_i$  è lo spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino al bedrock o fino alla profondità di 30 m),  $V_{s_i}$  è la velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al bedrock o fino alla profondità di 30 m).

La **Delibera della Giunta Regionale 630 del 29/04/2019** nell' "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica" per lo studio di pericolosità sismica di base e di pericolosità locale, 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 VsH o di Vs30 con i fattori di amplificazione (FA). Nella determinazione dei valori di FA si fa riferimento a quanto contenuto ed indicato nell'Allegato A2 della suddetta Delibera Regionale. Le varie Tabelle dell'Allegato A2 rispecchiano situazioni tipiche del territorio regionale, tra le quali occorre scegliere quella che meglio corrisponde al carattere dell'area di studio.

I coefficienti di amplificazione sismica ottenuti impiegando le tabelle dell'Allegato A2 permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento. Questi fattori sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA<sub>0</sub>) sia come rapporto tra intensità spettrali calcolate sugli spettri pseudo-velocità all'interno di intervalli distinti:

0.1 – 0.5 sec

0.5 – 1.0 sec

La tabella di riferimento (Tabella 4.4) per la valutazione dei fattori di amplificazione FA è relativa ad una stratigrafia dell'appennino e del margine appenninico-padano, in cui il substrato marino non affiorante è caratterizzato da Vs ≤ 800 m/s (Allegato A2 della DGR 630 del 29 aprile 2019).

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,1	1,8	1,5		
10	2,3	2,2	2,0	1,8		
15	2,1	2,1	2,0	1,8		
20	2,1	2,1	2,0	1,9		
25	2,0	2,0	2,0	1,9		
30	1,9	1,9	1,9	1,9		

Fattore di Amplificazione PGA

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,2	1,9	1,7	1,6		
10	2,6	2,4	2,0	1,8		
15	2,6	2,5	2,2	1,9		
20	2,5	2,5	2,3	2,0		
25	2,3	2,3	2,2	2,1		
30	2,1	2,1	2,1	2,0		

Fattore di Amplificazione SII (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,8	1,7	1,6	1,6		
10	2,3	2,0	1,8	1,7		
15	3,2	2,6	2,1	2,0		
20	3,5	3,1	2,5	2,1		
25	3,7	3,4	2,8	2,4		
30	3,6	3,5	3,0	2,6		

Fattore di Amplificazione SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)

**Tabella 4.4:** Vs30/FA in relazione al PGA ed alle Intensità Spettrali (0,1 s < T<sub>0</sub> < 0,5 s) e (0,5 s < T<sub>0</sub> < 1,0 s)

Nella stima e nell'attendibilità degli effetti litologici propri dell'area in esame, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio Vs con la profondità ha un ruolo rilevante.

Per definire il valore di Vs si fa ricorso all'indagine geofisica eseguita nell'area oggetto di studio nel Marzo 2014, nella quale il valore di Vs<sub>19,7</sub> misurato è pari a 237 m/s.

Le indagini hanno evidenziato la presenza di una copertura argillosa fino alla profondità di 6,0 – 7,0 m. dal piano campagna per passare ad argille con Vs tra 260 e 296 m/s fino a 30,0 m. e ad un substrato (probabilmente argilloso) con Vs pari a 670 m/s.

Sulla base dei valori di Vs<sub>19,7</sub> misurato di 237 m/s, a cui corrisponde la categoria di suolo fondazione di tipo E, si ottengono i seguenti fattori di amplificazione:

PGA	Fa = 2,0
Int. Spettrale (0,1 – 0,5 s)	Fa = 2,3
Int. Spettrale (0,5 – 1,0 s)	Fa = 2,5

#### 4.5 Elementi di sintesi per la progettazione

I parametri caratteristici degli orizzonti attraversati, ricavati da ogni singola prova penetrometrica sono riportati nelle seguenti tabelle.

I valori caratteristici, inteso come stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato, deve essere ottenuto mediante prove di laboratorio e l'interpretazione dei risultati di prove e misure in situ, identificati come il 5° percentile della distribuzione della media campionaria secondo la relazione sotto riportata:

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

### **Prova CPT1**

Livello	Orizzonte	Profondità (m)	Cu (kPa)	Angolo d'attrito (°)	E <sub>ed</sub> (MPa)
1	Argilla	0,00 – 1,80	c <sub>u</sub> = 72,22	-	E = 14,15
2	Terreno addensato	1,80 – 3,00	c <sub>u</sub> = 224,26	-	E = 43,95
3	Argilla	3,00 – 3,80	c <sub>u</sub> = 214,29	-	E = 41,99
4	Argilla	3,80 – 4,80	c <sub>u</sub> = 232,42	-	E = 45,55
5	Argilla	4,80 – 6,80	c <sub>u</sub> = 164,27	-	E = 32,19
6	Argilla e Argilla limosa	6,80 – 7,80	c <sub>u</sub> = 416,81	-	E = 81,69

**Tabella 4.6.** Parametri caratteristici dei livelli individuati nella prova CPT1

### **Prova CPT2**

Livello	Orizzonte	Profondità (m)	Cu (kPa)	Angolo d'attrito (°)	E <sub>ed</sub> (MPa)
1	Pacchetto stradale	0,00 – 0,80	-	-	-
2	Terreno addensato	0,80 – 2,40	c <sub>u</sub> = 105,61	-	E = 20,70
3	Terreno addensato	2,40 – 3,40	c <sub>u</sub> = 247,98	-	E = 47,39
4	Argilla	3,40 – 4,80	c <sub>u</sub> = 214,14	-	E = 41,12
5	Argilla	4,80 – 6,00	c <sub>u</sub> = 162,39	-	E = 31,82
6	Argilla e Argilla limosa	6,00 – 7,00	c <sub>u</sub> = 390,90	-	E = 96,91

**Tabella 4.7.** Parametri caratteristici dei livelli individuati nella prova CPT2

## **5. ANALISI DELLA PERICOLOSITA'**

### **5.1 Problematiche e pericolosità geomorfologiche e idrogeologiche**

L'area non presenta problematiche geomorfologiche, per la bassa acclività del versante.

Dal punto idrogeologico il sito non rientra nelle "Fasce di rispetto dei corsi d'acqua", mentre rientra nella zona P2-M per quanto riguarda la pericolosità da alluvione (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità).

Infine non si prende in considerazione il problema legato al fenomeno della liquefazione dei terreni per la presenza di litologie di natura argillosa, sebbene siano, invece, possibili fenomeni di amplificazione stratigrafica delle onde sismiche.

## **6. CONCLUSIONI**

Sulla base di quanto rilevato nell'ambito del presente studio, le caratteristiche geologiche dei terreni permettono la realizzazione delle opere previste.

Sulla base dello studio condotto, il sito oggetto è collocato in un'area fortemente antropizzata in quanto risulta all'interno di un centro abitato. La presenza di muri di contenimento hanno modificato un versante originariamente con una modesta acclività (inferiore a 10°) in un lotto praticamente pianeggiante.

Non si rilevano problematiche dal punto di vista geomorfologico.

Dalle indagini geognostiche eseguite si è rilevato la presenza di un ammasso argilloso nel volume di terreno indagato (8,0 m. da p.c.), con un passaggio a litologie argillose più consistenti tra i 6,00 e i 7,5 m. dal piano campagna.

La falda è risultata assente nei primi 8,0 m. dal piano campagna nel Marzo 2014. Non si esclude variazioni anche importanti del livello piezometrico nel corso dell'anno e in concomitanza di eventi meteorici avversi.

Dal punto di vista sismico, con una velocità di **Vs19.7 pari a 237 m/s**, il sito rientra nella **categoria di suolo E** corrispondenti a - *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m. Tale Vs è comparabile con le velocità rivelate nello studio di microzonazione sismica.

Il Comune di Quattro Castella secondo quanto stabilito dall'Ordinanza n.° 3274 del 20/03/2003, ricade in zona sismica 3.

In relazione all'assetto stratigrafico, l'area è interessata da una amplificazione sismica locale di tipo stratigrafico. Seguendo le procedure suggerite dalla DGR 630/2019, per il Comune di Quattro Castella si ottiene un fattore di amplificazione **Fa** pari a **2,0** per la **PGA, 2,3** nell'intervallo spettrale compreso tra **0,1-0,5 s** e di **2,5** tra **0,5-1,0 s**.

La frequenza naturale del terreno F0 rilevata con tecnica di sismica passiva a stazione singola HVSR è pari a **11.56 ± 9.68 Hz**; tale valore è comparabile con le frequenze rilevate nello studio di microzonazione sismica.

Il presente studio non rileva problematiche dal punto di vista geologico per la realizzazione dell'intervento in oggetto. Le caratteristiche dei terreni consentono la realizzazione di fondazioni superficiali continue che dovranno essere accuratamente studiate in fase esecutiva

Le indagini geognostiche eseguite, in quanto "prove puntuali", rilevano la condizione all'intorno 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 comunicare 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 anomalia obiettiva non prevista né prevedibile durante l'esecuzione delle prove o da bibliografia.

Marzo 2022

Il geologo

Dott. Fabrizio Giorgini

