ambiente risorse territorio

RegioneEmiliaRomagna

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE
E LA PROTEZIONE CIVILE

Primi interventi di messa in sicurezza di tratte saltuarie del fiume Secchia dalla traversa di Castellarano fino alla confluenza col torrente Fossa di Spezzano al fine di migliorare strutturalmente e funzionalmente il sistema difensivo esistente, proteggendo e riducendo la vulnerabilità di infrastrutture e abitati esistenti

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TORINO
Dott. Ing.
IVO
FRESIA
n. 3299X

PROGETTO ESECUTIVO - I STRALCIO
BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI

ELABORATO 2
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

approvato	ing. Ivo Fresia
verificato	Dott. geol. Giancarlo Villa
elaborato	Dott. geol. Giancarlo Villa

0	VL	VL	FR	Marzo 2019
rev.	sigla			data

codice elaborato 0777-05-04-001R-00

SISTEMA CERTIFICATO ISO 9001:2015 IAS REGISTER Cert. N. 01296
SISTEMA CERTIFICATO ISO 14001:2015 IAS REGISTER Cert. N. 00258

01PQ-Mod07
Rev. 1
Data emissione: 02.2018

www.artambiente.it

Indice

1 Scopo del documento 1
2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico 2
2.1 Geologia 2
2.2 Geomorfologia 7
2.3 Idrogeologia 10
3 Indagini geognostiche e geofisiche 12
3.1 Sondaggi 12
3.2 Indagini geofisiche e geoelettriche 14
3.3 MASW 14
3.4 HVSR 16
3.5 Indagini geoelettriche 17
3.6 Modello geologico 19
3.7 Modello geotecnico 22
4 Sismicità 23
4.1 Elementi di sismotettonica regionale 23
4.1.1. Sismicità storica dell'area d'intervento 24
4.1.2. Sorgenti sismogenetiche 26
4.1.3. Zonazione sismogenetica 28
4.2 Azioni sismiche 29
4.2.1. Spettro di risposta elastico 33
5 Sintesi delle analisi e conclusioni 35
Allegato 1 – Carta geologica – geomorfologica
Allegato 2 – Verbale lavori indagini geognostiche e geofisiche

1 Scopo del documento

Il presente documento costituisce la relazione geologica, geotecnica e sismica a supporto delle fasi di progettazione esecutiva degli interventi di ripristino della briglia di San Michele dei Mucchietti sul fiume Secchia, su incarico della Committente "*REGIONE EMILIA ROMAGNA - Agenzia Regionale per la sicurezza territoriale e la Protezione civile - Servizio Coordinamento Programmi Speciali e Presidi di Competenza, Ambito di Modena*".

L'area in esame interessa il tratto di fiume Secchia all'altezza dell'abitato di San Michele dei Mucchietti (MO) ed è posta a circa 900 m a valle della traversa di Castellarano. Dal punto di vista amministrativo ricade in sinistra idrografica nel Comune di Castellarano (RE) e in destra idrografica nel Comune di Sassuolo (MO), come indicato in Figura 1.

Figura 1 Inquadramento dell'area d'intervento

Lo scopo del documento è quello di costruire il modello geologico e geotecnico dell'area d'intervento tramite sezioni significative, definire i parametri geotecnici dei terreni di fondazione per il dimensionamento delle strutture, e definire l'azione sismica locale, sulla base della campagna di indagini geognostiche e geofisiche eseguita dalla Ditta Subsoil, incaricata dalla REGIONE EMILIA ROMAGNA - Agenzia Regionale per la sicurezza territoriale e la Protezione civile.

2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico

2.1 Geologia

Dal punto di vista geologico-strutturale l'area in esame interessa la porzione apicale della conoide del fiume Secchia, caratterizzata da una lunghezza di circa 20 km ed una larghezza massima di circa 14 km, che mostra un'asimmetria rispetto all'attuale corso del fiume che scorre sul margine occidentale, presumibilmente a causa di fenomeni neotettonici (Figura 2).

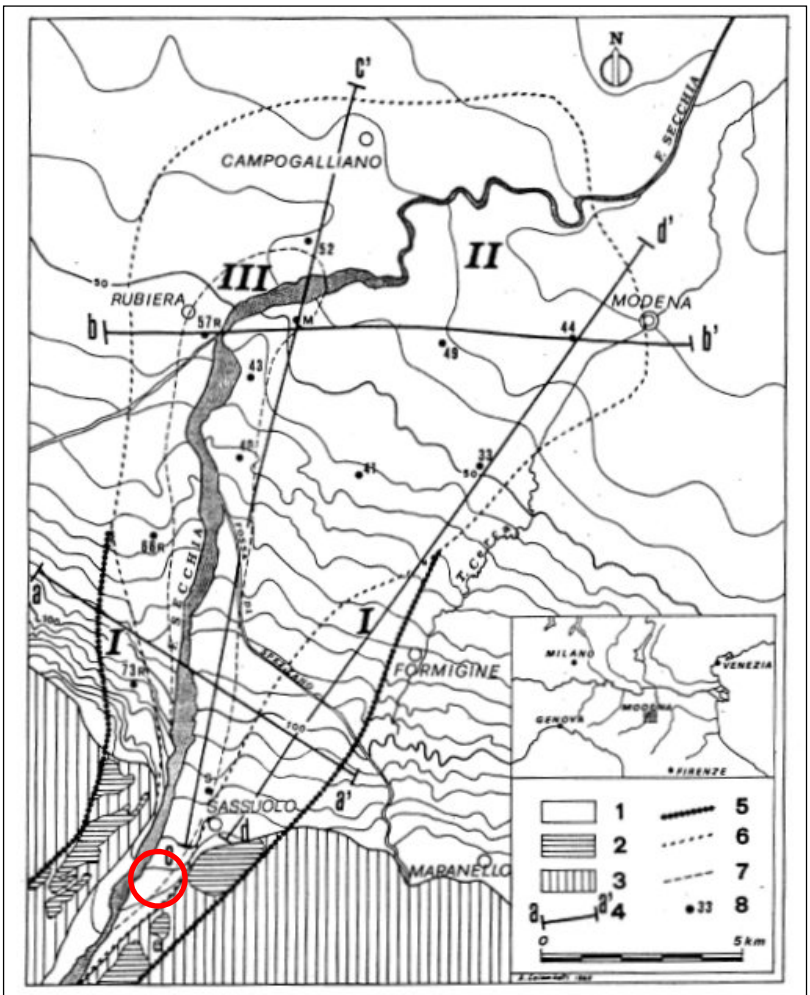


Fig. 1 - **Planimetria della conoide del F. Secchia.** 1) Alta e media pianura costituita da ghiaia, sabbia, limi e argille; 2) terrazzi collinari di vario ordine con suolo ocraceo; 3) formazioni limo-argillose plio-quaternarie del margine collinare; 4) tracce delle sezioni litostratigrafiche; 5) limiti della conoide antica (I); 6) limiti della conoide recente (II); 7) limiti della conoide attuale (III); 8) ubicazione e numero d'ordine dei pozzi delle tabelle 1 e 2; M = pozzo di Marzaglia.

Figura 2 Planimetria della conoide del fiume Secchia (fonte "La conoide del fiume Secchia, modalità di alimentazione e rapporti col fiume", CNR IRSA 1980)

Dal margine collinare reggiano-modenese il corso d'acqua incide formazioni costituite prevalentemente da terreni argillosi e marnoso-arenacei, appartenenti ai complessi delle unità liguri -epiliguri ed ai depositi Pliocenici-Quaternari marini, che caratterizzano il margine padano.

Il complesso dei sedimenti di conoide che la costituiscono aumenta di spessore a partire dalla zona apicale fino a raggiungere alcune centinaia di metri nella zona distale, dove si verifica un significativo cambio di pendenza, che ha permesso l'accumulo dei depositi alluvionali quaternari.

La parte apicale è prevalentemente costituita da banchi ghiaiosi separati da orizzonti limo-argillosi, non molto potenti; queste ghiaie mostrano una parziale cementazione, favorita dalla presenza di sabbie talvolta impastate con limi e argille.

L’assetto attuale del territorio in esame deriva da una complessa azione tettonica che ha dato origine all’Appennino settentrionale.

Per meglio comprendere la paleogeografia che ha dato origine a ciò che oggi osserviamo, è necessario ricostruire, secondo modelli ormai universalmente accreditati, l'ambiente e l'evoluzione che esso ha subito dal Giurassico ad oggi.

L'ambiente oceanico nel quale si è formata l'Unità Ligure è rappresentato dalla parte occidentale dell’Oceano, presente nell'era Mesozoica, conosciuto in letteratura come "Tetide", situato fra la placca africana e la placca euroasiatica; l'ambiente continentale nel quale si è formata l'Unità Umbro - Toscana è costituita dalla parte marginale della Tetide, caratterizzata appunto da crosta continentale.

A loro volta, queste grandi Unità vengono convenzionalmente suddivise in "domini": le Liguridi si suddividono in "Liguridi Interne" e "Liguridi Esterne", mentre l'Unità Umbro-Toscana comprende un "Dominio Toscano" (caratterizzato in Provincia di Reggio dalla Successione di Monte Modino) e un "Dominio Umbro" (affiorante nella finestra tettonica della Successione di Gova).

Queste suddivisioni si rendono necessarie per giustificare la diversa origine delle rocce affioranti nell'Appennino Settentrionale, per capire i rapporti fra le varie formazioni e per comprendere i meccanismi orogenetici che hanno portato all'evoluzione della catena montuosa.

Le spinte dovute alla convergenza fra placca africana e la placca euroasiatica, in un processo durato diversi milioni di anni, hanno portato alla "distruzione" della crosta oceanica della Tetide per subduzione ed alla sovrapposizione delle suddette Unità tettoniche così come le possiamo osservare attualmente.

La struttura dell'Appennino Settentrionale appare sotto forma di una sovrapposizione o "impilamento" tettonico di rocce appartenenti a domini paleogeografici differenti, per effetto dell'interazione geodinamica tra la placca euroasiatica e la placca africana, avvenuta a partire dal Cretacico Superiore (circa 80 milioni di anni fa) e tuttora in corso.

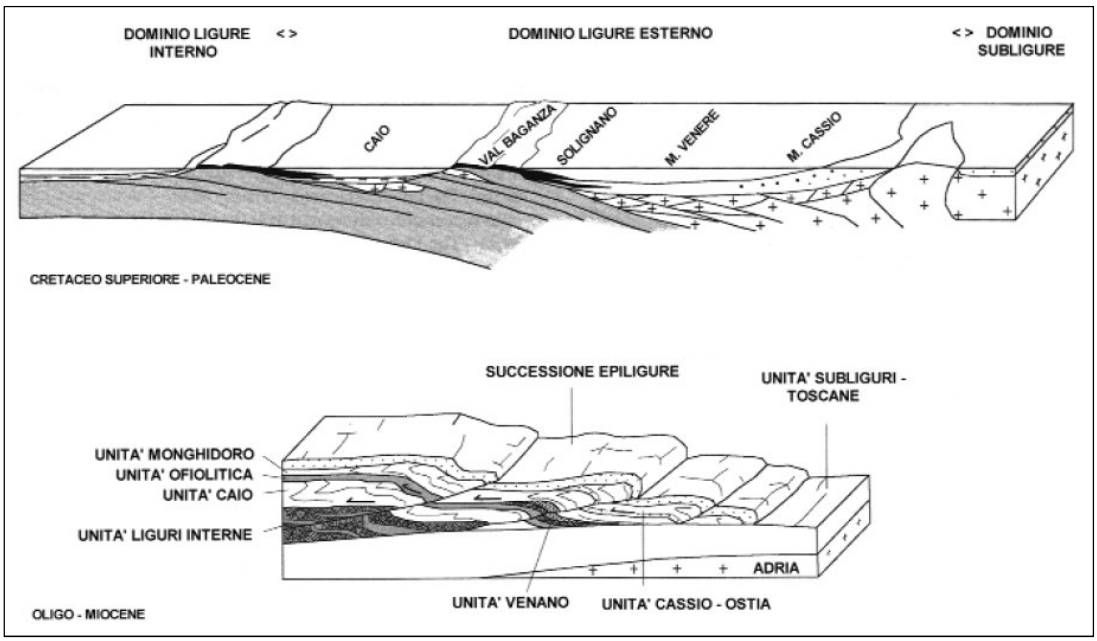


Figura 3 Ricostruzione paleogeografica del dominio ligure esterno e assetto strutturale generale delle liguridi esterne nella trasversale dell’appennino reggiano-modenese (Daniele e Plesi, 2000)

Secondo uno schema ben consolidato, la sovrapposizione delle unità tettoniche di cui sopra, ha comportato l'impilamento delle unità più interne del bacino oceanico (Liguridi) sulle unità più esterne (Umbro-Toscane) determinando caratteristiche di forte alloctonia per le prime e di conseguenti minori traslazioni per le seconde, fino ad una sostanziale autoctonia per le unità più esterne come ad esempio la Formazione Marnoso-Arenacea.

In pratica, nel corso dei processi tettonici sopra detti, si è venuta a creare una catena a falde di ricoprimento vergente verso NE e quindi con una distribuzione delle unità tettoniche secondo direzioni parallele alla dorsale principale. Tale assetto strutturale è evidente in sezione naturale lungo le incisioni vallive dei principali corsi d'acqua appenninici (T. Enza, T. Crostolo, F. Secchia, F. Tiepido), che attraversano ortogonalmente le diverse Unità tettoniche.

I rapporti di sovrapposizione stratigrafica originaria tra la Successione epiligure e le Liguridi generalmente non sono preservati a causa di una intensa tettonica disgiuntiva neogenico-quaternaria.

In sinistra del Secchia, nella zona pedecollinare, la Successione epiligure affiorante e parte delle unità liguri ad essa sottostanti, sono coinvolte in una struttura plicativa ad asse E-W di importanza regionale, noto in letteratura come "linea Canossa-San Romano", che devia fino ad assumere un andamento anti-appenninico.

La "linea Canossa-San Romano", che delimita a sud la così detta "struttura di Viano", è formata da un fascio di faglie la cui cinematica sembra avere giocato un ruolo principalmente al fronte di accavallamento lungo il quale si sarebbero poi avuti anche movimenti "tardivi" di tipo distensivo (Gasperi et al., 2008). L'elemento tettonico delimitato da faglie costituito essenzialmente dalla Formazione di Antognola, costituirebbe, secondo l'interpretazione data in letteratura, una scaglia tettonica coinvolta nel sistema strutturale della Canossa-San Romano.

Più a nord, nella fascia collinare, affiorano quasi con continuità i terreni messiniani superiori, pliocenici e quaternari marini appartenenti alle successioni neogeniche del margine interno dell'avanfossa appenninico-padana, deposti sul fronte della coltre ligure e successivamente inglobati nella catena; essi si presentano strutturati in sinclinali ed in anticlinali più o meno asimmetriche o in flessure con asse a direzione appenninica.

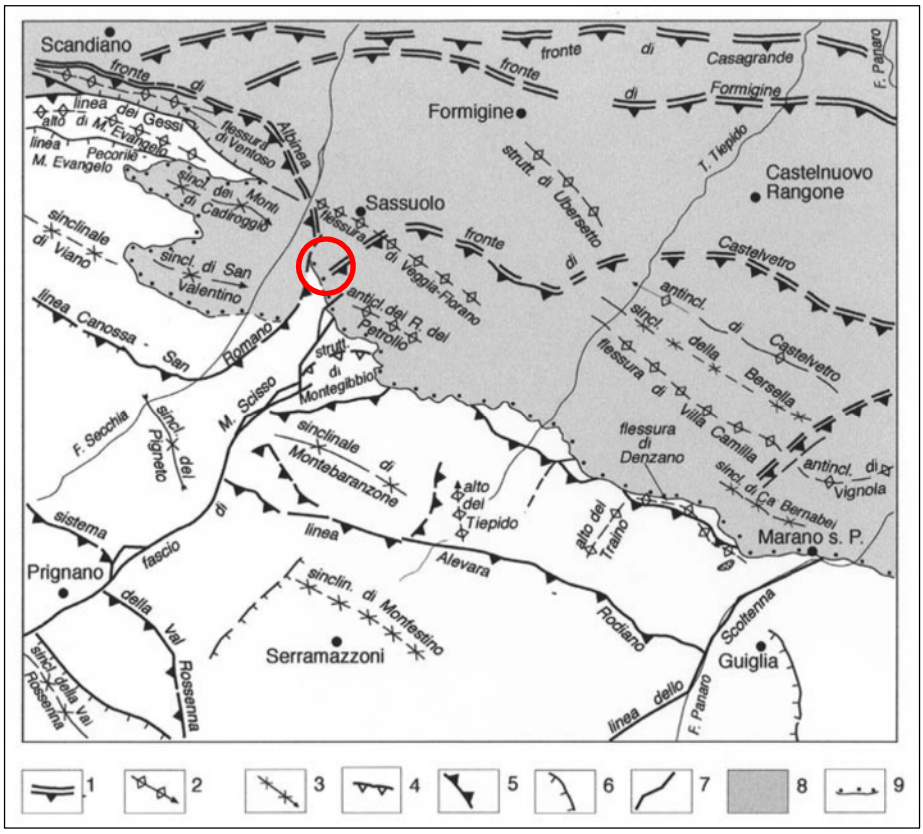


Figura 4 Schema tettonico del Foglio 219 Sassuolo – Carta Geologica 1:50.000 - Progetto CARG, con indicazione delle principali strutture. Legenda: 1) Fronti dei principali accavallamenti padani sepolti (da Rossi et alii, in stampa); 2) assi di anticlinale; 3) assi di sinclinale; 4) struttura monoclinale (i triangolini indicano l'immersione); 5) faglie inverse; 6) faglie dirette; 7) faglie subverticali, trascorrenti o a cinematica incerta; 8) depositi della Successione Neogenica Quaternaria; 9) contatto stratigrafico discordante

Per quanto riguarda i depositi quaternari continentali pleistocenici superiori, il loro assetto strutturale è probabilmente condizionato dall'attività più recente del cosiddetto "Lineamento Frontale Appenninico", una complessa struttura costituita da una serie di superfici di thrust o faglie inverse embricate che sono presenti, al di sotto delle coperture pleistoceniche ed oloceniche, in corrispondenza del limite geografico tra l'Appennino e la pianura. La separazione tra catena in sollevamento e pianura subsidente ha determinato significative differenze di spessore nei depositi tardo pleistocenici, peraltro anche apparentemente coinvolti in strutture plicative molto blande in corrispondenza dell'alta pianura.

Nell'area in esame (Figura 5), come riportato nello stralcio cartografico sottostante tratto dalla Carta Geologica dell'Emilia-Romagna, le coperture quaternarie sono attribuibili ai depositi alluvionali appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (Pleistocene medio – Olocene), in particolare, al Subsintema di Ravenna (AES8a), affiorante lungo i piani golenali.

L'approfondimento del fondo alveo ha portato in affioramento, nell'area a monte e a subito a valle della traversa esistente, del substrato roccioso, costituito dalla successione stratigrafica che va dalla più recente formazione di Ranzano delle Unità Epiliguri, al Flysch di Monte Cassio delle Unità Liguri.

In particolare, all'altezza dell'area d'intervento, si ha il contatto stratigrafico tra le Argille di Viano, depositi pelagici di ambiente marino profondo, con le Marne di Monte Piano.

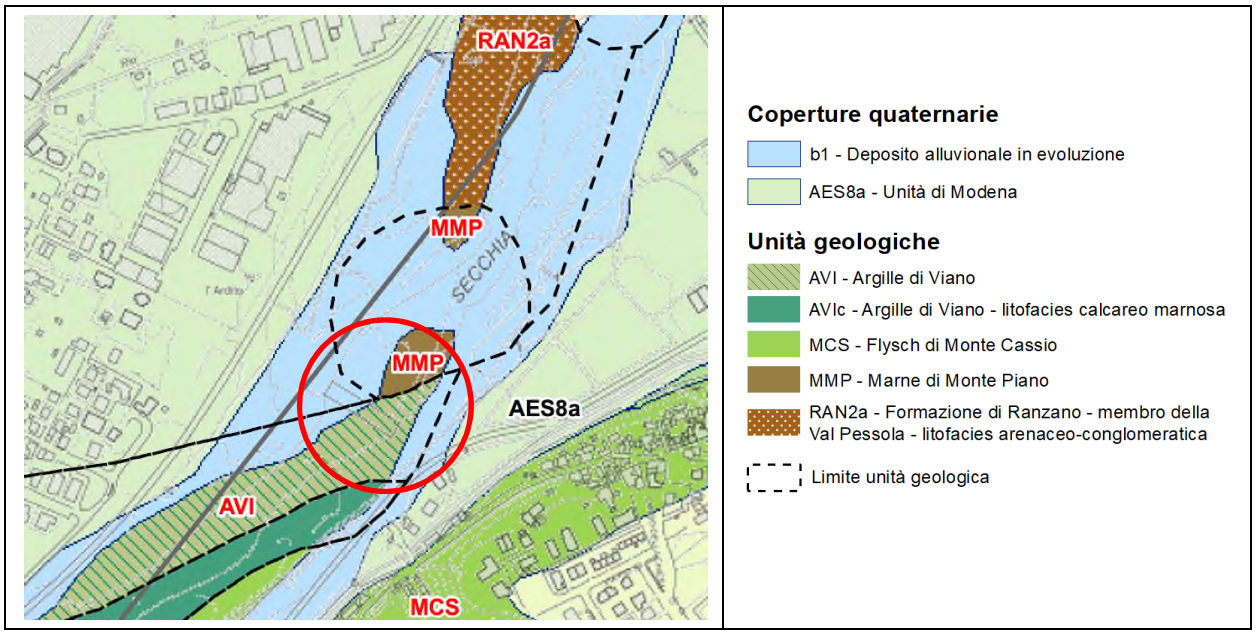


Figura 5 Stralcio della Carta Geologica della Regione Emilia Romagna 1:10.000, rielaborata.

Coperture quaternarie:

<u>Depositi alluvionali in evoluzione (b1)</u>

Ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie (b1), fissati da vegetazione (b1a).

Olocene

<u>Subsintema di Ravenna (AES8a)</u>

La sedimentazione dell'unità si sviluppa estesamente in condizioni di piana inondabile e rappresenta l'intero spessore dei sedimenti, prevalentemente fini, deposti nell'ultimo postglaciale. La litologia prevalente è limosa-argillosa, espressione dei sub-ambienti di argine e di piana inondabile. Depositi

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

Al tetto del subsintema è stata distinta una unità (unità di Modena, **AES8a**) qui definita sulla base della presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione con profilo minore di 100 cm. Esso, non decarbonatato. I terrazzi più antichi del terzo, quarto ordine (ad es. il terrazzo dove sorge l'abitato di San Michele dei Mucchietti) si trovano a quote di alcune decine di metri rispetto l'attuale corso del Secchia e non sono pertanto più raggiungibili dalle acque. Una parte del terrazzo del secondo ordine (unità AES8a) è stata, a valle della traversa di Castellarano, recentemente rimaneggiata per un ampio tratto in seguito ai lavori resisi necessari per la realizzazione delle opere di difesa della viabilità stradale in seguito al crollo nel 2003 della briglia di San Michele dei Mucchietti.

Pleistocene Superiore - Olocene

Unità geologiche

Formazione di Ranzano (RAN2a)

Il membro della Val Pessola (RAN2) è costituito da litoareniti feldspatiche con presenza caratteristica di serpentiniti massive, in strati da medi a molto spesso tabulari, grigi, con subordinati strati conglomeratici a matrice sabbiosa in strati da spessi a molto spessi, tabulari e lenticolari.

Localmente son presenti sottili intervalli pelitici grigi e verdastri. In posizione spesso basale è stata distinta la litofacies arenaceo-conglomeratica (RAN2a) formata da banchi arenacei a grana grossolana e conglomeratici con caratteristici nuclei globulari od orizzonti stratiformi maggiormente cementati (cogoli).

Rupeliano inferiore

Marne di Monte Piano (MMP)

Questa unità litostratigrafica, definita per la prima volta da PIERI (1961), affiora, a causa del suo modesto spessore, in strette e continue fasce nella sinclinale di Viano. Si tratta infatti di argille marnose e marne argillose prevalentemente rosse, rosate, grigio chiare e, subordinatamente, di color verdastro o verde chiaro, peliti nocciola, grigie e rosate ove eccezionalmente (a causa della quasi nulla alterazione superficiale) è ancora abbastanza facilmente riconoscibile l'originaria stratificazione delle Marne di Monte Piano.

L'affioramento è ubicato a pochi metri dal contatto stratigrafico discontinuo con le soprastanti arenarie e conglomerati della Formazione di Ranzano.

Luteziano sino al Priaboniano

Argille d Viano (AVI)

Gli affioramenti meglio esposti sono osservabili nell'alveo del F. Secchia a monte della traversa di San Michele dei Mucchietti. Litologicamente la formazione è costituita da argille prevalenti, spesso siltose, in strati generalmente sottili, di colore grigio-scuro, grigio verde o rossastro, cui si intercalano sottili strati arenacei a grana fine, grigiastri. Sono presenti sporadiche intercalazioni di strati marnosi da medi a spessi in tutto simili a quelli costituenti il Flysch di Monte Cassio (AVIc), di calcisiltiti con patine giallastre ed ocracee, di calcari manganesiferi. affiorante in destra idrografica del fiume Secchia a circa 300 m a valle

della traversa di Castellarano. Costituiscono i depositi pelagici di ambiente marino profondo che seguono stratigraficamente il Flysch di Monte Cassio ed al quale passano in modo graduale e sfumato attraverso la riduzione progressiva dello spessore delle torbiditi marnose.

Paleocene-Eocene medio

Flysch di Monte Cassio (MCS)

Si tratta di un tipico Flysch a Elmintoidi, costituito dalla ripetizione ritmica di strati torbiditici calcareo-marnosi da medi a molto spessi, tabulari. La porzione basale arenitica degli strati, generalmente a grana fine, passa a marne di colore grigio-chiaro con patine ocracee, quest'ultime seguite a volte da un sottile livello di argille nerastre emipelagiche. A questi strati torbiditici calcareo- marnosi si intercalano pacchi di strati da sottili a spessi di torbiditi arenaceopelitiche, di colore grigiastro, marrone se alterati.

La componente pelitica dell'unità tende ad aumentare all'approssimarsi del passaggio stratigrafico per alternanza con le sovrastanti Argille di Viano.

La traversa di Castellarano di monte è probabilmente fondata interamente su questa formazione.

L'unità presenta nell'area dell'alveo fluviale una giacitura degli strati da molto inclinata a sub verticale, con la locale presenza di complicazioni strutturali evidenziata da pieghe alla scala mesoscopica.

A carico degli strati più competenti si osservano frequenti fratture coniugate (joint da taglio spesso accompagnati da striatura e altri indicatori cinematici di movimento) e vene mineralizzate subortogonali alle superfici di strato. Tali strutture tettoniche conferiscono all'unità una pseudoporosità secondaria la cui efficacia tuttavia è per gran parte inficiata dagli strati argillosi o pelitico-marnosi che tendono ad impedire la circolazione di fluidi. L'assetto quasi verticali sul fondo alveo a valle della traversa di Castellarano, espone maggiormente l'unità all'azione erosiva del corso d'acqua.

Campaniano sup.-Maastrichtiano sup. .

2.2 Geomorfologia

L'analisi geomorfologica ha preso in esame l'evoluzione degli ultimi 20 anni del corso d'acqua in cui sono avvenute modificazioni significative dell'assetto plano-altimetrico del corso d'acqua, in relazione agli interventi antropici di stabilizzazione del profilo longitudinale di fondo alveo, in questa porzione di corso d'acqua.

L'alveo del fiume Secchia, nell'area d'intervento, si presenta monocursale rettilineo per un tratto di circa 1 km, interessando i territori comunali di Castellarano (RE) in sinistra idrografica, e di Sassuolo (MO), in destra idrografica, per poi proseguire a valle di San Michele dei Mucchietti, incassato nel substrato roccioso, con andamento debolmente sinuoso.

L'assetto attuale del corso d'acqua è fortemente influenzato dalla presenza della traversa di monte di Castellarano e di valle di San Michele dei Mucchietti, realizzata nel 2012 a seguito del crollo nel 2003, della briglia esistente.

Il crollo del 2003 della briglia di San Michele dei Mucchietti ha provocato l'innesco di un'erosione retrogressiva del fondo alveo, con un approfondimento del canale inciso fino al substrato roccioso.

L'erosione fluviale ha infatti determinato l'asportazione dell'originario deposito alluvionale ghiaioso con venuta a giorno del substrato roccioso, dato dalla Formazione del Flysch di Monte Cassio, delle Marne di Monte Piano e dell'Argille di Viano all'altezza della traversa di Castellarano, e dalla Formazione di Ranzano, a valle della traversa di San Michele.

A valle della briglia crollata nel 2003, il corso d'acqua ha inciso in maniera selettiva le arenarie della Formazione di Ranzano della Successione epiligure (Oligocene inferiore), che qui affiora al fondo dell'alveo e nella parte inferiore delle sue sponde, mentre il materiale superficiale a diverso grado di cementazione

ha generato forme geologiche caratteristiche per morfoselezione connessa al diverso grado di cementazione dei litotipi.

Figura 6 Tratto inciso nelle arenarie della Formazione di Ranzano a valle della briglia di San Michele dei Mucchietti

La variazione altimetrica del tratto compreso tra la traversa di Castellarano e quella di San Michele dei Mucchietti è stata significativa, con un approfondimento negli ultimi 15 anni di circa 10 m del fondo alveo, in parte ripristinato a seguito della realizzazione della nuova traversa di San Michele dei Mucchietti.

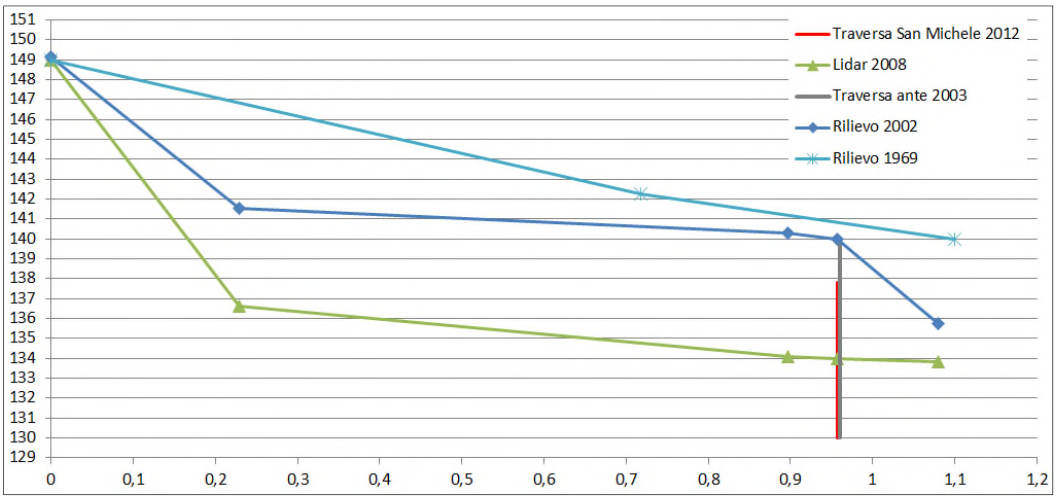


Figura 7 Confronto profili longitudinali anno 1969, 2002, 2008 e quota nuova traversa 2012

A seguito del crollo della briglia del 2003 è stata realizzata subito a monte una nuova traversa nel 2012, al fine di stabilizzare il profilo di fondo del corso d'acqua, con realizzazione in sinistra idrografica dell'opera di presa di una centralina idroelettrica. La nuova quota di coronamento è stata fissata a 137,80 m rispetto alla precedente quota di 140 m della briglia danneggiata, con un effetto di parziale recupero delle quote di fondo verso monte.

In concomitanza con la nuova traversa di San Michele è stato eseguito un intervento di consolidamento al piede mediante la realizzazione di una paratia a pali secanti con profondità fino a 8 m, crollata successivamente a seguito di un evento di piena gravoso.

Figura 8 Scalzamento al piede della briglia di San Michele dei Mucchietti e crollo della paratia di consolidamento eseguita

Nell'estate del 2018 il Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale ha realizzato un intervento di manutenzione straordinaria tra la nuova traversa e la paratia di valle della vecchia briglia riprofilando le quote di fondo alveo.

Figura 9 Intervento lungo la paratia di valle a fine estate 2018

Allo stato attuale dei luoghi si segnalano le seguenti criticità:

- dinamica morfologica elevata con significativa variazione del profilo altimetrico del fondo alveo e instabilità con possibili inneschi di fenomeni di erosione retrogressiva verso monte e principio di scalzamento delle opere trasversali esistenti;
- fenomeni di erosione di sponda intensa con maggior interessamento della sponda destra; incisione del substrato roccioso con scalzamento al piede della scarpata del terrazzo superiore a valle della briglia, dove si ha un restringimento progressivo della sezione dell'alveo attivo e un abbassamento del fondo alveo, con effetti idraulici di rigurgito verso monte durante gli eventi di piena a maggior intensità;
- ammaloramento del rivestimento in massi cementati della vasca di dissipazione di valle della traversa realizzata nel 2012 (Figura 10).

Figura 10 Nuova traversa di San Michele dei Mucchietti; segni di ammaloramento del rivestimento della vasca di dissipazione di valle

Sulla base delle criticità segnalate è necessario intervenire nella stabilizzazione a valle della briglia crollata nel 2003, attraverso la realizzazione di una paratia di consolidamento e di una adeguata vasca di dissipazione.

2.3 Idrogeologia

L'assetto litostratigrafico presente in profondità, desunto dal rilievo geologico eseguito, dalle indagini geognostiche compiute, vede la sovrapposizione dei depositi alluvionali in precedenza citati ad una successione sedimentaria complessa nel seguito descritta.

Il substrato è costituito dai sedimenti che hanno riempito il bacino "perisuturale" padano a partire dal Pliocene inferiore (4 milioni di anni fa). In questo lasso di tempo il passaggio da un tipo di sedimentazione marina a quella continentale (come l'attuale) è avvenuto in modo discontinuo e intermittente a causa delle continue variazioni del livello relativo del mare dovute a fenomeni combinati di natura tettonica e meteo-climatica. Il pacco di sedimenti, se analizzato in sezione, vede la sovrapposizione ciclica di corpi sedimentari composti da granulometrie fini alla base e sempre più grossolane verso l'alto, generati in un ambiente che da marino passava gradualmente a continentale, riconoscibili a differenti scale di grandezza.

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

Lo spessore di questi di questi corpi, sede delle principali falde acquifere, intercalati da altri meno permeabili, tendono ad assottigliarsi allontanandosi dal margine collinare (alla quale si aggiunge una diminuzione della granulometria), suddividendosi in più corpi fino scomparire, dove si verifica il fenomeno di risalita delle acque di falda lungo la linea dei fontanili all'altezza dell'alta pianura modenese.

Le condizioni idrauliche risultano miste: in prossimità delle aste fluviali e in diversi tratti del settore pedemontano la falda risulta libera, per passare poi ad artesiana nel settore centrale della pianura. Ciò si verifica in quanto lo spessore dei depositi ghiaiosi in vicinanza dei corsi d'acqua è rilevante.

In particolare, i depositi alluvionali in evoluzione dell'area d'intervento contengono una falda superficiale di subalveo che progressivamente si disperde verso valle a prevalente circolazione da sud in direzione N-NE. Sono caratterizzati da livelli di ghiaie o sabbie presenti in corpi tabulari passanti sottocorrente a corpi

isolati, alternati a prevalenti depositi fini. Presentano una scarsa circolazione idrica, con rapporto idrico da fiume a falda localizzato nelle parti superficiali non connesse con le sottostanti.

Qui il substrato marino, che affiora a pochi metri dal piano campagna, è costituito da argille e argille limose e sabbiose da compatte a molto compatte a scarsa permeabilità, e confina l'acquifero superficiale.

Dal punto di vista idrogeologico è possibile affermare che il sottosuolo, vista la sua natura stratificata in cui risultano dominanti in superficie livelli estremamente impermeabili (limi ed argille), risulta caratterizzato dalla presenza di una falda libera superficiale a alta trasmissività soggetta a consistenti fluttuazioni di livello legate al regime delle precipitazioni e dal livello delle acque nei corsi d'acqua del reticolo principale e secondario e di una falda compartimentata in pressione a profondità normalmente superiori ai 25 metri di profondità.

I livelli piezometrici misurati nel corso delle indagini geognostiche, realizzate nel periodo di Febbraio 2019, variano da 0,5 a 2,4 m dal p.c. nel sondaggio 2 e 3, probabilmente legati alla falda di subalveo. A conferma di ciò nel sondaggio S1, posizionato sul terrazzo superiore in golena sinistra, non è stata rilevata la presenza della falda nei primi 25 metri di profondità.

3 Indagini geognostiche e geofisiche

La campagna di indagini geognostiche e geofisiche è stata condotta dalla ditta Subsoil nei mesi di Gennaio e Febbraio 2019.

In particolare, sono stati eseguiti:

- n.° 3 sondaggi a carotaggio continuo verticali, con prove in foro tipo Standard Penetration Test (SPT);
- n.° 1 stendimento sismico tipo MASW;
- n.° 1 indagine sismica tipo HVSR;
- n.° 2 stendimenti di tipo geoelettrico.

A seguito delle condizioni del livello idrometrico del corso d'acqua e dell'impedimento all'accesso diretto in alveo, l'ubicazione delle prove è stata modificata rispetto al piano di indagini inziale e rappresentata nella seguente Figura 11. Si rimanda per i dettagli sulle modalità di esecuzione e dei certificati di prova al verbale lavori redatto dalla ditta Subsoil, allegato al presente documento.

Figura 11 Ubicazione delle indagini geognostiche e geofisiche (in giallo i sondaggi a carotaggio continuo, in arancio la MASW, in viola la HVSR, in rosso e verde le linee geoelettriche

3.1 Sondaggi

I tre sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti lungo le verticali fino a 25 m di profondità dal p.c., utilizzando carotieri semplici di diametro esterno di 101 mm e lunghezza 150 cm. dotate di corone in Widia visto la natura litologica dei terreni attraversati (prevalentemente argille e limi).

La perforazione è stata condotta a secco, senza l'ausilio di fluidi di perforazione, garantendo una percentuale di recupero pari al 100% in modo tale da consentire una sicura e dettagliata ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.

Le carote di terreno recuperate sono state alloggiate in apposite cassette catalogatrici in plastica nella posizione corrispondente alla profondità di carotaggio ed evitando rimescolamenti del materiale al fine di ricostruire in dettaglio la successione litostratigrafica dei terreni.

Sono state eseguite all'interno delle verticali di sondaggio delle prove di Standard Penetration Test (Norme ASTM D 1586-84) a punta chiusa, al fine di determinare le caratteristiche di resistenza e compressibilità dei materiali incoerenti "in situ". Nella seguenti tabelle riassuntive sono riportate le profondità e i risultati dei numeri ci colpi SPT.

Tab. 1 Prove in foro SPT

Sondaggio	Prova	Quota inizio da p.c. (m)	N1	N2	N3	N_{spt}
S1	SPT1	3,00	50/rif	-	-	-
	SPT2	6,00	22	25	30	55
	SPT3	9,00	50/rif	-	-	-
	SPT4	12,00	33	40	41	81
	SPT5	15,00	29	47	50/rif	-
	SPT6	18,00	40	50/rif	-	-
	SPT7	21,00	31	36	41	77
	SPT8	24,00	40	38	50/rif	-
	SPT9	24,90	35	43	50/rif	-

Sondaggio	Prova	Quota inizio da p.c. (m)	N1	N2	N3	N_{spt}
S2	SPT1	1,50	22	30	32	62
	SPT2	3,00	30	50/rif	-	-
	SPT3	4,50	40	50/rif	-	-
	SPT4	6,00	34	40	50/rif	-
	SPT5	7,50	28	36	50/rif	-
	SPT6	9,10	28	45	50/rif	
	SPT7	10,50	45	50/rif	-	-
	SPT8	12,30	38	40	42	82
	SPT9	13,50	39	50/rif	-	-
	SPT10	15,0	27	36	47	83
	SPT11	16,50	23	33	40	73
	SPT12	18,00	39	50/rif	-	-
	SPT13	19,50	30	38	50/rif	-
	SPT14	21,20	28	32	46	78
	SPT15	22,70	40	49	50/rif	-
	SPT16	24,30	35	40	50/rif	-

Sondaggio	Prova	Quota inizio da p.c. (m)	N1	N2	N3	N_{spt}
	SPT17	24,90	22	29	37	66-

Sondaggio	Prova	Quota inizio da p.c. (m)	N1	N2	N3	N_{spt}
S3	SPT1	3,00	24	32	40	72
	SPT2	6,00	38	50/rif	-	-
	SPT3	8,00	32	50/rif	-	-
	SPT4	9,00	46	50/rif	-	-
	SPT5	12,10	36	40	50/rif	-
	SPT6	15,00	50/rif	-	-	-
	SPT7	18,00	42	50/rif	-	-
	SPT8	21,00	30	48	50/rif	-
	SPT9	24,00	32	50/rif	-	-
	SPT10	25,00	43	48	50/rif	-

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo non è stato possibile prelevare dei campioni indisturbati di terreno per l'esecuzione di prove di laboratorio finalizzate alla terminazione delle proprietà geotecniche e geomeccaniche a causa dell'elevata consistenza dei terreni attraversati, anche sostituendo il tipo di carotiere.

3.2 Indagini geofisiche e geoelettriche

Ad integrazione delle indagini geognostiche sono state eseguite indagini geofisiche di tipo MASW e HVSR per la caratterizzazione delle V_{s30} e due linee geoelettriche per la misura della resistività dei terreni.

3.3 MASW

Per determinare la rigidezza media dei terreni da indagare e la classificazione ai sensi delle NTC 2018, è stata condotta un'indagine sismica secondo la metodologia 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).

Questa indagine è stata condotta per raggiungere i seguenti obiettivi:

- ricostruire la geometria delle unità litotecniche (definire gli spessori delle principali coperture e delle principali unità litotecniche);
- caratterizzare con la velocità delle onde S, le unità litologico-tecniche;
- definire la tipologia di substrato ai sensi delle NTC 2018.

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 avvalora 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.

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali (PASI 16SG12) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4,5 Hz, con passo di campionamento di 0,25 ms. con durata acquisizione di 1 sec.

L'energizzazione è stata effettuata con una massa battente (martello) da 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 e per ottenere l'inversione della curva di dispersione.

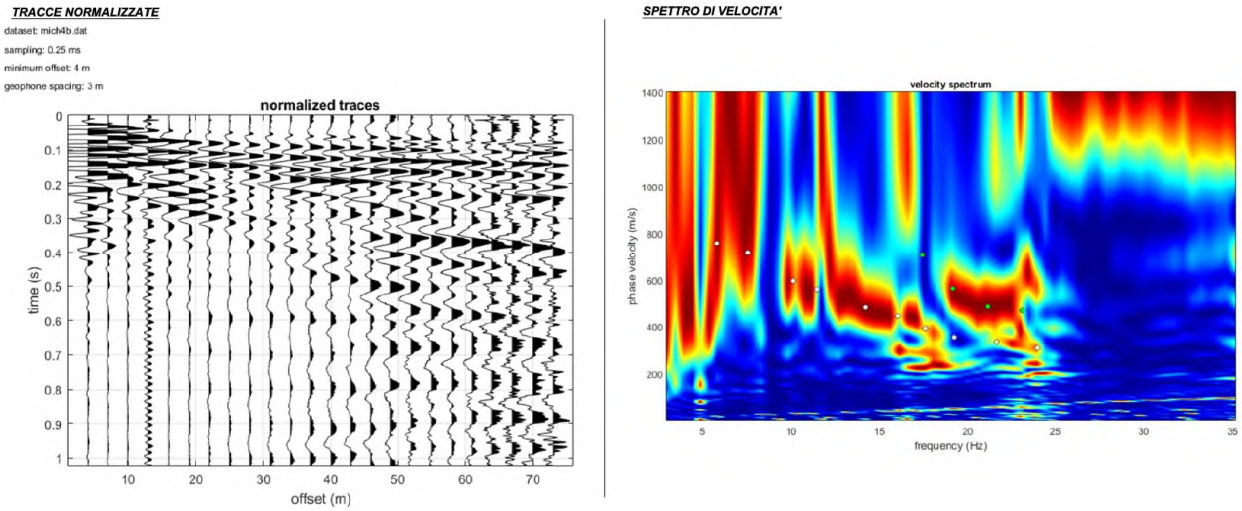


Figura 12 Tracce normalizzate e spettro delle velocità

Nella seguente figura sono riportati i risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi di dati MASW e la stima delle V_{s30}.

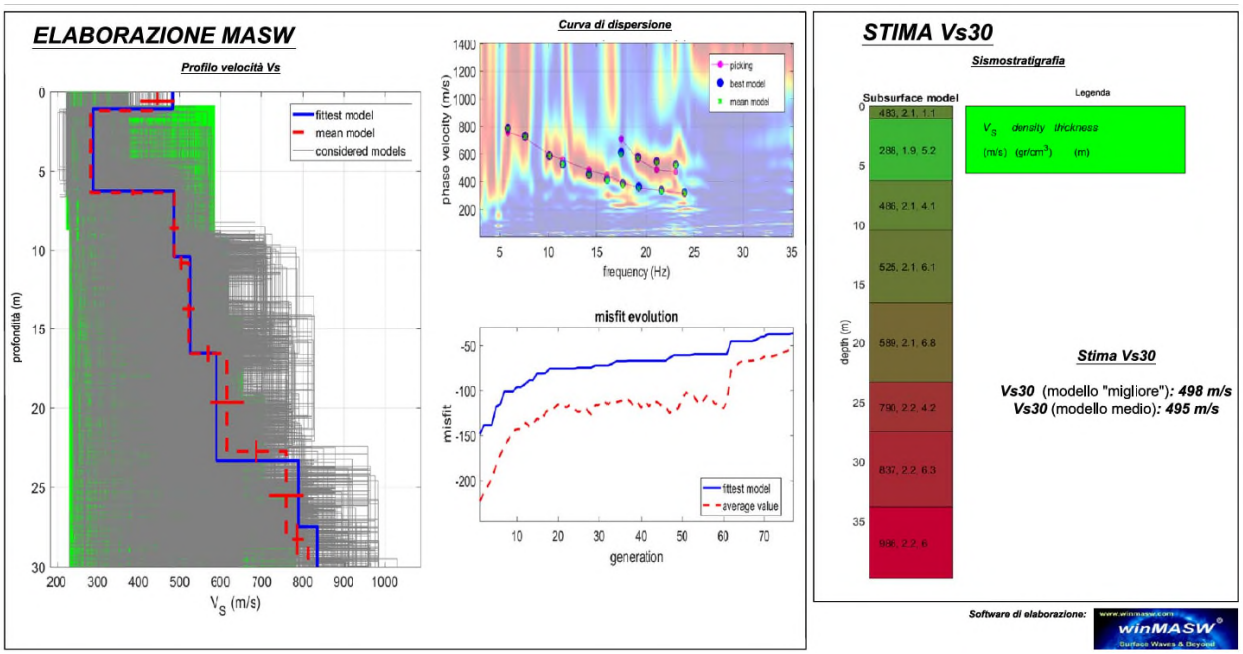


Figura 13 Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi di dati MASW in cui si rappresenta il profilo verticale Vs identificato

Dall'esame dei grafici sotto riportati si può rilevare che il valore della V_{s30} calcolato è di **495 m/s** (considerando come riferimento il piano campagna).

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018) il sito in esame rientra quindi nella **categoria di sottosuolo B,** corrispondente a *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s"*.

3.4 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.

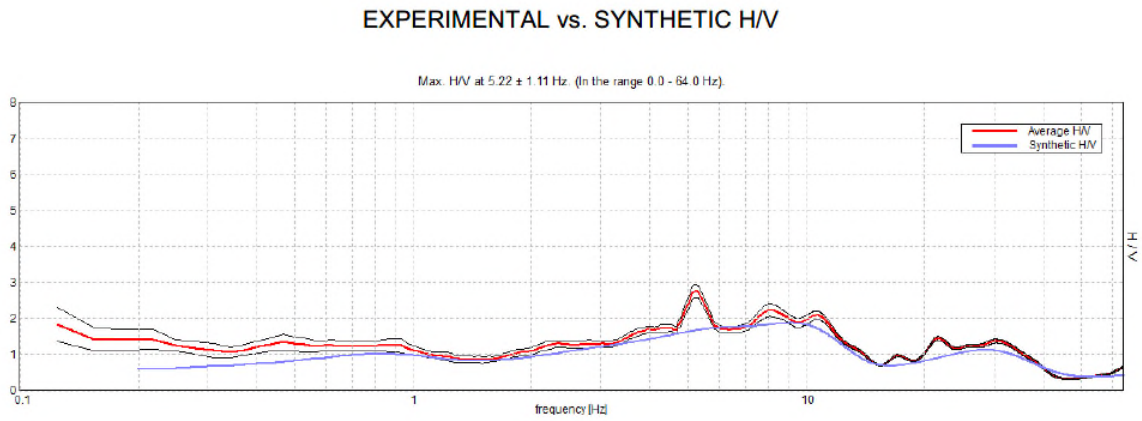
Questa tipologia è definita come metodo sismico passivo in quanto non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna visto che utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

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 si 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 (Horizzontal 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 tromografo "TROMINO 3G+" prodotto da MOHO Srl 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.



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.55	1.55	180	0.45
8.05	6.50	295	0.42
28.05	20.00	510	0.40
78.05	50.00	670	0.40
228.05	150.00	780	0.40
inf.	inf.	990	0.38

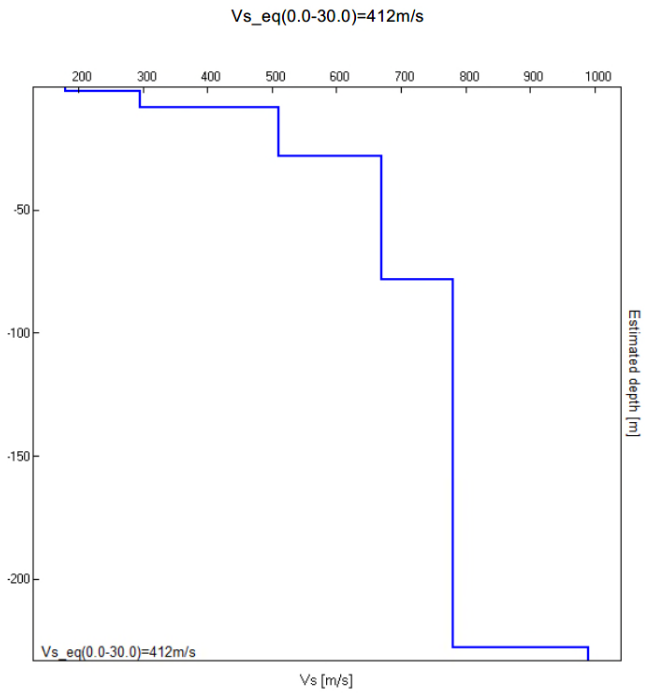


Figura 14 Frequenze caratteristiche in sito H/V e ricostruzione delle Vs30

La ricostruzione delle V_{s30} = **412m/s** fa ricadere il terreno di fondazione nella **categoria di sottosuolo B** delle NTC 2018.

3.5 Indagini geoelettriche

La strumentazione impiegata per l'esecuzione dei profili E.R.T. (Electrical Resistivity Tomography) è composta da una centralina PASI modello 16SG24 combinato per effettuare anche acquisizioni sismiche ed energizzatore PASI P-300T.

Il metodo geoelettrico consiste in una determinazione sperimentale della distribuzione di resistività nel sottosuolo effettuando delle misure dalla superficie. Le misure di resistività vengono effettuate iniettando una corrente elettrica nel terreno mediante una coppia di elettrodi (generalmente indicati con A e B) e sulla misura dei potenziali elettrici attraverso una seconda coppia di elettrodi, generalmente indicati come M ed N. Dall'intensità della corrente (I) e della tensione (V) è possibile calcolare il valore della resistività apparente.

È stato scelto di misurare la resistività apparente secondo lo stendimento Wenner -Schlumberger che consiste nella combinazione degli stendimenti Wenner e Schlumberger. L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il programma RES2DINVx64 ver. 4.05.

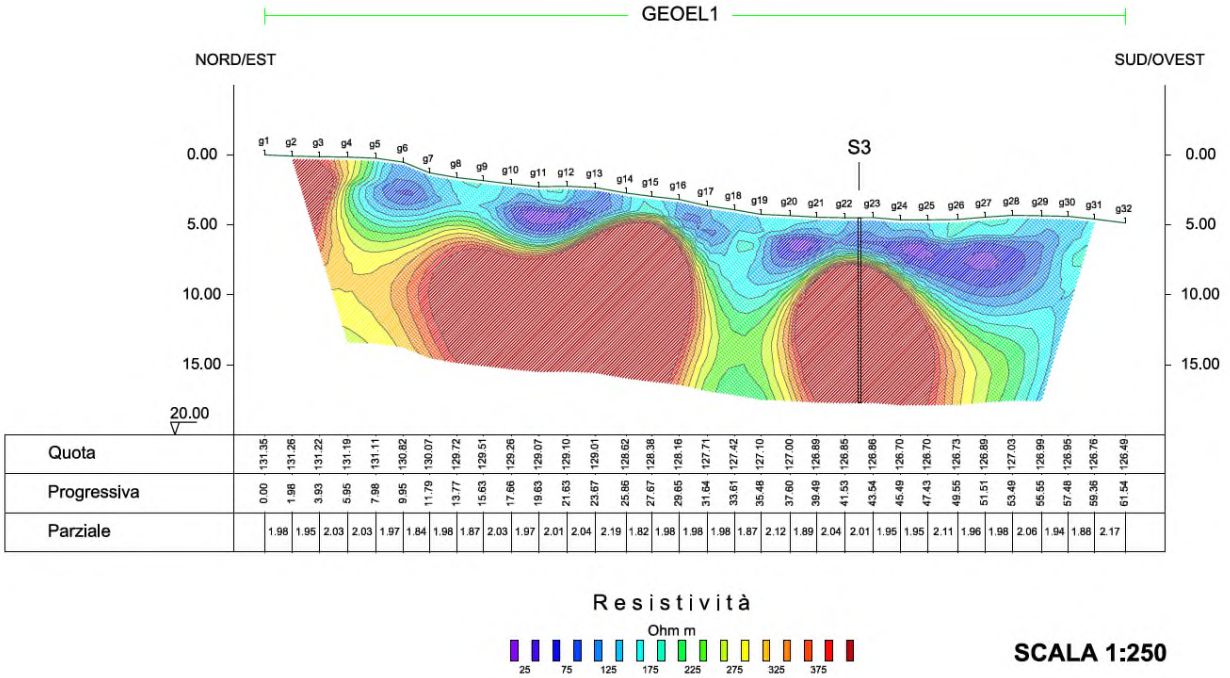


Figura 15 Profilo geoelettrico "GEOEL1"

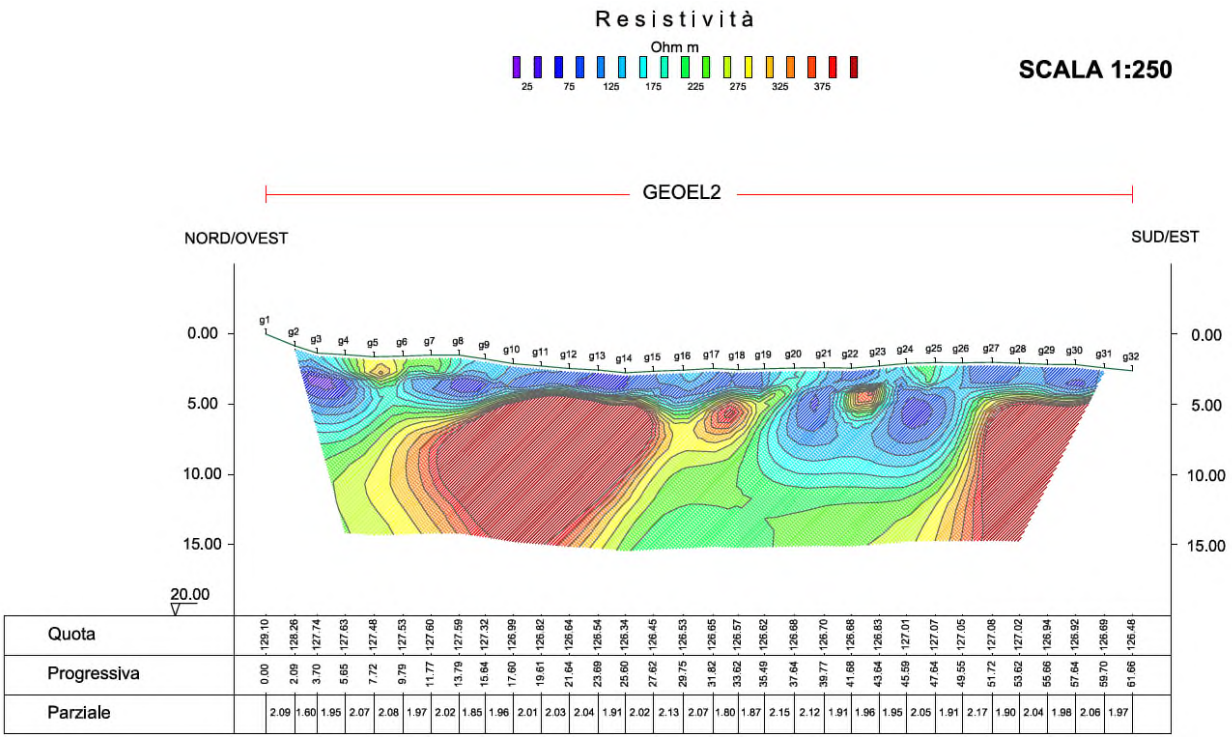


Figura 16 Profilo geoelettrico "GEOEL2"

I risultati dei profili geoelettrici trovano riscontro nei sondaggi stratigrafici eseguiti, evidenziando un primo orizzonte a bassa resistività costituito dai depositi alluvionali del fondo alveo del fiume Secchia e in profondità dal substrato argilloso e argilloso-limoso ad alta resistività e di media ed elevata consistenza.

L'ubicazione degli stendimenti e i risultati ottenuti dall'elaborazione sono riportati in dettaglio nell'allegato alla presente relazione.

3.6 Modello geologico

Secondo la definizione delle NTC 2018 (6.2.1) "*Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento*".

Nel contesto in esame assumono rilevanza, ai fini della definizione del modello, essenzialmente i caratteri stratigrafici del terreno in quanto i processi geomorfologici e più in generale i pericoli ad esso connessi non trovano sviluppo.

Sulla base pertanto delle informazioni stratigrafiche rilevate nel corso della realizzazione della campagna di indagine, sono state ricostruite 2 sezioni geologiche, una trasversale e una longitudinale al corso d'acqua, rappresentate nella tavola "0777_05-04-003N-00_ProfiloGeologico", allegata al presente progetto e di cui si riporta uno stralcio in Figura 17.

Il modello evidenzia come il sottosuolo si presenti differenziato in vari orizzonti di seguito descritti.

- **GLS**: depositi prevalentemente ghiaiosi in matrice limosa-sabbiosa che caratterizzano il terrazzo superiore del fiume Secchia. Dal piano campagna presentano uno spessore medio di circa 2,8 m.

- **LA**: limo argilloso, umido, di colore marrone con variegature grigie/azzurre, con a tratti presenza di clasti e trovanti. L'orizzonte si estende in sinistra idrografica da circa 2,8 m a 4,6 m dal p.c.
- **LA_S**: limo debolmente argilloso, a tratti debolmente sabbioso (fine), umido, di colore marrone chiaro, con variegature grigio azzurre Presenza di rari clasti e tracce di ossidazione color ocra e calcinelli;
- **GS**: terreno di riporto e depositi alluvionali attuali costituiti da ghiaie in matrice prevalentemente sabbiosa grossolana, con presenza di trovanti. Lo spessore medio varia da circa 0,5 a 1,5 m dal piano campagna;
- **AL**: argilla limosa di colore grigio con variegature marrone-rosse, da consistente a molto consistente, a volte dura, con presenza di clasti argillitici in profondità; l'orizzonte si estende fino a quota di fine sondaggi;
- **A**: argilla marrone molto consistente, presente nell'orizzonte **AL** con spessore dal metro a circa quattro metri a scarsa continuità laterale.

Per quanto riguarda l'assetto piezometrico, deve essere evidenziato che nell'area sono presenti due falde distinte. La falda superficiale individuata e misurata nel corso dei sondaggi S2 e S3 con soggiacenza da 0,5 a 2,4 m dal p.c., risulta a pelo libero in diretto collegamento con i livelli idrometrici dell'alveo del fiume Secchia. L'acquifero in esame è soggetto pertanto a ricarica diretta, in conseguenza di eventi meteo prolungati o in seguito a nevicate consistenti e può ricaricarsi rapidamente a causa del substrato impermeabile sottostante. La seconda falda, non rilevata nei sondaggi, con ogni probabilità è da riferire all'acquifero profondo, compartimentato in pressione tra gli orizzonti a scarsa permeabilità prevalentemente limosi e argillosi.

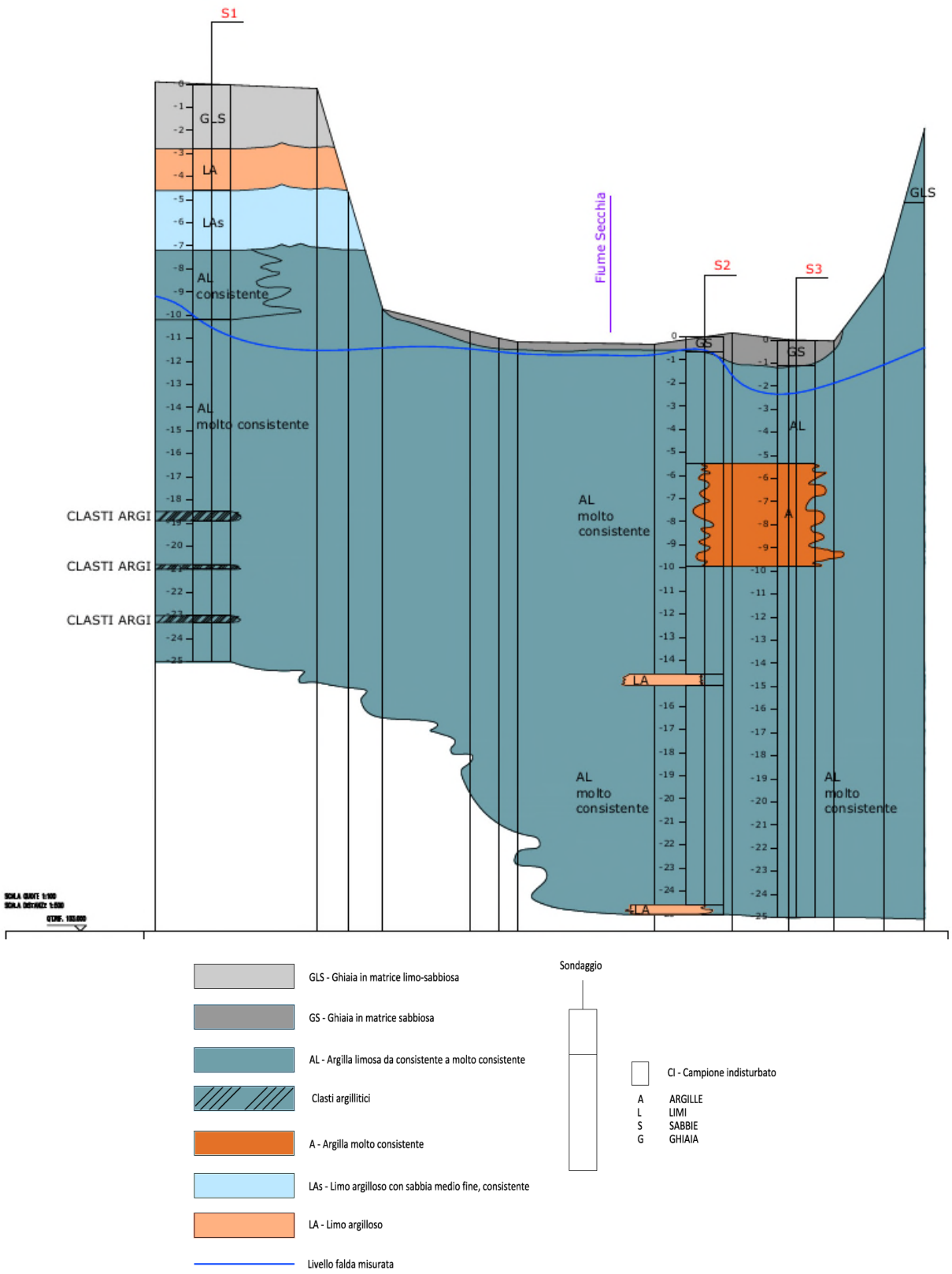


Figura 17 Modello geologico locale dell'area d'intervento (sezione trasversale al corso d'acqua)

3.7 Modello geotecnico

Sulla base della caratterizzazione litostratigrafia derivata dai sondaggi eseguiti e sull'elaborazione dei dati delle prove SPT in foro precedentemente descritte, è stato ricostruito il modello geotecnico schematico del sottosuolo investigato, definendo per ogni unità geotecnica il range di valori dei principali parametri geotecnici mediante correlazioni di formule e dati di letteratura, a causa dell'impossibilità, durante le indagini geognostiche, di prelevare campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio.

UGR – Ghiaia in matrice limo-sabbiosa e sabbiosa

Peso di volume γ= 19-21 kN/m^3
Angolo di attrito ϕ= 32°- 35°
Modulo di Young E= 25 – 35 Mpa

UG1 - Limo argilloso di media consistenza

Peso di volume γ= 18,00 - 18,50 kN/m^3
Angolo di attrito interno efficace ϕ'= 25°- 27°
Coesione non drenata Cu= 35 - 50 kPa
Coesione efficace C' = 3,5 – 5 kN/m^2
Modulo edometrico M= 25 – 30 Mpa

UG2 - Argilla limosa da consistente a molto consistente

Peso di volume γ= 18,50 – 19,00 kN/m^3
Angolo di attrito interno efficace ϕ'= 24°- 26°
Coesione non drenata Cu= 50 – 70 kPa
Coesione efficace C' = 4 – 6 kN/m^2
Modulo edometrico M= 30 – 45 Mpa

UG3 - Argilla molto consistente

Peso di volume γ= 19,00 – 19,50 kN/m^3
Angolo di attrito interno efficace ϕ'= 23°- 25°
Coesione non drenata Cu= 90 – 120 kPa
Coesione efficace C' = 7,5 – 9 kN/m^2
Modulo edometrico M= 50 – 70 Mpa

Correlazioni: Peso di volume γ (Meyerhof), Angolo di attrito interno efficace ϕ' (Meyerhof), Coesione non drenata Cu (Terzaghi-Peck/ Schmertmann), Modulo edometrico M (Begemann)

4 Sismicità

4.1 Elementi di sismotettonica regionale

Nella Carta Sismotettonica pubblicata dalla Regione Emilia-Romagna (Figura 18) sono rappresentati gli elementi strutturali attivi di superficie e profondi sia in catena che in pianura, tenendo conto dei regimi di stress e, per quanto concerne i terremoti, la loro distribuzione ipocentrale secondo intervalli di profondità.

La rappresenta la sintesi degli elementi analizzati e permette di visualizzare l'assetto dell'area di studio con riferimento alla sismicità generale. Essa, oltre alla definizione della pericolosità sismica locale e all'individuazione di strutture potenzialmente sismogenetiche, offre anche un quadro delle relazioni fra attività tettonica attuale e i rischi naturali.

Gli elementi di maggiore interesse ai fini della rappresentazione del quadro delle sollecitazioni tettoniche che hanno agito nel corso degli ultimi 450.000 anni circa di storia geologica sul margine appenninico padano, sono dati dalle strutture sepolte e affioranti attive rappresentate.

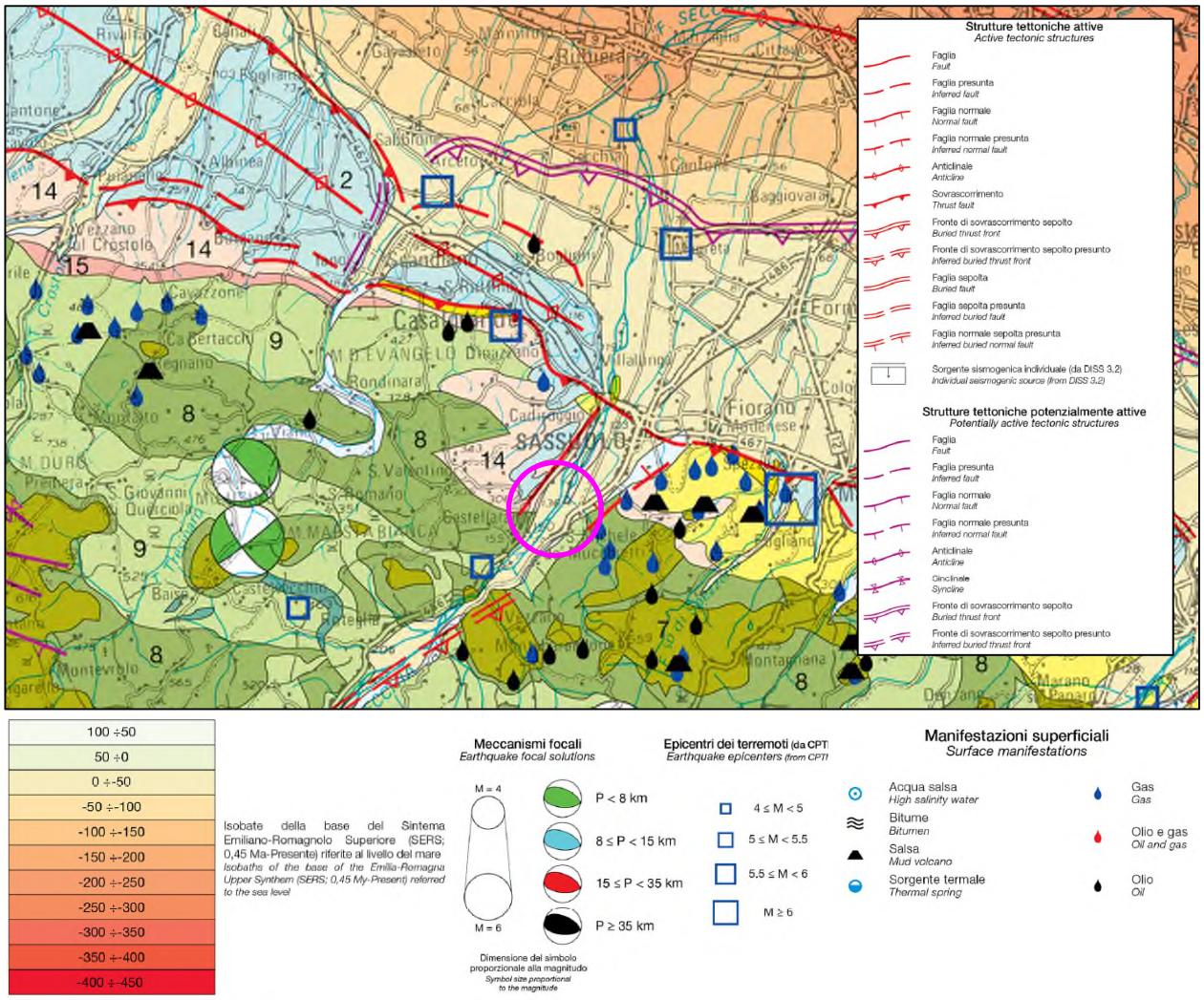


Figura 18 Stralcio della Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (2016); nel cerchio viola è evidenziata l'area d'interesse

Attraverso l'analisi dei dati sopra esposti, nell'ambito della realizzazione della Carta Sismotettonica, e grazie alle valutazioni fornite dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia (ARPAE),

sono stati individuati i settori soggetti a diversi tassi di abbassamento (attraverso curve isocinetiche che rappresentano la velocità di subsidenza media nel periodo dal 2006 al 2011), in conseguenza delle sollecitazioni tettoniche subite.

Risulta evidente che lungo la pianura padana (Figura 19) le più alte velocità di abbassamento si registrano nella zona del delta padano, dove è dell'ordine di 4 mm/a mentre rimane attorno ai 2 mm/s in ampie parti della pianura emiliano-romagnola. È da sottolineare che in corrispondenza di aree con tassi inferiori a 2 mm/a siano caratterizzate solamente da subsidenza naturale (movimenti tettonici, consolidamento terreni e deglaciazione) mentre per valori superiori è da considerare anche contribuiti di tipo antropico.

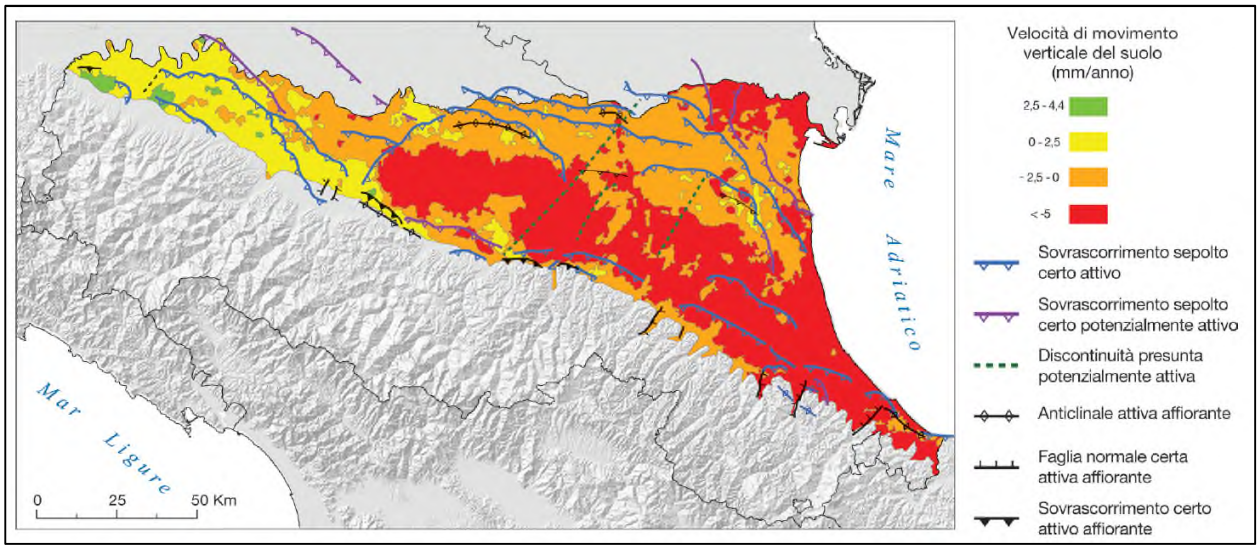


Figura 19 Mappa di confronto tra le velocità di movimento verticale del suolo (tra 2006 e 2011) e le principali strutture tettoniche attive riconosciute (tratta dalle Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna)

4.1.1. Sismicità storica dell'area d'intervento

La sismicità rappresenta uno strumento indispensabile per le analisi sismotettoniche e un utile supporto alla geologia strutturale, in quanto varie tipologie di dati sismici, ottenuti attraverso differenti metodologie, possono fornire indicazioni per l'identificazione e la caratterizzazione delle strutture geologicamente attive.

L'insieme delle informazioni disponibili sui terremoti avvenuti in passato, ottenute secondo metodi di analisi di tipo sia strumentale che non, consistono essenzialmente in registrazioni del moto del terreno dalle quali è possibile ricavare l'ipocentro (in termini di latitudine, longitudine, profondità e relative incertezze), così come la dimensione (in termini di magnitudo o momento sismico) e la tipologia del meccanismo del terremoto (in termini di parametri di faglia o di tensore momento). I dati strumentali sono integrati da informazioni sulla distribuzione spaziale degli effetti indotti dal terremoto sulle persone, sulle cose e sull'ambiente, dalle quali, attraverso la codifica di una scala macrosismica, è possibile ricavare la localizzazione, la magnitudo equivalente, le dimensioni fisiche ed anche l'orientazione della struttura sismogenetica.

Le informazioni riguardanti gli eventi sismici avvenuti nell'area in esame sono state ricavate dall'ultima versione del Database Macrosismico Italiano chiamata "DBMI15" (http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15), rilasciata nel luglio 2016 la quale aggiorna e sostituisce la precedente DBMI11, e dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (http://iside.rm.ingv.it/).

Nella tabella sottostante è rappresentata la storia sismica della località di Castellarano (RE) con elencati i 27 terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio nelle vicinanze dell'area in esame.

Considerando i valori esposti in tabella si può notare come il terremoto più significativo, avvenuto nel 1904, con area epicentrale nel Reggiano, produsse effetti del 6° grado della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), la quale considera gli effetti distruttivi su persone e cose per misurare l'intensità del sisma.

Nella tabella il termine "Is" è riferito all'intensità al sito per ogni evento sismico e per ognuno di essi è indicata l'ora, il giorno, l'area e l'intensità macrosismica epicentrale, e la magnitudo del momento sismico (MMS – Moment Magnitude Scale). Quest'ultima è stata sviluppata come aggiornamento della scala Richter.

Tab. 2 Storia sismica locale

Storia sismica di	**Castellarano (RE)**				
Numero di eventi 27					
Effetti Is (MCS)	**Data**	**Area epicentrale**	**Punti di osservazione macrosismiche**	**Intensità macrosismica epicentrale**	**Magnitudo momento Mw**
3	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	6	5,01
F	1892 05 17 03 08 15.00	Carpineti	28	5	4,28
3	1895 05 12 20 29	Reggiano	13	4-5	3,98
NF	1897 09 06 03 10 44.00	Valdarno inferiore	104	5-6	4,59
NF	1899 06 26 23 17 22.00	Valle del Bisenzio	138	7	5,02
6	1904 02 25 18 47 50.00	Reggiano	62	6	4,81
3	1932 04 19 00 17	Modenese	9	4	3,63
3	1953 08 22 05 26	Reggiano	6	6	4,73
NF	1956 04 26 03 00 03.00	Appennino bolognese	89	6	4,74
4	1957 08 27 11 54	Appennino modenese	58	5	4,73
NF	1965 11 09 15 35	Appennino reggiano	32	5	4,17
5	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	228	8	5,51
4	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
NF	1992 04 17 11 59 07.29	Appennino bolognese	56	4-5	4,11
NF	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	341	7	4,82
NF	1995 12 31 21 29 47.60	Appennino reggiano	96	4-5	4,51
5-6	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
NF	1996 12 16 09 09 53.08	Pianura emiliana	115	5-6	4,06
NF	1997 05 12 22 13 52.50	Pianura emiliana	56	4-5	3,68
NF	1998 02 21 02 21 13.30	Pianura emiliana	104	5	3,93

Storia sismica di Castellarano (RE) Numero di eventi 27					
Effetti Is (MCS)	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
2-3	2000 06 18 07 42 07.68	Pianura emiliana	304	5-6	4,4
NF	2000 10 03 01 12 36.56	Frignano	62	5	4,22
3	2002 06 18 22 23 38.10	Frignano	186	4	4,3
NF	2002 06 19 22 11 15.57	Frignano	52	3	4,03
3-4	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5,36

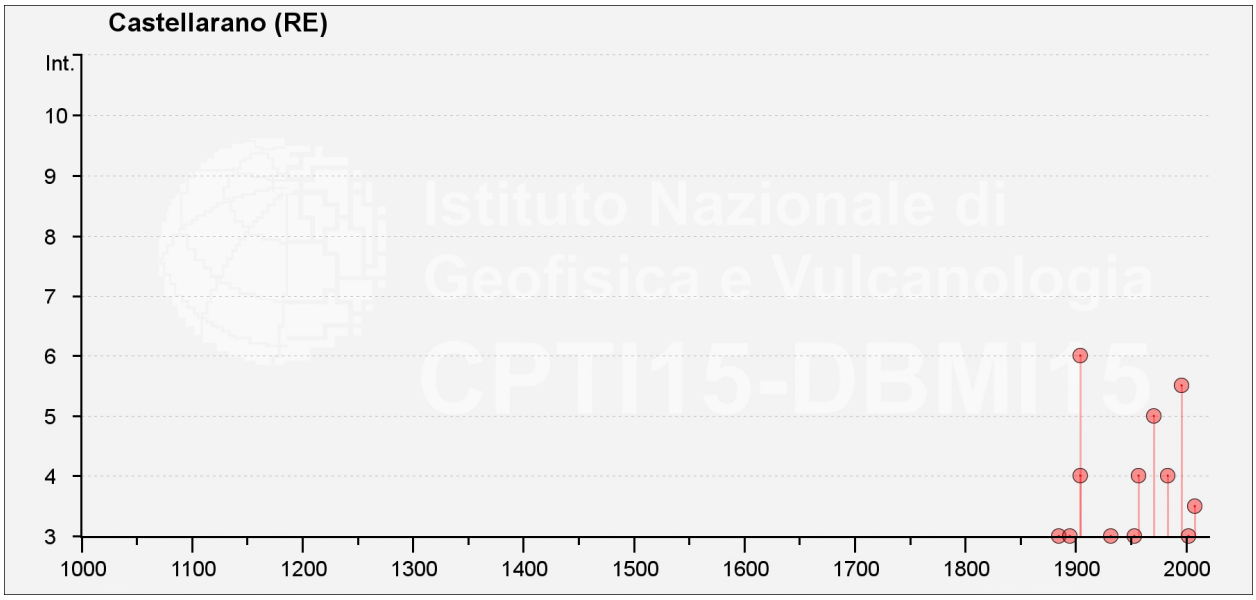


Figura 20 Rappresentazione degli eventi sismici significativi avvenuti in località Castellarano (RE) negli anni compresi tra 1000 e il 2008 (fonte: DBMI15)

4.1.2. Sorgenti sismogenetiche

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia ha diffuso, nell'ambito del Progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), fornisce le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale. La Figura 21 mostra le aree sismogenetiche riferite alla versione più aggiornata del database DISS 3.2.0 "A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas" del 2015 (http://diss.rm.ingv.it/diss/).

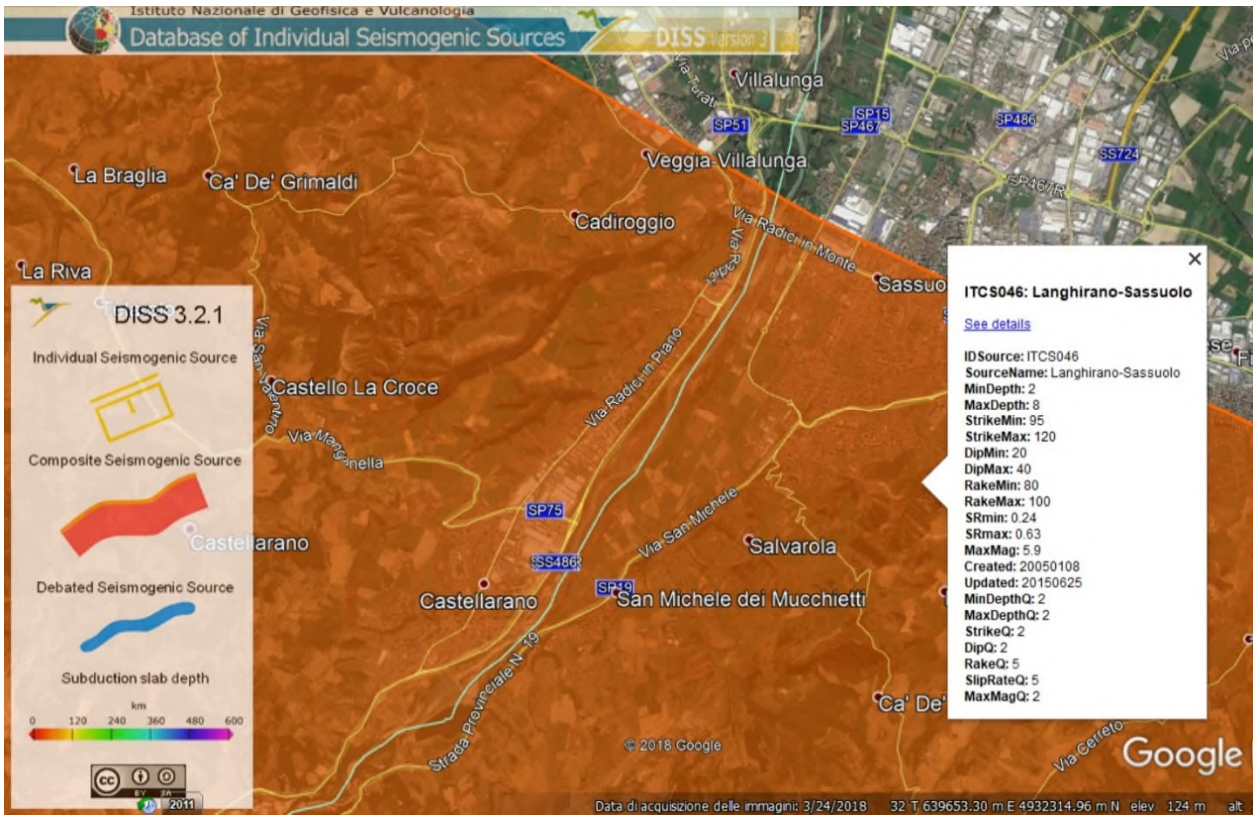


Figura 21 Database zone sismogenetiche INGV (DISS3.2): rappresentazione cartografica della CSS (Composite Seismogenic Source) (Google Earth)

L'area oggetto di studio ricade all'interno nella sorgente sismogenetica composita (CSS) classificata come "ITCS046: Langhirano-Sassuolo" a partire dalla quale possono svilupparsi sismi di magnitudo pari a 5,9 (scala Richter). La geometria del thrust è compresa tra i 2 e i 8 Km dalla superficie.

La sorgente sismogenetica composita è essenzialmente una struttura identificata sulla base dell'analisi di dati geologici di superficie e sotterranei, ed in particolare sulla base dell'identificazione delle tracce e delle caratteristiche delle faglie attive. La lunghezza della rottura attesa in conseguenza del terremoto, tuttavia, è scarsamente definibile in quanto, normalmente, le sorgenti sismogenetiche composite derivano da un numero imprecisato di singole fonti vicine tra loro ma sostanzialmente discontinue. Ad una CSS non è possibile attribuire una specifica dimensione del terremoto atteso per il futuro, ma il loro potenziale sismico è stimato dai cataloghi terremoto esistenti.

Da un punto di vista geometrico la CSS rappresenta la proiezione sulla superficie terrestre della superficie di faglia (Figura 21).

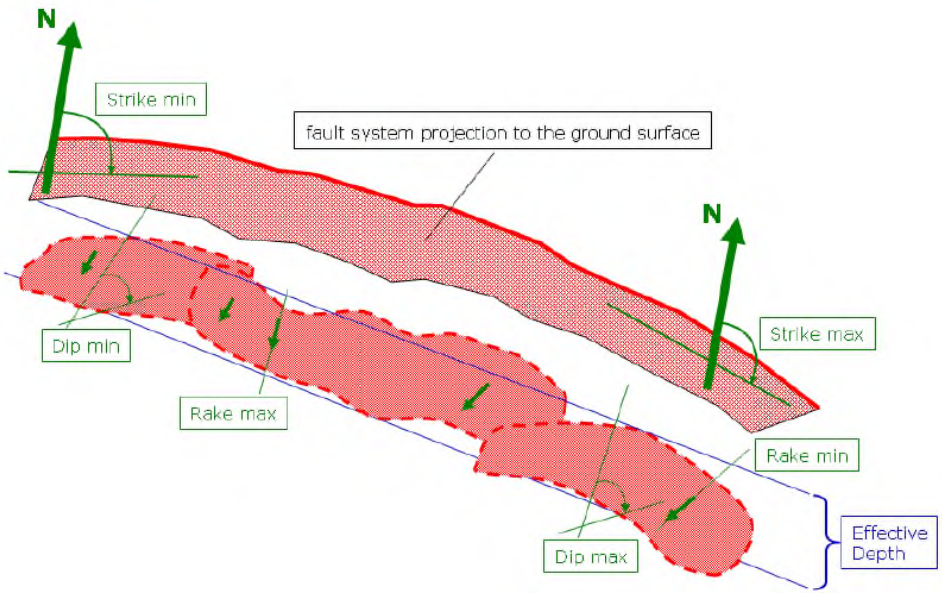


Figura 22 Schema geometrico di una sorgente sismogenetica composita (CSS)

4.1.3. Zonazione sismogenetica

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha realizzato una zonazione sismogenetica (ZS9) del territorio nazionale per soddisfare diversi requisiti, ed in particolare per recepire le conoscenze più recenti sulla tettonica attiva della penisola e sulla distribuzione delle sorgenti sismogenetiche, fornire per ogni zona una stima della profondità efficace dei terremoti (ovvero l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti) e un meccanismo di fagliazione prevalente attraverso l'analisi cinematica di eventi geologici importanti che interessano la crosta superficiale e anche strutture profonde (INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004).

La ZS9 rappresenta la più recente zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale ed è stata elaborata tenendo in considerazione i principali riferimenti informativi sui terremoti: progetto DISS e il Database Macrosismico Italiano (DBMI15) che contiene i dati di intensità utilizzati per la compilazione dei parametri del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani rilasciato nel 2015 (CPTI15, Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15).

Il territorio italiano è suddiviso in 36 aree differenti numerate da 901 a 936 cui vanno aggiunte 6 zone non utilizzate in quanto non contribuiscono alla pericolosità del territorio italiano o hanno un numero di eventi interno molto basso. Si possono distinguere le seguenti porzioni:

- Arco alpino: 901 ÷ 910
- Appennino settentrionale e centrale: 911 ÷ 923
- Appennino meridionale e avampaese apulo: 924 ÷ 928 e 931
- Calabria: 929 – 930
- Sicilia: 932 ÷ 936

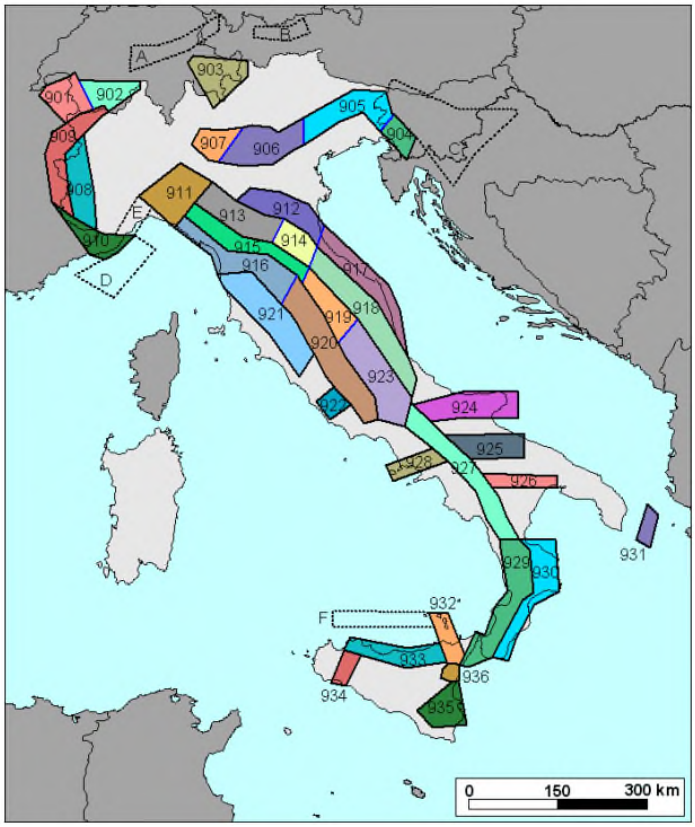


Figura 23 Schema Zonazione sismogenetica ZS9. I limiti blu separano zone con analogo significato cinematico ma diverse caratteristiche sismiche (fonte: INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004)

L'area in esame ricade all'interno della zona 913 nel settore dell'Appennino settentrionale. Questa zona rappresenta la porzione della fascia di compressione dell'arco appenninico settentrionale. Si estende lungo l'asse della catena appenninica ed è caratterizzata da un regime tettonico debolmente compressivo, infatti la sismicità dell'area dipende proprio dalla presenza di strutture compressive (thrust).

4.2 Azioni sismiche

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati dalle NTC 2018, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se (T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le NTC 2018 stabiliscono che le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g: accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g, F_o e T^*_c necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

L'area di studio indicativamente ubicata alle coordinate (ED50) Lat: 44,510746 ° Long: 10,741155 ° ricade pertanto all'interno del reticolo di riferimento tra i 4 vertici indicati nella Figura 24, per i quali le NTC definiscono i parametri necessari per definire l'azione sismica.

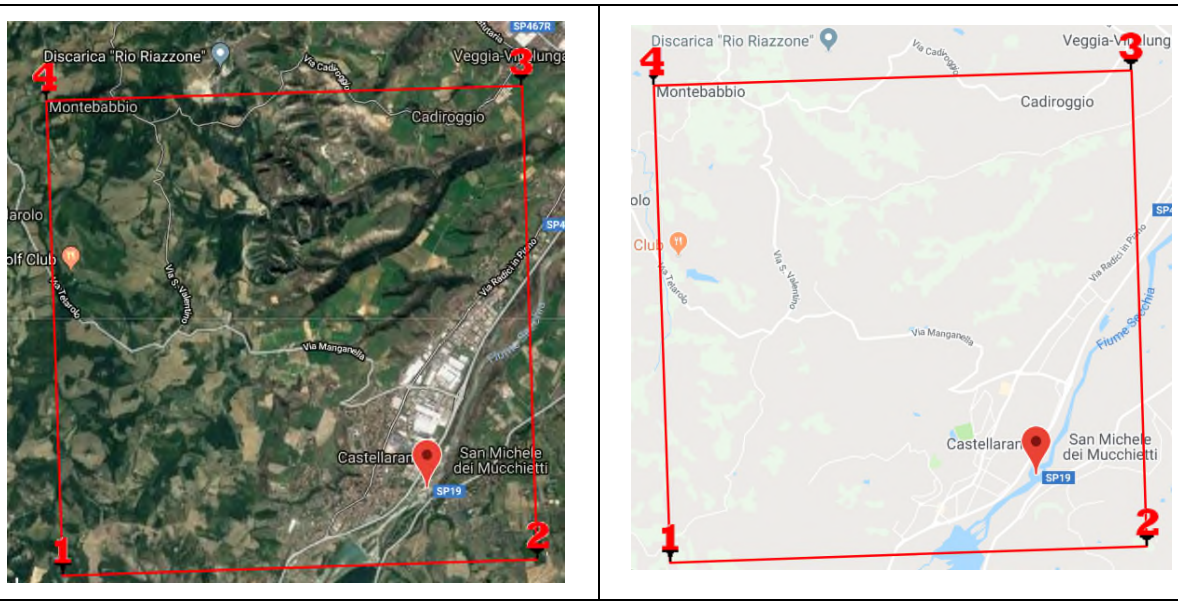


Figura 24 Reticolo di riferimento per la definizione dei parametri per l'azione sismica

Tab. 3 Siti di riferimento

	ID	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Distanza (m)
Sito 1	16721	44,501790	10,687230	4387,7
Sito 2	16722	44,503420	10,757270	1518,2
Sito 3	16500	44,553390	10,755000	4867,9
Sito 4	16499	44,551760	10,684890	6376,7

Secondo la classificazione sismica del DGR 1164 del 23/07/2018 i Comuni di Castellarano (RE) e Sassuolo (MO) ricadono in zona sismica 3. I valori di accelerazione massima orizzontale di riferimento di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (banca dati accelerometrica "European Strong Motion database – ISESD"), sono per Castellarano a_{refg}=0,162 e per Sassuolo a_{refg}=0,161. La seguente tabella riporta i parametri sismici relativi all'area in esame, così come definiti dalle NTC 2018:

Tab. 4 Parametri sismici

Stato limite	Probabilità Superamento (%)	Tr [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [s]
SLO	81	30	0,053	2,487	0,251
SLD	63	50	0,066	2,492	0,264
SLV	10	475	0,161	2,442	0,287
SLC	5	975	0,202	2,448	0,296

Per quanto riguarda la definizione dei coefficienti sismici sono state operate, a livello preliminare, le seguenti classificazioni tipologiche sia per quanto concerne l'opera in progetto, sia per quanto riguarda la stratigrafia del sito di intervento.

In primo luogo, è stata definita la classe prevalente delle opere da realizzare, facendo riferimento alla **II Classe**, così come definita dalle NTC 2018 (Tab. 5).

Tab. 5 Classe degli edifici secondo NTC2018

Classe	Descrizione
I.	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
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.
III.	Costruzioni il cui uso preveda 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.
IV.	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

È stata quindi definita la "Vita nominale" dell'opera, facendo riferimento al valore di **50 anni**, così come definito dalle NTC 2018 (Tab. 6).

Tab. 6 Vita nominale delle opere secondo le NTC 2018

Tipo opera	Vita Nominale
Opere provvisorie	<=10,
Opere ordinarie	>=50,
Grandi opere	>=100

Con riferimento ai criteri classificativi introdotti dalle NTC 2018, sulla base delle caratteristiche stratigrafiche individuate dalle indagini geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo) e dalle indagini geofisiche effettuate (MASW con Vs_{30} = 495 m/s e HVSR dove Vs_{30} = 412 m/s), la categoria di sottosuolo del sito in esame, ricade nella **Categoria di sottosuolo B** (Tab. 7).

Tab. 7 Categorie del sottosuolo secondo le NTC 2018

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
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.

Per quanto riguarda la definizione della categoria topografica dell'area in esame questa ricade nella categoria T1 in ragione della morfologia dell'area, così come definita dalle NTC 2018 (Tab. 8).

Tab. 8 Categorie topografiche secondo NTC2018

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

Sulla base delle classificazioni sopra riportate è stato possibile calcolare i coefficienti sismici che permetteranno di definire gli spettri di accelerazione sia orizzontali che verticali, così come definiti dalle relazioni riportate nel paragrafo 3.2.3.2 delle NTC.

La seguente tabella riporta i coefficienti sismici orizzontali, l'accelerazione massima attesa al sito e il coefficiente di riduzione dell'accelerazione stessa nei diversi stati limite, per paratie secondo le NTC 2018.

PARATIE
Coefficienti sismici per paratie
Altezza paratia (H): 13,0 m
Spostamento ammissibile: 0,02 m

Tab. 9 Coefficienti sismici orizzontali e accelerazione massima attesa

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
K_h	0,047	0,058	0,141	0,178
K_v	--	--	--	--
Amax [m/s²]	0,625	0,776	1,889	2,374
Beta	0,734	0,734	0,734	0,734

4.2.1. Spettro di risposta elastico

Sono stati definiti gli spettri relativi alle componenti orizzontale e verticale, con riferimento agli stati limite contemplati dalle NTC2018 ed in particolare:

SLE = Stati limite di esercizio

SLO = Stato limite di operatività

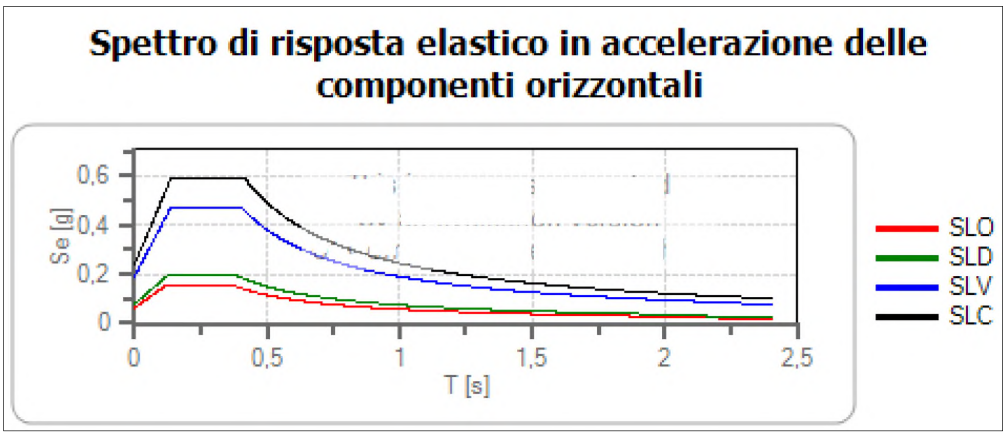
SLD = Stato limite di danno

SLU = Stati limite ultimi

SLV = Stato limite di salvaguardia della vita

SLC = Stato limite di prevenzione del collasso

I grafici riportati nelle seguenti figure rappresentano i valori di accelerazione spettrali attesi (Sd [g]) rispetto ad un di periodo di oscillazione di riferimento (T [s]). Nel corso della progettazione strutturale esecutiva degli interventi tali considerazioni dovranno essere verificate e puntualizzate in funzione delle caratteristiche strutturali e dimensionali delle opere.

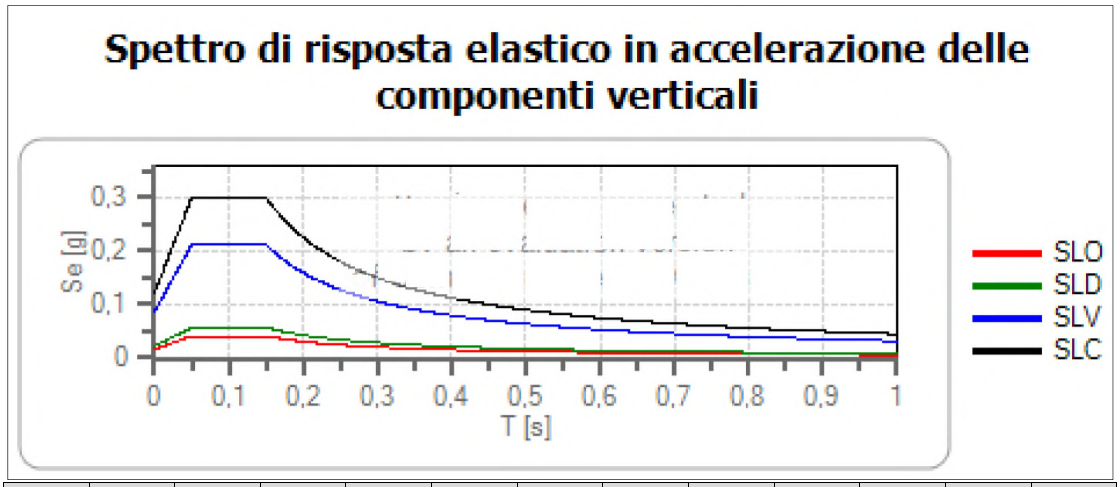


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,053	2,487	0,251	1,200	1,450	1,000	1,200	1,000	0,121	0,363	1,812
SLD	1	0,066	2,492	0,264	1,200	1,440	1,000	1,200	1,000	0,127	0,380	1,864
SLV	1	0,161	2,442	0,267	1,200	1,410	1,000	1,200	1,000	0,135	0,404	2,242
SLC	1	0,202	2,448	0,296	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,138	0,414	2,407

Figura 25 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ: 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico η=[10/(5+)ξ]^(1/2): 1



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,053	2,487	0,251	1,000	1,450	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,066	2,492	0,264	1,000	1,440	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,161	2,442	0,267	1,000	1,410	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,202	2,448	0,296	1,000	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Figura 26 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

5 Sintesi delle analisi e conclusioni

Lo studio condotto ha permesso di delineare i principali aspetti geologici, geomorfologici idrogeologici, geotecnici e sismici degli interventi di ripristino della briglia di San Michele dei Mucchietti, sul fiume Secchia.

Il quadro generale degli aspetti indagati è in sintesi riportato nei seguenti paragrafi.

Inquadramento geografico e amministrativo

L'intervento ricade lungo il fiume Secchia tra i Comuni di Castellarano (RE) e Sassuolo (MO), all'altezza dell'abitato di San Michele dei Mucchietti.

Geologia

L'area è caratterizzata dai depositi quaternari legati alla conoide del fiume Secchia e dall'affioramento del substrato costituito dalle Argille di Viano, dalle Marne di Monte Piano, dalla Formazione di Ranzano e in destra idrografica, a monte della traversa attuale, dagli affioramenti del Flysch di Monte Cassio.

Geomorfologia

L'assetto geomorfologico attuale è condizionato dall'evoluzione storica degli ultimi 20 anni del fiume Secchia, in cui sono avvenute modifiche significative dell'assetto plano-altimetrico del corso d'acqua, con un significativo abbassamento del fondo alveo (in alcuni tratti di oltre 10 m), che ha portato all'affioramento del substrato roccioso nel tratto da Castellarano a Sassuolo. Il canale attivo si presenta monocursale rettilineo condizionato dagli interventi antropici di stabilizzazione del profilo longitudinale di fondo, attraverso la realizzazione di briglie/traverse.

Idrogeologia

Il sottosuolo risulta caratterizzato dalla presenza di una falda libera superficiale ad alta trasmissività contenuta nei depositi alluvionali attuali, soggetta a consistenti fluttuazioni di livello legate al regime idrometrico del fiume Secchia e dalle precipitazioni meteoriche, e di una falda compartimentata in pressione a profondità superiori ai 25 metri.

Modello geologico

Sulla base delle informazioni stratigrafiche rilevate nel corso della realizzazione della campagna di indagini geognostiche è stato ricostruito il modello geologico. La successione litostratigrafica è costituita da un primo orizzonte di depositi alluvionali, caratterizzati da ghiaie in matrice prevalentemente sabbiosa grossolana, con presenza di trovanti. Lo spessore medio varia da circa 0,5 a 1,5 m dal piano campagna. Al di sotto dei depositi alluvionali si rinviene il substrato, fino alla profondità indagata, costituito da argilla limosa di colore grigio con variegature marrone-rosse, da consistente a molto consistente, a volte dura, con presenza, in profondità, di clasti argillitici e orizzonti prettamente argillosi molto consistenti.

Modello geotecnico

I terreni di fondazione ricadono nell'unità geotecnica individuata come UG2, costituita da argilla limosa che presenta gradi di consolidazione differente, da consistente a molto consistente, fino alla profondità indagata di 25 m dal piano campagna. I seguenti parametri geotecnici di riferimento sono derivati da correlazioni dalle indagini SPT in foro eseguite nei tre sondaggi a carotaggio continuo.

UG2 - Argilla limosa da consistente a molto consistente:

Peso di volume γ= 18,50 – 19,00 kN/m^3

Angolo di attrito efficace ϕ'= 24°- 26°

Coesione non drenata Cu= 50 – 70 kPa

Coesione efficace C' = 4 – 6 kN/m^2

Modulo edometrico M= 30 – 45 Mpa

Sismica

La classificazione sismica del DGR 1164 del 23/07/2018 pone i Comuni di Castellarano (RE) e Sassuolo (MO) in **zona sismica 3**. I valori di accelerazione massima orizzontale di riferimento di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (banca dati accelerometrica "European Strong Motion database – ISESD"), sono per Castellarano a_{refg}=0,162 e per Sassuolo a_{refg}=**0,161** m/s^2.

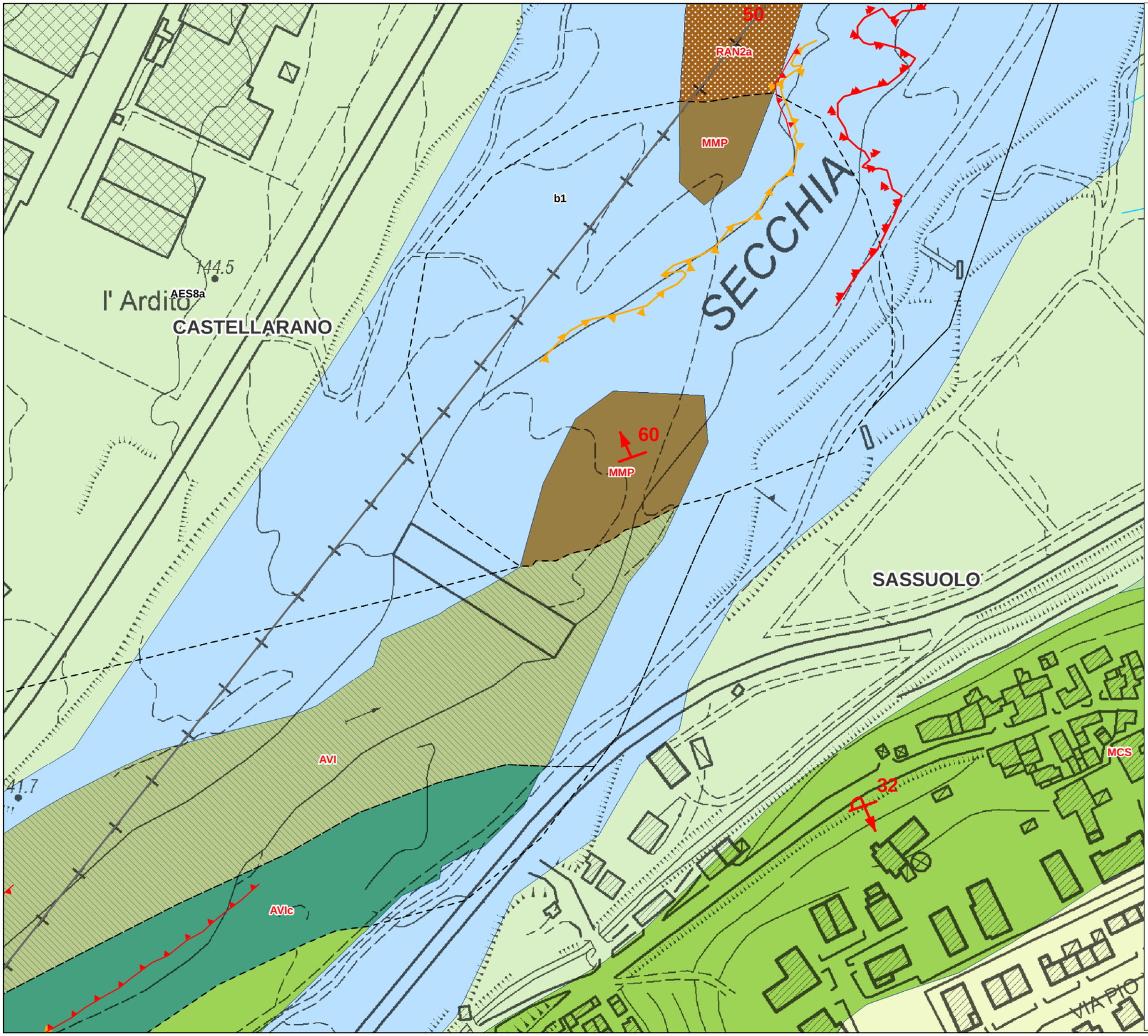
Dalle indagini geofisiche è stata ricavata la velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno, risultata pari a **V_{s30} = 495 m/s**. Il terreno di fondazione ricade nella **Categoria di sottosuolo B** delle NTC 2018 "*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*".

La via nominale delle opere, secondo le NTC 2018, è pari a **VN= 50 anni**, e la categoria topografica ricade nella classe **T1** "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°"

La seguente tabella riporta i coefficienti sismici orizzontali, l'accelerazione massima attesa al sito e il coefficiente di riduzione dell'accelerazione stessa nei diversi stati limite, per le paratie (h=13 m), secondo le NTC 2018.

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
K_h	0,047	0,058	0,141	0,178
K_v	--	--	--	--
Amax [m/s²]	0,625	0,776	1,889	2,374
Beta	0,734	0,734	0,734	0,734

Sulla base delle criticità segnalate è necessario intervenire nella stabilizzazione a valle della briglia crollata nel 2003, attraverso la realizzazione di una paratia di consolidamento e di una adeguata vasca di dissipazione, con intestazione delle fondazioni profonde nel substrato roccioso a maggior grado di consolidazione.



LEGENDA

Coperture quaternarie a1g

- AEI - Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore
- AES7a - Unità di Niviano
- AES7b - Unità di Vignola
- AES8 - Subsintema di Ravenna
- AES8a - Unità di Modena
- a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
- a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango
- a1g - Deposito di frana attiva complessa
- a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
- a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango
- a2g - Deposito di frana quiescente complessa
- a3 - Deposito di versante s.l.
- b1 - Deposito alluvionale in evoluzione
- h - Deposito antropico
- h3 - Cava
- h3-2 - Cava inattiva
- h3-3 - Cava riempita
- i1 - Conoide torrentizia in evoluzione

Elementi geomorfologici

- Erosione di sponda intensa
- Tendenza all'erosione di sponda
- Canale di erosione

Unità geologiche AVIc

- ANT - Marne di Antognola
- AVI - Argille di Viano
- AVIc - Argille di Viano - litofacies calcareo manosa
- AVV - Argille Varicolori di Cassio
- BAI2 - Brecce argillose di Baiso - membro di Pian di Setta
- CMZ - Sintema di Costamezzana
- FAA - Argille Azzurre
- FAA7 - Argille Azzurre - membro di Monte Arnone
- FCO - Formazione a Colombacci
- MCS - Flysch di Monte Cassio
- MMP - Marne di Monte Piano
- RAN2a - Formazione di Ranzano - membro della Val Pessola - litofacies arenaceo-conglomeratica
- SCB - Arenarie di Scabiazza

- Limite unità geologica
- Stratificazione dritta
- Stratificazione rovesciata
- Limite Comunale

N

0 25 50 100 m

Allegato 1 - Carta geologica - geomorfologica

Regione Emilia-Romagna

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE
E LA PROTEZIONE CIVILE
Viale Silvani n. 6 - 40122 Bologna (BO) Tel. : 059248733 - Fax. :059248750

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E ANALISI DI LABORATORIO PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA COD.13056, 13059, 13060, 13061 - ORDINANZA1/2017 (CIG-Z0126056FC)

BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI

VERBALE LAVORI

SUBSOIL
INDAGINI GEOLOGICHE & MONITORAGGI GEOTECNICI

SUBSOIL srl

Strada Barco, 1/C - 42027 Montecchio E. (RE)
Tel. 0522 887268 - fax 0522 249540

IMPRESA ESECUTRICE				
REV.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A		MARZO 2019	MARZO 2019	MARZO 2019
		Dott.Andrea Saracchi	Dott.Andrea Saracchi	Dott.Geol.Fabrizio Giorgini

COMMESSA: 00100019_FG

INDICE

1. PREMESSA 3
2. INDAGINI ESEGUITE 4
3. DESCRIZIONE INDAGINI 6
3.1 Sondaggi a carotaggio continuo 6
3.2 Prove in foro SPT (Standard Penetration Test) 7
3.3 Prelievo di campioni indisturbati 9
3.4 Analisi sismica tipo Masw 10
3.5 Prova sismica a stazione singola tipo HVSR 11
3.6 Prova fisica tipo geoelettrica 11

ALLEGATI

ALLEGATO 1
Planimetria generale
ALLEGATO 2
Sondaggi a carotaggio continuo
ALLEGATO 3
Analisi simica tipo Masw
ALLEGATO 4
Prova singola a stazione singola tipo HVSR
ALLEGATO 5
Prova fisica tipo geoelettrica

1. PREMESSA

Su incarico ricevuto da AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE in merito a "Indagini geognostiche, geofisiche e analisi di laboratorio propedeutiche alla progettazione definitiva/esecutiva degli interventi di messa in sicurezza idraulica" è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche a sostegno della progettazione dei primi interventi di messa in sicurezza per tratte saltuarie del Fiume Secchia e Fiume Panaro.
Le indagini sono state suddivise in quattro zone ove si intende migliorare strutturalmente e funzionalmente il sistema difensivo esistente, proteggendo e riducendo la vulnerabilità di infrastrutture e abitati esistenti.

Le aree in questione sono:
- Briglia Casella sul fiume Panaro, comune di Savignano sul Panaro (MO)
- Briglia Muratori sul fiume Panaro, comune di Vignola (MO)
- Briglia Zenzano sul fiume Panaro, comune di Marano sul Panaro (MO)
- Briglia San Michele dei Mucchietti, sul fiume Secchia, comune di San Michele dei Mucchietti (MO)

2. INDAGINI ESEGUITE

La campagna di indagini geognostiche si è svolta nei mesi di Gennaio e Febbraio 2019, dopo il posizionamento delle indagini concordate con la Committenza.

Di seguito alleghiamo una ubicazione generale delle aree dove si sono svolte le indagini..

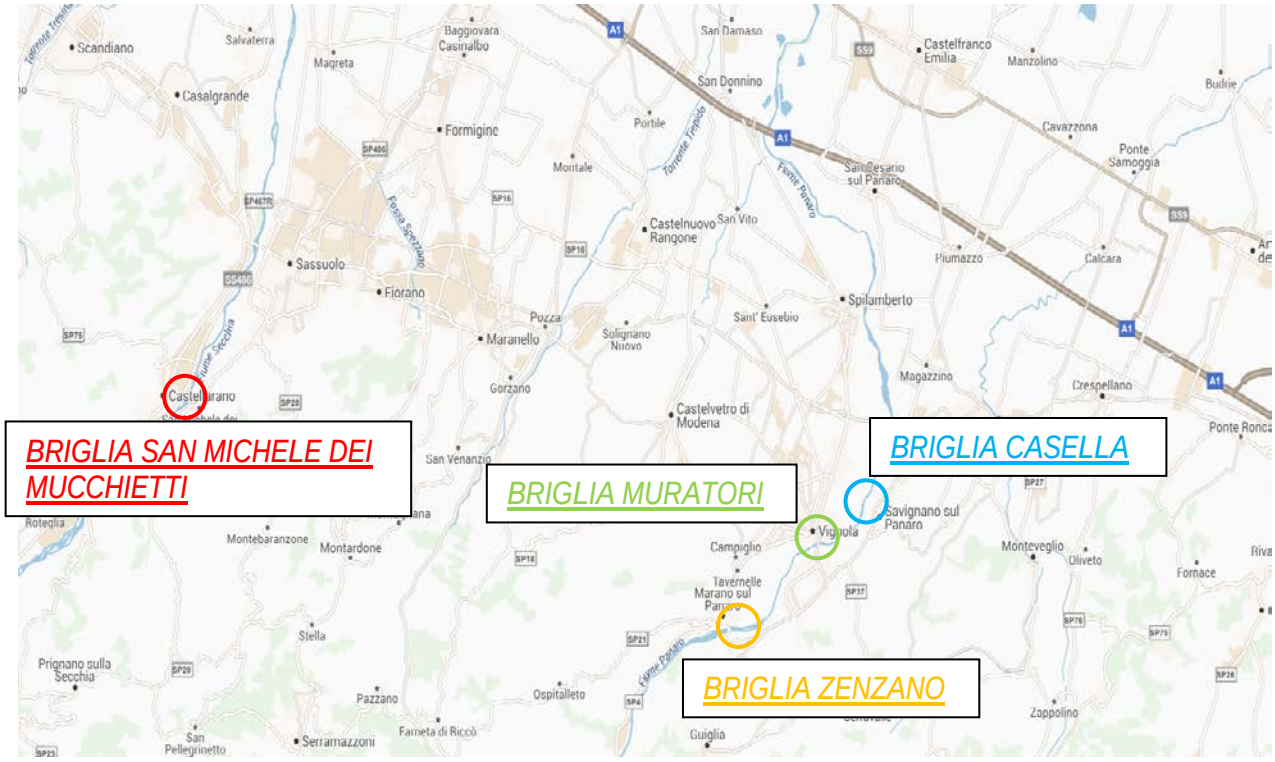


Figura 1: Ubicazione aree di indagine

In questo verbale andremo a descrivere le indagini eseguite a <u>Briglia San Michele dei Mucchietti</u>

BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI

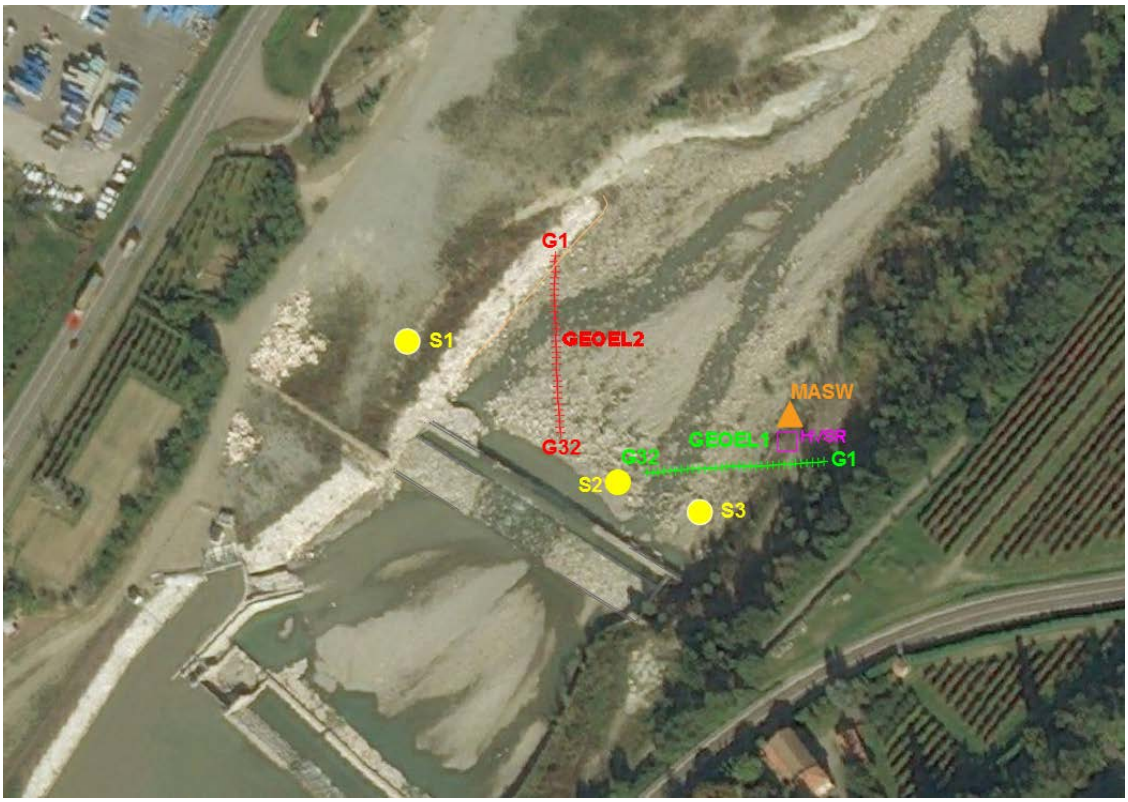


Figura 2: Planimetria indagini Briglia San Michele dei Mucchietti - fiume SECCHIA

Nell'area Briglia San Michele dei Mucchietti sono state effettuate le seguenti indagini:

- n.° 3 sondaggio a carotaggio continuo verticali;
- prove in foro tipo Standard Penetration Test;
- n.° 1 stendimento sismico tipo MASW;
- n.° 1 stendimento geofisico di tipo geoelettrico.
- n.° 1 HVSR

3. DESCRIZIONE INDAGINI

3.1 Sondaggi a carotaggio continuo

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati realizzati mediante la sonda perforatrice Soilmec SM-8G, le cui caratteristiche sono riportate nelle tabelle tab.3.1, seguendo le norme e specifiche di riferimento riportate qui di seguito:

- *AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977) – Raccomandazioni sulla Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;*
- *UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 Euurocode 7 – Geotechnical Design – Part 2: Ground investigation and testing];*
- *EN ISO 22475-1 – Geotechnical investigation and Testing – Sampling Methods and grounwater measurements – Part 1: Technical Principles for execution.*

Apparecchio di trivellazione	SOILMEC SM-G8
Allestimento	cingolata
Velocità massima di rotazione	450 giri/min
Coppia massima	436 Kg m
Corsa continua	4000 mm
Spinta	3500 Kg
Tiro	3500 Kg
Morsa idraulica per rivestimenti e/o aste	
Pompa fluidi	NENZI TRIPPLEX 200
Pressione continua	45 bar
Pressione max intermittente	70 bar
Portata	200 l min

Tabella 1: Caratteristiche sonda di perforazione SOILMEC SM-G8

La sonda è stata posizionata in corrispondenza dei punti concordati con la Committenza per procedere con perforazioni verticali. L'esecuzione dei sondaggi è stata effettuata mediante attrezzature a rotazione idraulica secondo il metodo del carotaggio continuo utilizzando carotieri semplici di diametro esterno di 101 mm e lunghezza 150 cm. dotate di corone in Widia visto la natura litologica dei terreni attraversati (prevalentemente argille e ghiaie). Con l'avanzamento della perforazione si è fatto ricorso di aste di perforazione con filettatura tronco conica del diametro di 76 mm e lunghezza 150 cm..

La stabilità delle pareti dei fori è stata assicurata mediante l'impiego di rivestimenti metallici provvisori, aventi spessore 8 mm, diametro di 127 mm e lunghezza 150 cm.. Tale rivestimento segue immediatamente ogni manovra di avanzamento del carotiere, ed è poi estratto e recuperato a fine perforazione. Ogni manovra di rivestimento è stata eseguita con l'uso di fluido di circolazione (nel caso specifico acqua pulita) e a pressioni controllate.

La perforazione è stata condotta a secco, senza l'ausilio di fluidi di perforazione, garantendo una percentuale di recupero pari al 100% in modo tale da consentire una sicura e dettagliata ricostruzione stratigrafica del sottosuolo. L'estrusione delle carote è stata eseguita a pressione idraulica avendo cura che il terreno non subisse dilavamento oppure per gravità tramite battitura in prossimità della corona terminale (nel caso di terreni granulari).

Le carote di terreno recuperate sono state alloggiate in apposite cassette catalogatrici in plastica nella posizione corrispondente alla profondità di carotaggio ed evitando rimescolamenti del materiale, seguendo il riempimento da sinistra a destra e dall'alto verso il basso.
All'inizio e alla fine di ogni setto di ciascuna casetta catalogatrice è stata trascritta la profondità corrispondente, mentre sul bordo inferiore e sul coperchio sono state riportate le informazioni identificative del sondaggio (nome impresa, committente, nome sondaggio numero cassa e profondità.
Inoltre, opportuni separatori di plastica indicano le profondità delle varie manovre eseguite.

Tutte le informazioni relative alla perforazione e la descrizione stratigrafica dei campioni di terreno recuperati dal sondaggio, comprese tutta la documentazione fotografica del piazzamento e delle casse contenenti i campioni sono riportate nei certificati di prova (*Allegato 2)*.

Le caratteristiche dei sondaggi eseguiti sono riportati in tabella 2.

Nome sondaggio	Data		Profondità	Strumentazione installata
	Inizio	Fine	(m)	
S1	23/01/2019	25/01/2019	25,00 m	-
S2	21/01/2019	22/01/2019	25,00 m	-
S3	18/01/2019	21/01/2019	25,00 m	-

Tabella 2: Caratteristiche sondaggi

3.2 Prove in foro SPT (Standard Penetration Test)

Le prove di Standard Penetration Test (Norme ASTM D 1586-84) sono state eseguite all'interno delle verticali di sondaggio al fine di determinare le caratteristiche di resistenza e compressibilità dei materiali incoerenti "in situ".

La prova è stata eseguita con seguente attrezzatura standard:
- aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m;
- testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- maglio di acciaio di 63,5 kg;
- dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m.;
- per terreni ghiaiosi utilizzo di punta conica chiusa del diametro esterno di 51 mm spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo aste di 813 mm.

Le procedure di prova sono di seguito elencate:
- verifica con apposito scandaglio della quota del "fondo foro", confrontandola con quella raggiunta dalla manovra di perforazione o di pulizia precedente. La quota può risultare maggiore per fenomeni di refluimento del foro o per decantazione di detriti in sospensione nel fluido. Se la differenza misurata supera i 7 cm la prova non si può eseguire previa ulteriore pulitura.
- Inizio prova che consiste nel misurare il numero di colpi necessari per far penetrare di 30 cm nel terreno vergine, dopo una penetrazione preliminare di 15 cm, un utensile standard a punta chiusa (Fig. 1).
  Tale attrezzo è collegato alla superficie mediante batterie di aste, sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 Kg che cade liberamente da un'altezza di 0,76 m. L'eventuale affondamento delle aste dovuto al proprio peso deve essere annotato e non incluso nei primi 15 cm di affondamento.

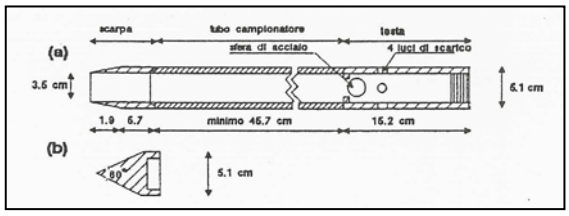


Figura 3: *Attrezzo SPT a punta aperta (a) e a punta chiusa (b).*

- Si procede all'infissione preliminare di 15 cm, contando i colpi necessari fino ad un massimo di 50 colpi. Successivamente si procede all'infissione vera e propria per un tratto di 30 cm, rilevando il numero di colpi necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm. Il valore di N_{SPT} è la somma dei colpi misurati in questi ultimi 30 cm.
- La prova viene sospesa quando il numero di colpi N_{SPT}, per un tratto di 15 cm, supera 50. In tal caso si annota un "rifiuto" da parte del terreno con la penetrazione in cm ottenuta con i 50 colpi.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva che riporta le profondità e i risultati delle SPT e comunque riportati in ciascun certificato di prova.

Sondaggio	Nome prova	Quota inizio prova (m. da p.c.)	Tipo punta	Prova			N_{SPT}
				N1	N2	N3	
S1	SPT1	3,00 m.	Chiusa	50/Rif			-
	SPT2	6,00 m.	Chiusa	22	25	30	55
	SPT3	9,00 m.	Chiusa	50/Rif			-
	SPT4	12,00 m.	Chiusa	33	40	41	81
	SPT5	15,00 m.	Chiusa	29	47	50/Rif	-
	SPT6	18,00 m.	Chiusa	40	50/Rif		-
	SPT7	21,00 m.	Chiusa	31	36	41	77
	SPT8	24,00 m.	Chiusa	40	38	50/Rif	-
	SPT9	24,90 m.	Chiusa	35	43	50/Rif	-
S2	SPT1	1,50 m.	Chiusa	22	30	32	
	SPT2	2,00 m.	Chiusa	30	50/Rif		-
	SPT3	4,50 m.	Chiusa	40	50/Rif		-
	SPT4	6,00 m.	Chiusa	34	40	50/Rif	-
	SPT5	7,50 m.	Chiusa	28	36	50/Rif	-
	SPT6	9,10 m.	Chiusa	28	45	50/Rif	-
	SPT7	10,50 m.	Chiusa	45	50/Rif		-
	SPT8	12,30 m.	Chiusa	38	40	42	82
	SPT9	13,50 m.	Chiusa	39	50/Rif		-
	SPT10	15,00 m.	Chiusa	27	36	47	83
	SPT11	16,50 m.	Chiusa	23	33	40	73
	SPT12	18,00 m.	Chiusa	39	50/Rif		-
	SPT13	19,50 m.	Chiusa	30	38	50/Rif	-

Sondaggio	Nome prova	Quota inizio prova (m. da p.c.)	Tipo punta	Prova			N_{SPT}
				N1	N2	N3	
S2	SPT14	21,20 m.	Chiusa	28	32	46	78
	SPT15	22,70 m.	Chiusa	40	49	50/Rif	-
	SPT16	24,30 m.	Chiusa	35	40	50/Rif	-
	SPT17	24,90 m	Chiusa	22	29	37	66
S3	SPT1	3,00 m.	Chiusa	24	32	40	
	SPT2	6,00 m.	Chiusa	38	50/Rif		-
	SPT3	8,00 m.	Chiusa	32	50/Rif		-
	SPT4	9,00 m.	Chiusa	46	50/Rif		-
	SPT5	12,10 m.	Chiusa	36	40	50/Rif	-
	SPT6	15,00 m.	Chiusa	50/Rif			-
	SPT7	18,00 m.	Chiusa	42	50/Rif		-
	SPT8	21,00 m.	Chiusa	30	48	50/Rif	-
	SPT9	24,00 m.	Chiusa	32	50/Rif		-
	SPT10	25,00 m.	Chiusa	43	48	50/Rif	-

Tabella 3: risultati delle prove SPT

3.3 Prelievo di campioni indisturbati

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio sono stati prelevati campioni indisturbati di terreno per l'identificazione del terreno e per l'esecuzione di prove di laboratorio finalizzate alla terminazione delle proprietà geotecniche e geomeccaniche.

Il prelievo dei campioni è stato eseguito secondo la seguente normativa e specifica di riferimento:
- *AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977) – Raccomandazioni sulla Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;*
- *UNI EN 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica. Parte 2. Indagini e prove nel sottosuolo [EN 1997-2 Eurocode 7 – Geotechnical Design – Part 2: Ground investigation and testing];*
- *EN ISO 22475-1 – Geotechnical investigation and Testing – Sampling Methods and groundwater measurements – Part 1: Technical Principles for execution.*

Visto la natura dei terreni attraversati, è stato utilizzato il campionatore semplice tipo "Shelby", caratterizzato dalla presenza di un pistone fisso collegato alle aste di manovra.
Di seguito si riportano le profondità dei campioni indisturbati prelevati:

Sondaggio	Nome campione	Profondità campione (m. da p.c.)	Tipologia
S1	CI1	10,20 a 10,90 m.	Shelby

Tabella 4: elenco campioni indisturbati

I risultati dei campioni inviati al laboratorio sono riportati nell' ***Allegato 6***

3.4 Analisi sismica tipo Masw

In base alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005), è stata condotta una indagine sismica secondo la metodologia 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), al fine di caratterizzare la risposta del sito in esame.

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 avvalora 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.
Queste fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (Vs)
La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore Vs30 (valore medio della Vs nei primi 30 m. di profondità) definita dalla relazione:

$$Vs30 = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

in cui Vsi e hi sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'i-esimo strato.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA E CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Sono stati eseguiti n.° 1 stendimenti con acquisizione mediante sismografo a 24 canali (PASI 16SG12) collegata a geofoni verticali a frequenza propria di 4,5 Hz, con passo di campionamento di 0,25 ms. con durata acquisizione di 1 sec.
L'energizzazione è stata effettuata con una massa battente (martello) da 10 kg.

I geofoni sono stati posizionati con distanza intergeofonica di 2,0 m. per una lunghezza complessiva di 46 m.

L'energizzazione è stata realizzata a distanze di 4,00m, -8,00m., -12,00m. dal piano campagna dal primo geofono.

ELABORAZIONE

I dati acquisiti sono stati elaborati mediante software winMASW 4.3 Standard, per ricostruire il profilo della velocità delle onde di taglio Vs e per ottenere l'inversione della curva di dispersione. Il risultati dell'analisi sono riportati nell'***Allegato 3*** dai quali si ottiene la seguente ricostruzione sismo stratigrafica.

3.5 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 si 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 (Horizzontal 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 tromografo "TROMINO 3G+" prodotto da MOHO Srl 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 4*.

3.6 Prova fisica tipo geoelettrica

La metodologia generalmente definita "geoelettrica" rappresenta uno dei metodi geofisici più utilizzati per la caratterizzazione dei materiali del sottosuolo.
Il parametro di base è la resistività elettrica, proprietà fisica che esprime la "resistenza" che i materiali offrono al passaggio della corrente.
Le misure geoelettriche consentono quindi, studiando le deformazioni del flusso di corrente causate dalle diverse strutture nel sottosuolo, di caratterizzare le strutture stesse e ricostruirne la distribuzione spaziale.
La resistività delle diverse formazioni geo litologiche è determinata essenzialmente dai seguenti fattori:

- porosità (forma, dimensione e continuità dei pori);
- percentuale di contenuto d'acqua dei pori;
- salinità del liquido di saturazione dei pori;
- presenza di matrice a granulometria fine;
- conducibilità intrinseca dei minerali di base.

È pertanto evidente che i materiali più addensati e/o grossolani presentano valori di resistività più elevati, mentre i materiali più disgregati e/o fini associati a presenza d'acqua, hanno una resistività inferiore.
Come accennato la misura del valore di resistività elettrica dei materiali si realizza creando un campo elettrico artificiale nel mezzo da indagare e studiandone la distribuzione nel sottosuolo (dispositivo quadripolare). Generalmente i dispositivi sono simmetrici rispetto ad un punto centrale O al quale si riferisce il valore misurato.

La coppia di elettrodi attraverso la quale si immette corrente nel terreno è denominata C1-C2 o A-B, mentre la coppia attraverso la quale si misura la differenza di potenziale generata nel terreno stesso dal passaggio della corrente è chiamata P1-P2 o M-N.
Si misurano così le variazioni del campo elettrico, indotte dalle eterogeneità litologiche presenti nel sottosuolo.
Queste variazioni sono più o meno marcate in funzione del contrasto di resistività elettrica esistente tra mezzi con caratteristiche differenti.
La distribuzione della corrente in profondità e quindi la profondità dell'esplorazione è essenzialmente legata alla distanza tra i due elettrodi C1 e C2 ed alle caratteristiche intrinseche del mezzo esplorato.
La scelta del dispositivo più opportuno è legata alle condizioni dell'area da indagare sia in termini strutturali sia di rapporto segnale-rumore.
Dalla misura dell'intensità di corrente che fluisce tra gli elettrodi C1-C2 e della differenza di potenziale tra gli elettrodi P1-P2 è possibile calcolare la resistività apparente e riferirla generalmente al centro del quadripolo ad una profondità che è funzione della distanza C1C2.

Figura 4: *Elettrodi utilizzati per l'acquisizione geoelettrica*

L'acquisizione tomografica consiste quindi nella misura dei valori di resistività in corrispondenza di un elevato numero di punti lungo la sezione d'indagine.

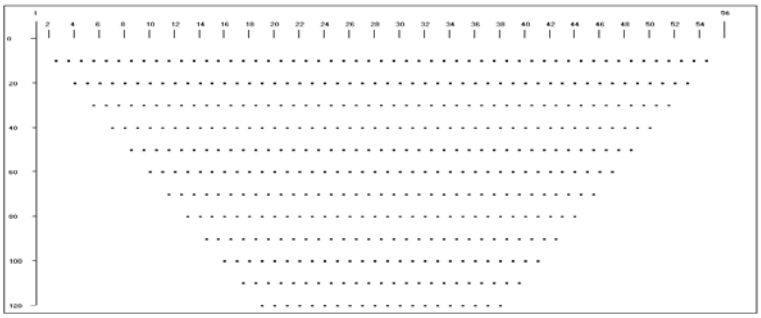


Figura 5: Tomografia elettrica – schema misure

La densità dei punti consente di ricostruire con estremo dettaglio, anche tramite l'applicazione di algoritmi di calcolo bidimensionali, la sezione definendo in particolare gli effetti delle variazioni laterali e quindi ricostruendo una rappresentazione finale maggiormente corrispondente alla situazione reale.

L'acquisizione dei dati è stata condotta con l'utilizzo di una centralina PASI modello 16SG24 N combinato per effettuare anche acquisizioni sismiche ed energizzatore PASI P-300T.

Lo strumento, dopo aver indicato la posizione di ciascun picchetto, inizia a gestire i vari elettrodi, trasformandoli di volta in volta in elettrodi di misura o di corrente fino a completare il sondaggio.

I valori via via acquisiti vengono riportati in tabelle ed in caso di necessità ogni singola acquisizione può essere ripetuta. Le acquisizioni possono anche essere visualizzate in un diagramma semilogaritmico C1C2/2-resistività apparente permettendo in questo modo un primo controllo diretto sulla qualità dell'acquisizione e la presenza di eventuali anomalie.

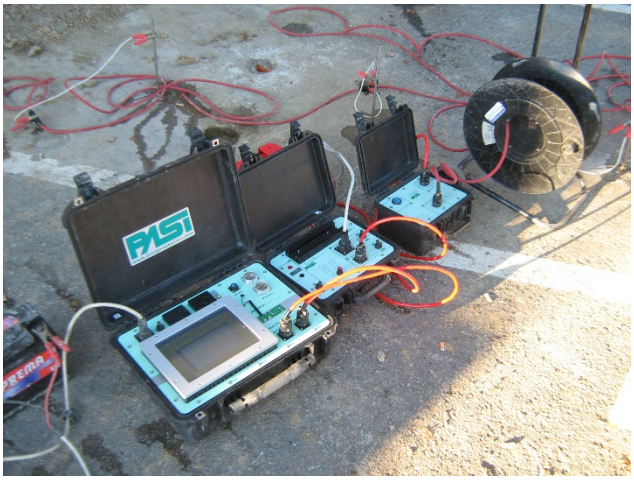


Figura 6: *Tomografia elettrica – strumentazione*

È stato scelto di misurare la resistività apparente secondo lo stendimento Wenner-Schlumberger che consiste nella combinazione degli stendimenti Wenner e Schlumberger. L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il programma RES2DINVx64 ver. 4.05.

A Briglia Zenzano sono stati eseguiti n.° 2 stendimenti di geoelettrica composti le cui caratteristiche sono riportate in tabella 6, mentre i risultati dell'indagine geoelettrica sono riportati in ***Allegato 5***.

Prova n.°	n.° elettrodi	Passo elettrodi (m.)	Lunghezza stendimento	Data esecuzione
GEOEL 1	32	2,00 m	62,00 m.	15/02/2019
GEOEL 2	32	2,00 m	62,00 m.	15/02/2019

Tabella 5: Prove di Tomografia elettrica

Dott. Fabrizio Giorgini

Regione Emilia-Romagna

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE
E LA PROTEZIONE CIVILE
Viale Silvani n. 6 - 40122 Bologna (BO) Tel. : 059248733 - Fax. :059248750

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E ANALISI DI LABORATORIO PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA COD.13056, 13059, 13060, 13061 - ORDINANZA1/2017 (CIG-Z0126056FC)

BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI

Campagna delle indagini geognostiche

PIANO DI INDAGINI

ALLEGATO

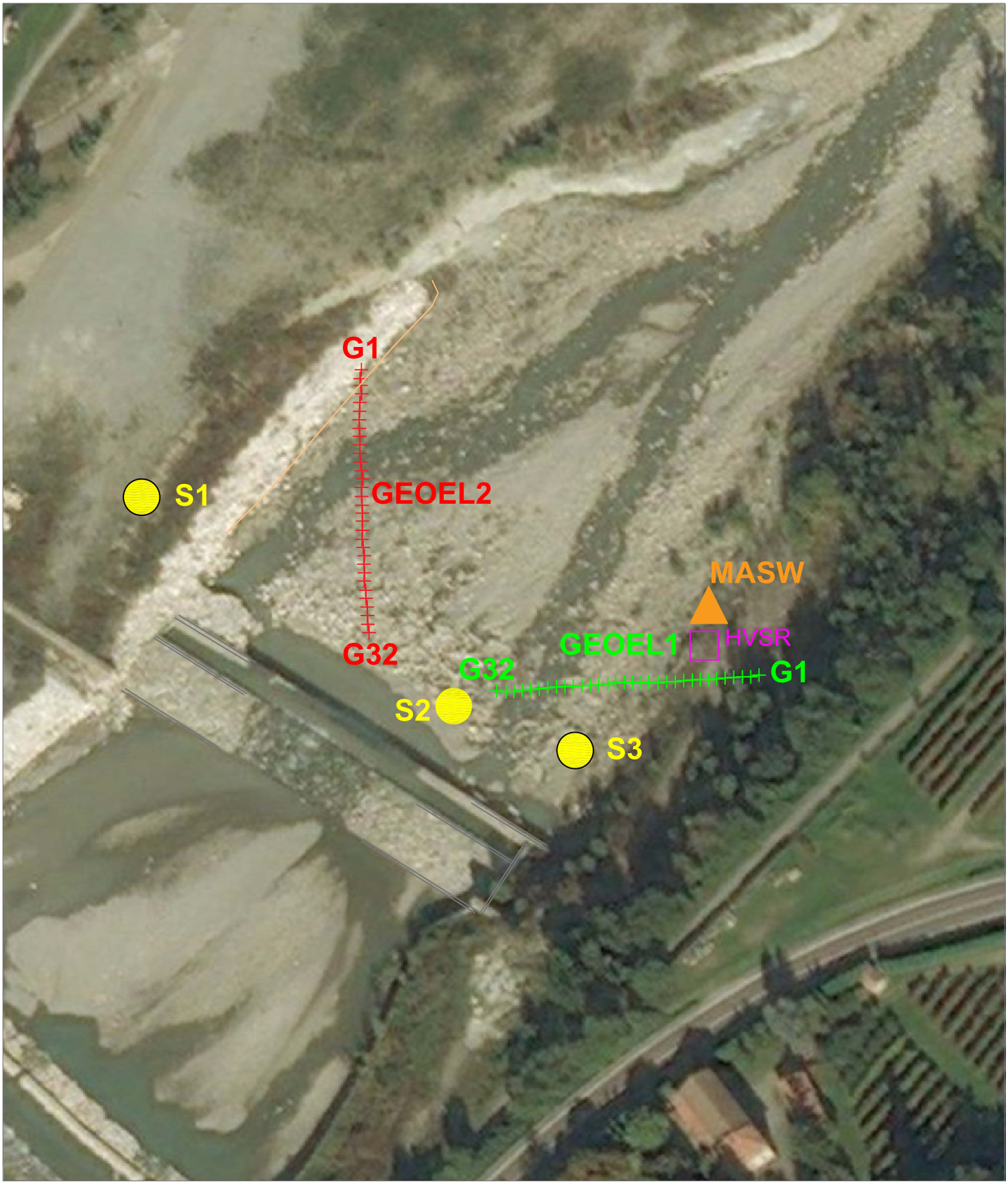
1

SUBSOIL srl

Strada Barco, 1/C - 42027 Montecchio E. (RE)
Tel. 0522 887268 - fax 0522 249540

IMPRESA ESECUTRICE				
REV.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A		MARZO 2019	MARZO 2019	MARZO 2019
		Dott.Andrea Saracchi	Dott.Andrea Saracchi	Dott.Geol.Fabrizio Giorgini

COMMESSA: 00100019_FG



Regione Emilia-Romagna

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
Viale Silvani n. 6 - 40122 Bologna (BO) Tel. : 059248733 - Fax. :059248750

Indagini geognostiche propedeutiche ad interventi di sicurezza

BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI

ALLEGATO **1**

PIANO DI INDAGINI

DATA: MARZO 2019

Redatto
Dott. Andrea Saracchi

Approvato
Dott.Geol.Fabrizio Giorgini

SUBSOIL
INDAGINI GEOLOGICHE & MONITORAGGI GEOTECNICI

Strada Barco, 1/C - 42027 Montecchio E. (RE)
Tel. 0522 887268 - fax 0522 249540

COMMESSA: 00100019_FG

Regione Emilia-Romagna

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE
E LA PROTEZIONE CIVILE
Viale Silvani n. 6 - 40122 Bologna (BO) Tel. : 059248733 - Fax. :059248750

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E ANALISI DI LABORATORIO PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA COD.13056, 13059, 13060, 13061 - ORDINANZA1/2017 (CIG-Z0126056FC)

BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI

Campagna delle indagini geognostiche

SONDAGGI

2

SUBSOIL
INDAGINI GEOLOGICHE & MONITORAGGI GEOTECNICI

SUBSOIL srl

Strada Barco, 1/C - 42027 Montecchio E. (RE)
Tel. 0522 887268 - fax 0522 249540

IMPRESA ESECUTRICE				
REV.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A		MARZO 2019	MARZO 2019	MARZO 2019
		Dott.Andrea Saracchi	Dott.Andrea Saracchi	Dott.Geol.Fabrizio Giorgini

COMMESSA: 00100019_FG

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S1
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 23/01/2019-25/01/2019

PLANIMETRIA

PIAZZAMENTO

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S1
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 23/01/2019-25/01/2019

Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00

Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S1
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 23/01/2019-25/01/2019

Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00

Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S1
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 23/01/2019-25/01/2019

Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00

LEGENDA STRATIGRAFIA

ø mm	R v	A r	S	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
2) Rivestimento
3) Profondità dell'acqua (rinvenimento e stabilizzazione)
4) Scala metrica con limiti delle battute (>)
5) Simbolo litologico
6) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
7) Resistenza alla punta (kg/cm²)
8) Vane test (kg/cm²)
9) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
10) Profondità di inizio della prova S.P.T.
11) Prova S.P.T.
12) Valore di Nspt
13) Tipo di punta (A = punta aperta; C = punta chiusa)
14) Percentuale R.Q.D. (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
15) Profondità della base dello strato (m)
16) Descrizione della litologia dello strato
17) Cassette catalogatrici
18) Piezometri
19) Schema geometrico del foro
20) Profondità del tratto di foro (m)
21) Diametro del tratto di foro (mm)
22) Dati tecnici

She = Shelby
Den = Denison
Ost = Osterberg
Maz = Mazier
Crp = Craps
nk3 = NK3
Ind = Indisturbato
Dis = Disturbato
SDi = Semi disturbato
SPT = SPT

Tubo aperto	*Casagrande*
tubo cieco	*tubo cieco*
finestrato	*cella drenaggio cementazione*

STRATIGRAFIA - S1

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S1
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 23/01/2019-25/01/2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :45

Pagina 1/3

ø mm	Rv	Ar	As	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
															0,1	Terreno vegetato						
				1 2											2,8	Limo sabbioso, umido, di colore grigio-nocciola, a tratti molto consistente/duro, con abbondante ghiaia eterometrica da spigolosa a subarrotondata. Presenza di ciottoli.	1					
				3 4			3.1 / 5.1 4.9 /	0.85 / /		3,0	50/3cm	Rif	C		4,2	Limo argilloso, umido, di colore marrone con variegature grigie/azzurre, con a tratti presenza di clasti (max. 2cm) ad abbondanza variabile. Presenza di calcinelli.						
															4,6	Trovante calcarenitico frantumato						
				5 6 7						6,0	22-25-30	55	C		7,2	Limo debolmente argilloso, a tratti debolmente sabbioso (fine), umido, di colore marrone chiaro, con variegature grigio azzurre. Presenza di rari clasti da 6,50m a 6,70m. Tracce di ossidazione color ocra e calcinelli.						
				8			4.2 4.6 3.8 3.9	/ /							8,0	Argilla limosa, umida, di colore marrone con ossidazioni colo ocra e abbondanti calcinelli, consistente.	2					
															8,3	Trovante calcarenitico frantumato.						
				9 10			1.5 1.9 1.2	0.7 0.5		9,0	50/5cm	Rif	C			Argilla limosa, da umida a molto umida, di colore marrone con ossidazioni color ocra. A tratti si nota la presenza di abbondanti clasti subarrotondati (dim. max 4cm).						

STRATIGRAFIA - S1

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S1
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 23/01/2019-25/01/2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :45

Pagina 2/3

ø mm	Rv	Ar	As	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
							3	/							10,2	Argilla limosa, da umida a molto umida, di colore marrone con ossidazioni color ocra. A tratti si nota la presenza di abbondanti clasti subarrotondati (dim. max 4cm).						
							/	/								Alternanza di limo argilloso e argilla limosa, umida, molto consistente, di colore grigio con variegature grigio/azzurre. Presenza di calcinelli. Presenza di livelli decimetrici di clasti argillitici (diam. max.1cm) in inclusione da: 18.50m a 18.90m 20.80m a 21.00m 23.00m a 23.30m						
							/	/														
							/	/														
				11			4.8	/														
							3.5	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				12			/	/		12,0	33-40-41	81	C									
							2.8	0.8														
							2.4	/														
							5	/									3					
							/	/														
				13			5.5	/														
							/	/														
							/	/														
							5.4	/														
							/	/														
				14			/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				15			3.8	/		15,0	29-47-50/4cm	Rif	C									
							5.6	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				16			/	/														
							2.5	0.4														
							2	0.7														
							2.5	0.65														
				17			2.5	0.6														
							2.8	/														
							4.8	/														
							4.4	/									4					
							/	/														
				18				/		18,0	40-50/6cm	Rif	C									
							/															
				19			1.3	/														
							/															
							2.5	/														
							/	/														
				20			/	/														

STRATIGRAFIA - S1

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S1
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 23/01/2019-25/01/2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :45

ø mm	Rv	Ar	As	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
							/	/								Alternanza di limo argilloso e argilla limosa, umida, molto consistente, di colore grigio con variegature grigio/azzurre. Presenza di calcinelli. Presenza di livelli decimetrici di clasti argillitici (diam. max.1cm) in inclusione da: 18.50m a 18.90m 20.80m a 21.00m 23.00m a 23.30m						
							/	/														
							/	/														
				21			2.1	/		21,0	31-36-41	77	C									
							4.2	/														
							/	/														
							/	/														
				22			/	/														
							/	/														
							/	/									5				127	
							/	/														
				23																		
							/	/														
							/	/														
				24			/	/		24,0	40-38-50/6cm	Rif	C									
							/	/														
							/	/														
101				25			/	/		24,9	35-43-50/3cm	Rif	C		25,0					25,0		

Campioni:
NESSUNO

Prove in foro:
- SPT

Strumentazione installata:
NESSUNA

Caratteristiche Sonda:
Marca/Modello: SOILMAC SM-8G
Coppia: 472 Nm
Corsa utile: 37000 mm
Morse: Ømax: 200 mm

NORMATIVA DI RIFERIMENTO
A.G.I. - (1977): Raccomandazioni sulla Programmazione e d Esecuzione delle Indagini Geotecniche.
DM 11.03.88: "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.
Shelby 1;

Rilievo del livello dell'acqua nel corso della perforazione

Giorno	23/01/19	24/01/19														
Ora	sera	sera														
Livello dell'acqua (m)	assente	assente														
Prof. perforazione(m)	7,50	25,00														
Prof. rivestimento(m)	7,00	25,00														

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S2
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 21/01/2019-22/01/2019

PLANIMETRIA

PIAZZAMENTO

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S2
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 21/01/2019-22/01/2019

Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00

Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S2
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 21/01/2019-22/01/2019

Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00

Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S2
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 21/01/2019-22/01/2019

Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00

LEGENDA STRATIGRAFIA

ø mm	R v	A r	S	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
2) Rivestimento
3) Profondità dell'acqua (rinvenimento e stabilizzazione)
4) Scala metrica con limiti delle battute (>)
5) Simbolo litologico
6) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
7) Resistenza alla punta (kg/cm²)
8) Vane test (kg/cm²)
9) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
10) Profondità di inizio della prova S.P.T.
11) Prova S.P.T.
12) Valore di Nspt
13) Tipo di punta (A = punta aperta; C = punta chiusa)
14) Percentuale R.Q.D. (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
15) Profondità della base dello strato (m)
16) Descrizione della litologia dello strato
17) Cassette catalogatrici
18) Piezometri
19) Schema geometrico del foro
20) Profondità del tratto di foro (m)
21) Diametro del tratto di foro (mm)
22) Dati tecnici

She = Shelby
Den = Denison
Ost = Osterberg
Maz = Mazier
Crp = Craps
nk3 = NK3
Ind = Indisturbato
Dis = Disturbato
SDi = Semi disturbato
SPT = SPT

Tubo aperto	*Casagrande*
tubo cieco	*tubo cieco*
finestrato	*cella drenaggio cementazione*

STRATIGRAFIA - S2

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S2
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 21/01/2019-22/01/2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :45

Pagina 1/3

ø mm	Rv	Ar	As	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
															0,6	Ghiaia eterometrica subarrotondata e spezzata (diam. max. 6) con ciottoli in scarsa matrice sabbiosa medio grossolana, debolmente argillosa, baganta, e di colore grigio chiaro.						
				1			1	0.70								Alternanza tra argilla limosa e limo argilloso, umida, di colore marrone-rosso con variegature grigie, molto consistente-dura. Livelli sensibilmente meno consistenti da: 0.60m a 1.40m 14.65m a 15.10m 24.60m a 25.00m Presenza di livelli frantumati a causa estrusione carota da: 5.00m a 5.60m 9.85m a 10.20m 10.90m a 11.10m 13.35m a 13.80m 17.75m a 18.00m 20.55m a 21.10m	1					
							2.2	/														
							2.9	/														
							5.3	/		1,5	22-30-32	62	C									
							/	/														
								/		2,0	30-50/4cm	Rif	C									
				2			/	/														
							/	/														
							/	/														
							6	/														
							4.80	/														
				3			/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				4			/	/														
							/	/														
							/	/		4,5	40-50/6cm	Rif	C									
							/	/														
				5			/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				6			/	/		6,0	34-40-50/8cm	Rif	C									
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				7			/	/														
							/	/														
							/	/		7,5	28-36-50/9cm	Rif	C				2					
							4	0.80														
							/	/														
				8			/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				9			/	/		9,1	28-45-50/7cm	Rif	C									
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				10			/	/														

STRATIGRAFIA - S2

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S2
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 21/01/2019-22/01/2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :45

ø mm	Rv	Ar	As	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
																Alternanza tra argilla limosa e limo argilloso, umida, di colore marrone-rosso con variegature grigie, molto consistente-dura.						
										10,5	45-50/5cm	Rif	C			Livelli sensibilmente meno consistenti da: 0.60m a 1.40m 14.65m a 15.10m 24.60m a 25.00m						
				11												Presenza di livelli frantumati a causa estrusione carota da: 5.00m a 5.60m 9.85m a 10.20m 10.90m a 11.10m 13.35m a 13.80m 17.75m a 18.00m 20.55m a 21.10m						
				12						12,3	38-40-42	82	C									
							6.0										3					
				13						13,5	39-50/7cm	Rif	C									
				14																		
				15						15,0	27-36-47	83	C									
				16						16,5	23-33-40	73	C									
				17													4					
				18						18,0	39-50/4cm	Rif	C									
				19						19,5	30-38-50/9cm	Rif	C									
				20																		

STRATIGRAFIA - S2

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S2
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 21/01/2019-22/01/2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :45

ø mm	Rv	Ar	As	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
							/	/								Alternanza tra argilla limosa e limo argilloso, umida, di colore marrone-rosso con variegature grigie, molto consistente-dura.						
							/	/								Livelli sensibilmente meno consistenti da: 0.60m a 1.40m 14.65m a 15.10m 24.60m a 25.00m						
				21						21,2	28-32-46	78	C			Presenza di livelli frantumati a causa estrusione carota da: 5.00m a 5.60m 9.85m a 10.20m 10.90m a 11.10m 13.35m a 13.80m 17.75m a 18.00m 20.55m a 21.10m						
							/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				22			/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/		22,7	40-49-50/8cm	Rif	C				5				127	
							/	/														
				23			/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				24			/	/														
							/	/		24,3	35-40-50/9cm	Rif	C									
							/	/														
							4.3	0.85														
							4.1	4.1		24,9	22-29-37	66	C									
101				25			/	/							25,0					25,0		

Campioni:
NESSUNO

Prove in foro:
- SPT

Strumentazione installata:
NESSUNA

Caratteristiche Sonda:
Marca/Modello: SOILMAC SM-8G
Coppia: 472 Nm
Corsa utile: 37000 mm
Morse: Ømax: 200 mm

NORMATIVA DI RIFERIMENTO
A.G.I. - (1977): Raccomandazioni sulla Programmazione e d Esecuzione delle Indagini Geotecniche.
DM 11.03.88: "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.
Shelby 1;

Rilievo del livello dell'acqua nel corso della perforazione

Giorno	22/01/19															
Ora	mattina															
Livello dell'acqua (m)	0,50															
Prof. perforazione(m)	25,00															
Prof. rivestimento(m)	25,00															

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S3
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 18/01/2019-21/01/2019

PLANIMETRIA

PIAZZAMENTO

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S3
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 18/01/2019-21/01/2019

Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00

Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S3
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 18/01/2019-21/01/2019

Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00

Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S3
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 18/01/2019-21/01/2019

Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00

LEGENDA STRATIGRAFIA

ø mm	R v	A r	S	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	D E S C R I Z I O N E	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
2) Rivestimento
3) Profondità dell'acqua (rinvenimento e stabilizzazione)
4) Scala metrica con limiti delle battute (>)
5) Simbolo litologico
6) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
7) Resistenza alla punta (kg/cm²)
8) Vane test (kg/cm²)
9) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
10) Profondità di inizio della prova S.P.T.
11) Prova S.P.T.
12) Valore di Nspt
13) Tipo di punta (A = punta aperta; C = punta chiusa)
14) Percentuale R.Q.D. (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
15) Profondità della base dello strato (m)
16) Descrizione della litologia dello strato
17) Cassette catalogatrici
18) Piezometri
19) Schema geometrico del foro
20) Profondità del tratto di foro (m)
21) Diametro del tratto di foro (mm)
22) Dati tecnici

She = Shelby
Den = Denison
Ost = Osterberg
Maz = Mazier
Crp = Craps
nk3 = NK3
Ind = Indisturbato
Dis = Disturbato
SDi = Semi disturbato
SPT = SPT

Tubo aperto	*Casagrande*
tubo cieco	*tubo cieco*
finestrato	*cella drenaggio cementazione*

STRATIGRAFIA - S3

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S3
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 18/01/2019-21/01/2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :45

Pagina 1/3

ø mm	Rv	Ar	As	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
							5.5	/								Ghiaia da millimetrica a centimetrica (molto eterometrica) e ciottoli in scarsa matrice sabbiosa media e grossolana debolmente limosa, bagnata, colore marrone-grigio.						
							5.4	/														
							/	/														
							/	/														
				1			/	/														
							/	/							1,2							
							/	/								Argilla limosa, umida colore grigio con variegature marrone-rosse, molto consistente a tratti dura.						
							4	0.5								Presenza di alcune cocrezioni calcaree da 5,25m a 5,35m.						
							/	/														
				2			/	/														
							3.5	0.5														
							4.3	/														
							5.8	/									1					
							5.2	0.65														
				3			4.9	0.55		3,0	24-32-40	72	C									
							4.7	/														
							/	/														
							4	/														
							/	/														
				4			/	/														
							/	/														
							5.5	/														
S							/	/														
				5																		
							4.5	/							5,4							
																Argillite marrone con deboli variegature grigie.						
				6						6,0	38-50R/4cm	Rif	C									
															6,4							
															6,6	Argilla debolmente limosa, umida colore grigio con variegature marrone-rosse, molto consistente a tratti dura.						
																Argillite marrone fino a 7,00m poi colore grigio con variegature marroni.						
				7												Presenza di un livello frantumato a causa dello scampionamento della carota dal carotiere, da 9,00m a 9,80m.						
																	2					
				8						8,0	32-50R/3cm	Rif	C									
				9						9,0	46-50R/6cm	Rif	C			Alternanza tra argille limose e limo argilloso, umida, di colore grigio con variegature marrone-rosse, molto consistente a tratti dura.						
																Presenza di alcune sensibili variazioni di consistenza.						
																Presenza di livelli frantumati a causa dello scampionamento della carota dal carotiere:						
															9,8	da 16,90m a 18,00m;						
				10			/	/								da 20,40m a 20,80m;						

STRATIGRAFIA - S3

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S3
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 18/01/2019-21/01/2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :45

ø mm	Rv	Ar	As	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
T2				11 12 13 14 15 16 17 18 19 20			5.5 4.9 5.8 4.2 5.3 5.4 4 4.5	0.7		12,1 15,0 18,0	36-40-50R/5cm 50R/10cm 42-50R/9cm	Rif Rif Rif	C C C			Alternanza tra argille limose e limo argilloso, umida, di colore grigio con variegature marrone-rosse, molto consistente a tratti dura. Presenza di alcune sensibili variazioni di consistenza. Presenza di livelli frantumati a causa dello scampionamento della carota dal carotiere: da 16,90m a 18,00m; da 20,40m a 20,80m;	3 4					

STRATIGRAFIA - S3

Committente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Sondaggio: S3
Riferimento: BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI (MO)	Data: 18/01/2019-21/01/2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo	

SCALA 1 :45

ø mm	Rv	Ar	As	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Pt	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	Pz	FORO	prof. m	ø mm	DATI TECNICI
							/	/								Alternanza tra argille limose e limo argilloso, umida, di colore grigio con variegature marrone-rosse, molto consistente a tratti dura. Presenza di alcune sensibili variazioni di consistenza. Presenza di livelli frantumati a causa dello scampionamento della carota dal carotiere:						
				21			/	/		21,0	30-48-50R/5cm	Rif	C			da 16,90m a 18,00m; da 20,40m a 20,80m;						
							/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				22			/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/									5				127	
							/	/														
							/	/														
				23			/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
				24			/	/		24,0	32-50R/7cm	Rif	C									
							/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
							/	/														
S				25			/	/		25,0	43-48-50R/8cm	Rif	C		25,0					25,0		

Campioni:
NESSUNO

Prove in foro:
- SPT

Strumentazione installata:
NESSUNA

Caratteristiche Sonda:
Marca/Modello: SOILMAC SM-8G
Coppia: 472 Nm
Corsa utile: 37000 mm
Morse: Ømax: 200 mm

NORMATIVA DI RIFERIMENTO
A.G.I. - (1977): Raccomandazioni sulla Programmazione e d Esecuzione delle Indagini Geotecniche.
DM 11.03.88: "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.
Shelby 1;

Rilievo del livello dell'acqua nel corso della perforazione

Giorno	18/01/19	21/01/19	21/01/19													
Ora	sera	mattina	sera													
Livello dell'acqua (m)	0,75	0,90	2,40													
Prof. perforazione(m)	12,00	12,00	25,00													
Prof. rivestimento(m)	12,00	12,00	25,00													

Regione Emilia-Romagna

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE
E LA PROTEZIONE CIVILE
Viale Silvani n. 6 - 40122 Bologna (BO) Tel. : 059248733 - Fax. :059248750

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E ANALISI DI LABORATORIO PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA COD.13056, 13059, 13060, 13061 - ORDINANZA1/2017 (CIG-Z0126056FC)

BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI

Campagna delle indagini geognostiche

ANALISI SISMICA TIPO MASW

3

SUBSOIL
INDAGINI GEOLOGICHE & MONITORAGGI GEOTECNICI

SUBSOIL srl

Strada Barco, 1/C - 42027 Montecchio E. (RE)
Tel. 0522 887268 - fax 0522 249540

IMPRESA ESECUTRICE				
REV.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A		MARZO 2019	MARZO 2019	MARZO 2019
		Dott.Andrea Saracchi	Dott.Andrea Saracchi	Dott.Geol.Fabrizio Giorgini

COMMESSA: 00100019_FG

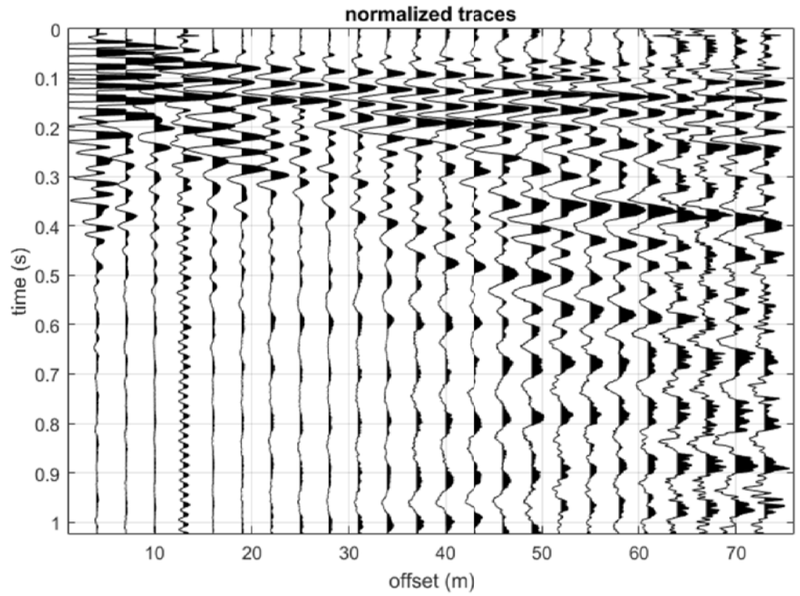
TRACCE NORMALIZZATE

dataset: mich4b.dat

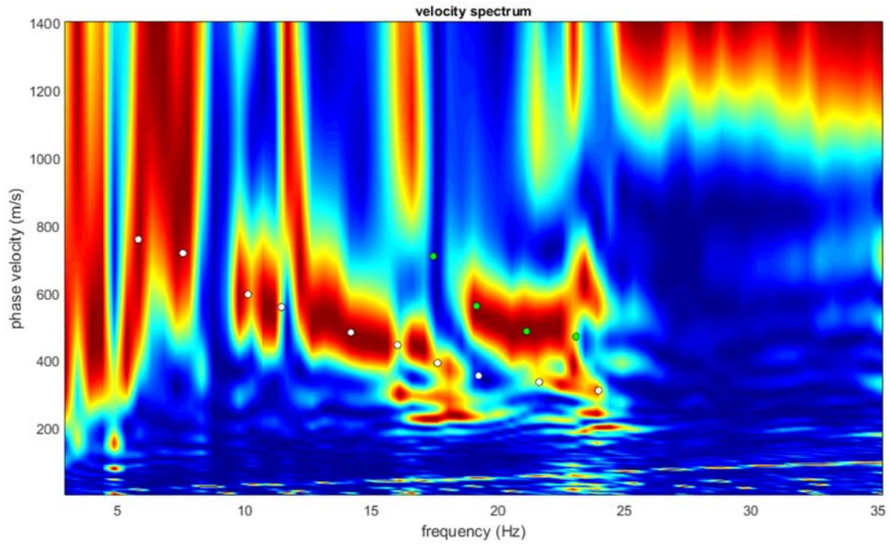
sampling: 0.25 ms

minimum offset: 4 m

geophone spacing: 3 m

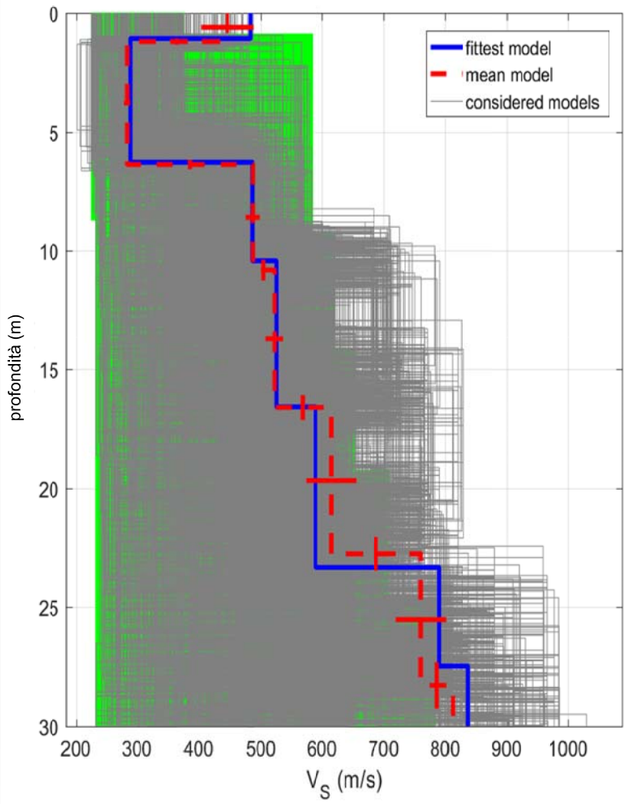


SPETTRO DI VELOCITA'

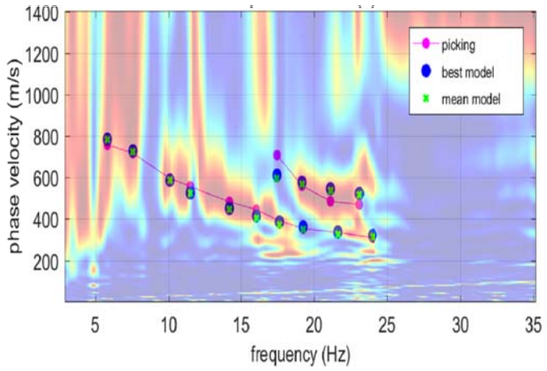


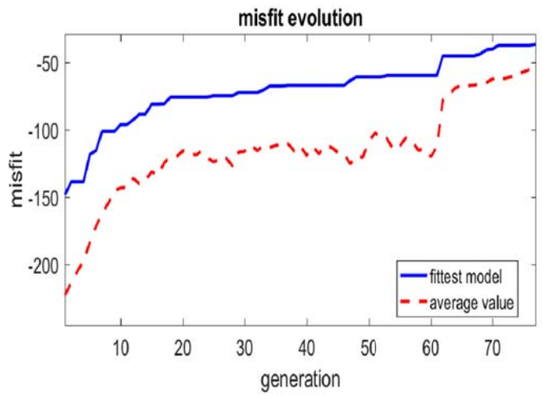
ELABORAZIONE MASW

Profilo velocità Vs



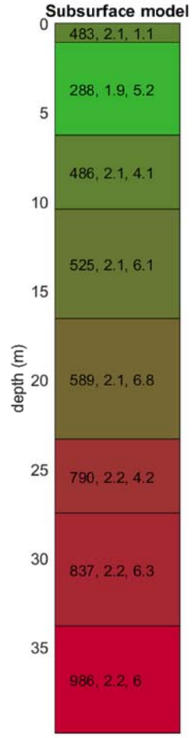
Curva di dispersione





STIMA Vs30

Sismostratigrafia



Legenda

V_S (m/s) *density* (gr/cm^3) *thickness* (m)

Stima Vs30

Vs30 (modello "migliore")***: 498 m/s***

Vs30 (modello medio)***: 495 m/s***

Software di elaborazione: winMASW

SUBSOIL Srl
Strada per Barco 1/c
42027 Montecchio Emilia (RE)
Tel. 0522 887268 - fax 0522 249540

Indagini geognostiche, geofisiche e analisi di laboratorio propedeutiche alla progettazione definitiva/esecutiva degli interventi di messa in sicurezza idraulica COD. 13056, 13059, 13060, 13061.

COMMITTENTE: **Regione Emilia Romagna**

OGGETTO: **INDAGINI GEOFISICHE**

LOCALITA': **Briglia San Michele dei Mucchietti - Modena**

TAVOLA: **1 - Indagine sismica MASW**

DATA: **20/02/2019**

REDATTO
Dott. A. Saracchi

APPROVATO
Dott. geol. F. Giorgini

Regione Emilia-Romagna

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE
E LA PROTEZIONE CIVILE
Viale Silvani n. 6 - 40122 Bologna (BO) Tel. : 059248733 - Fax. :059248750

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E ANALISI DI LABORATORIO PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA COD.13056, 13059, 13060, 13061 - ORDINANZA1/2017 (CIG-Z0126056FC)

BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI

Campagna delle indagini geognostiche

PROVA SINGOLA A STAZIONE SINGOLA TIPO HVSR **4**

SUBSOIL
INDAGINI GEOLOGICHE & MONITORAGGI GEOTECNICI

SUBSOIL srl

Strada Barco, 1/C - 42027 Montecchio E. (RE)
Tel. 0522 887268 - fax 0522 249540

IMPRESA ESECUTRICE				
REV.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A		MARZO 2019	MARZO 2019	MARZO 2019
		Dott.Andrea Saracchi	Dott.Andrea Saracchi	Dott.Geol.Fabrizio Giorgini

COMMESSA: 00100019_FG

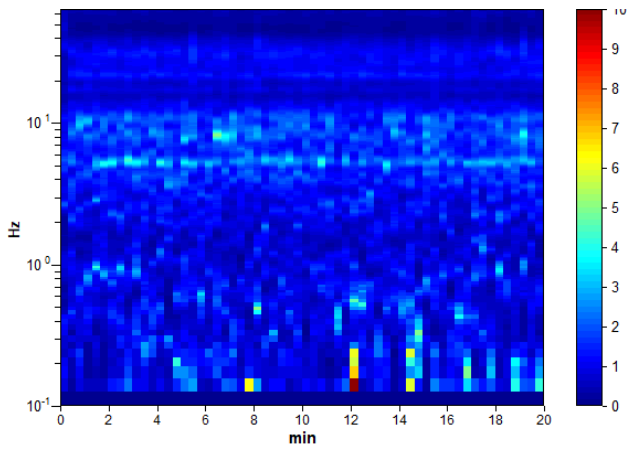
COMMITTENTE: Regione Emilia Romagna
Cantiere: Briglia San Michele dei Mucchietti

Instrument: TE3-0242/01-17
Data format: 32 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 18/01/19 11:27:31 End recording: 18/01/19 11:47:31
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

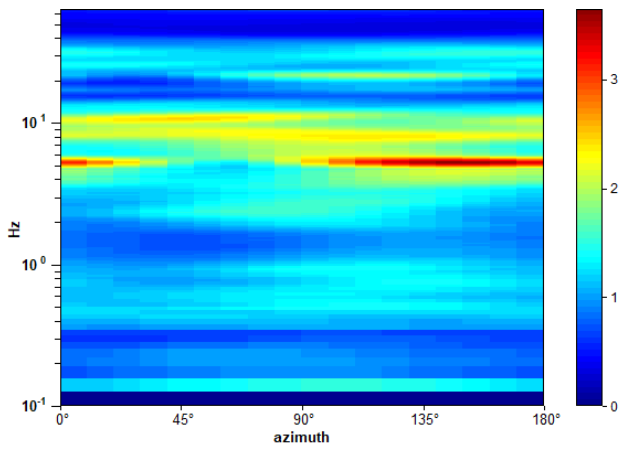
Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

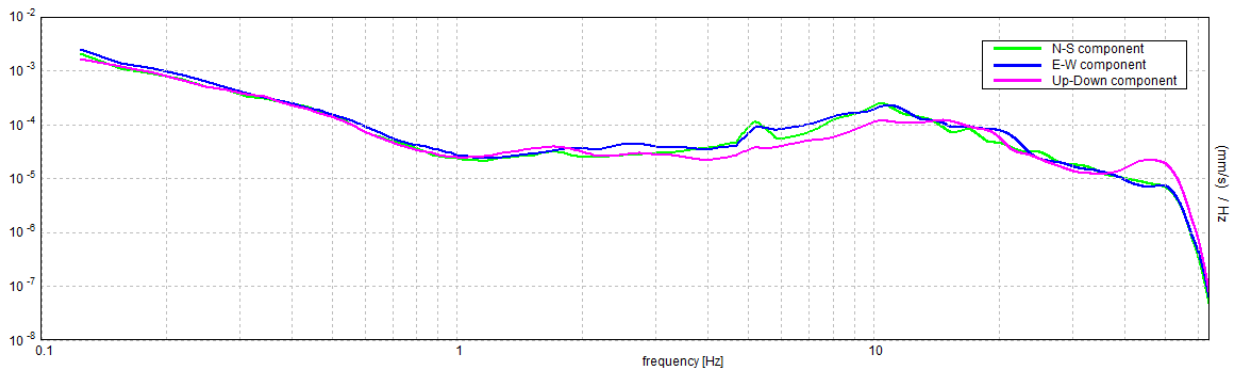
H/V TIME HISTORY



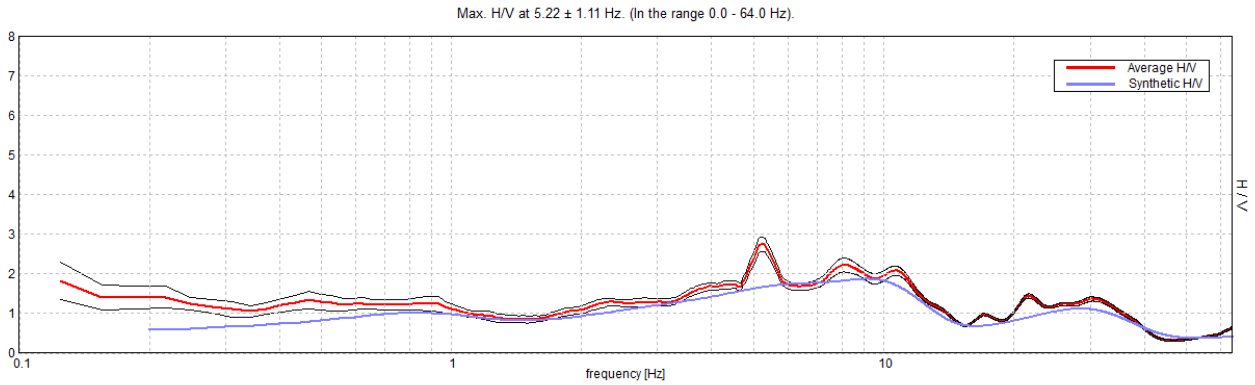
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

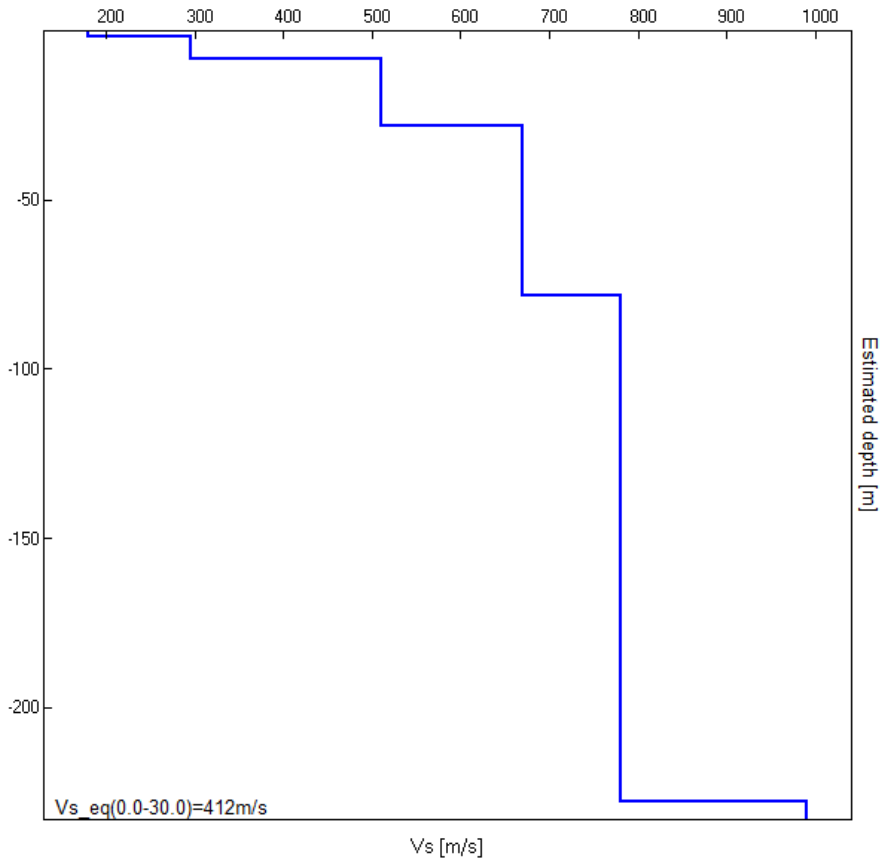


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.55	1.55	180	0.45
8.05	6.50	295	0.42
28.05	20.00	510	0.40
78.05	50.00	670	0.40
228.05	150.00	780	0.40
inf.	inf.	990	0.38

Vs_eq(0.0-30.0)=412m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 8.09 ± 0.81 Hz (in the range 6.0 - 10.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	8.09 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	9712.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 390 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	13.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.23 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.09966| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.80665 < 0.40469		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1807 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Regione Emilia-Romagna

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE
E LA PROTEZIONE CIVILE
Viale Silvani n. 6 - 40122 Bologna (BO) Tel. : 059248733 - Fax. :059248750

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E ANALISI DI LABORATORIO PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA COD.13056, 13059, 13060, 13061 - ORDINANZA1/2017 (CIG-Z0126056FC)

BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI

Campagna delle indagini geognostiche

PROVA FISICA TIPO GEOELETTRICA

5

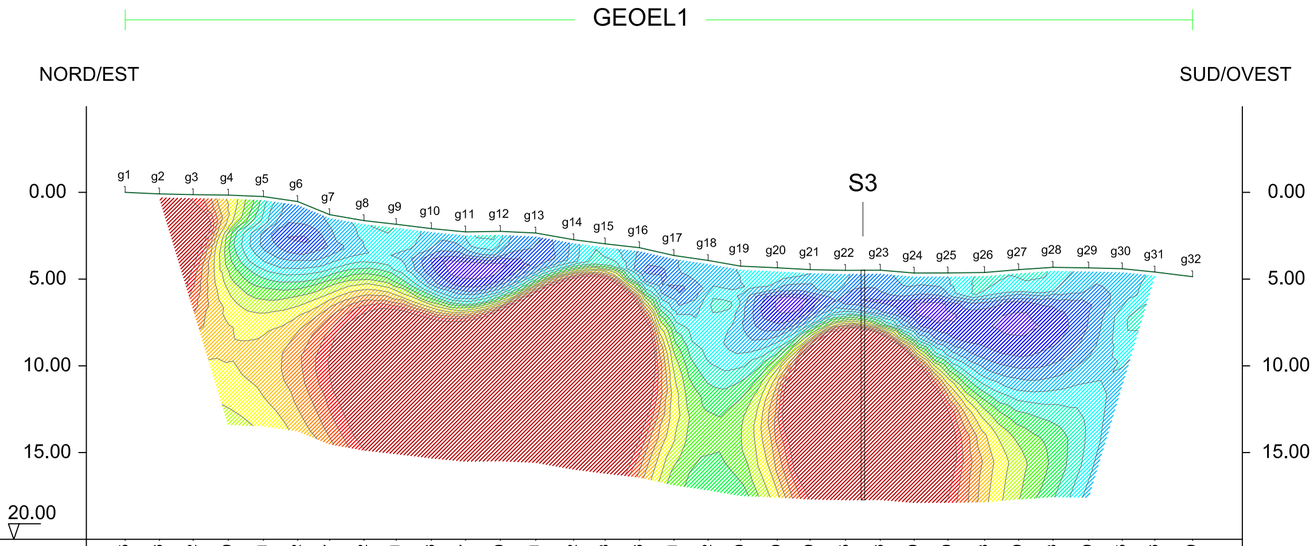
SUBSOIL
INDAGINI GEOLOGICHE & MONITORAGGI GEOTECNICI

SUBSOIL srl

Strada Barco, 1/C - 42027 Montecchio E. (RE)
Tel. 0522 887268 - fax 0522 249540

IMPRESA ESECUTRICE				
REV.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A		MARZO 2019	MARZO 2019	MARZO 2019
		Dott.Andrea Saracchi	Dott.Andrea Saracchi	Dott.Geol.Fabrizio Giorgini

COMMESSA: 00100019_FG



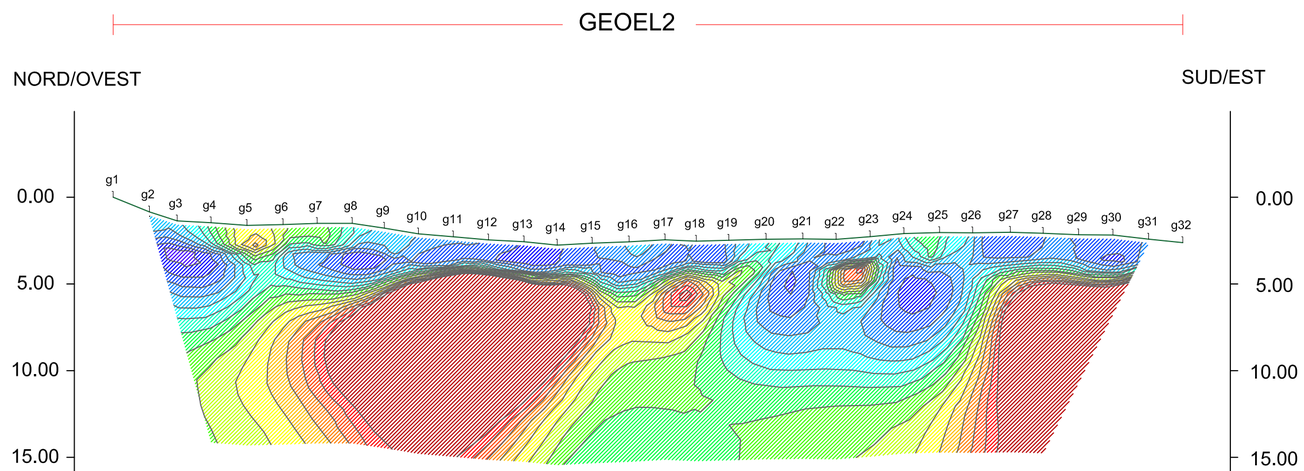
Quota	131.35	131.26	131.22	131.19	131.11	130.82	130.07	129.72	129.51	129.26	129.07	129.10	129.01	128.62	128.38	128.16	127.71	127.42	127.10	127.00	126.89	126.85	126.86	126.70	126.70	126.73	126.89	127.03	126.99	126.95	126.76	126.49
Progressiva	0.00	1.98	3.93	5.95	7.98	9.95	11.79	13.77	15.63	17.66	19.63	21.63	23.67	25.86	27.67	29.65	31.64	33.61	35.48	37.60	39.49	41.53	43.54	45.49	47.43	49.55	51.51	53.49	55.55	57.48	59.36	61.54
Parziale		1.98	1.95	2.03	2.03	1.97	1.84	1.98	1.87	2.03	1.97	2.01	2.04	2.19	1.82	1.98	1.98	1.98	1.87	2.12	1.89	2.04	2.01	1.95	1.95	2.11	1.96	1.98	2.06	1.94	1.88	2.17

Resistività

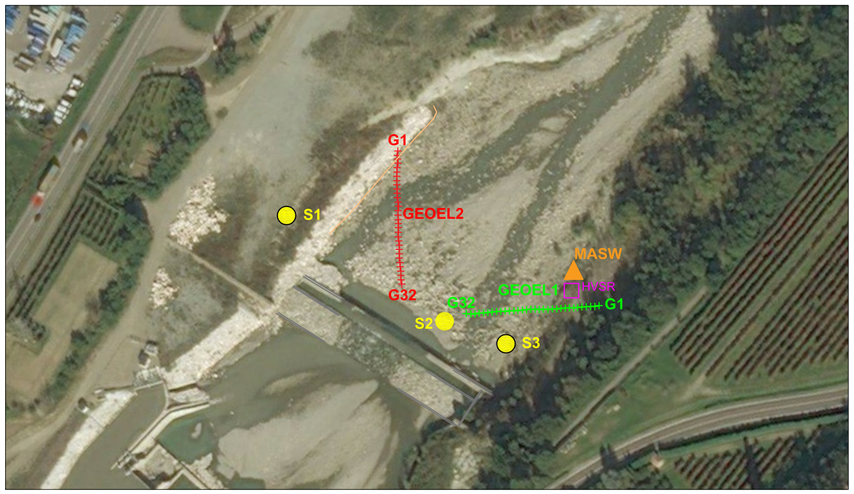
Ohm m

25 75 125 175 225 275 325 375

SCALA 1:250



Quota	129.10	128.26	127.74	127.63	127.48	127.53	127.60	127.59	127.32	126.99	126.82	126.64	126.54	126.34	126.45	126.53	126.65	126.57	126.62	126.68	126.70	126.68	126.83	127.01	127.07	127.05	127.08	127.02	126.94	126.92	126.69	126.48
Progressiva	0.00	2.09	3.70	5.65	7.72	9.79	11.77	13.79	15.64	17.60	19.61	21.64	23.69	25.60	27.62	29.75	31.82	33.62	35.49	37.64	39.77	41.68	43.64	45.59	47.64	49.55	51.72	53.62	55.66	57.64	59.70	61.66
Parziale		2.09	1.60	1.95	2.07	2.08	1.97	2.02	1.85	1.96	2.01	2.03	2.04	1.91	2.02	2.13	2.07	1.80	1.87	2.15	2.12	1.91	1.96	1.95	2.05	1.91	2.17	1.90	2.04	1.98	2.06	1.97



Regione Emilia-Romagna

PROTEZIONE CIVILE REGIONE EMILIA-ROMAGNA

INDAGINE GEOELETTRICA BRIGLIA SAN MICHELE DEI MUCCHIETTI

"INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E ANALISI DI LABORATORIO PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA CON CODICE 13056, 13059, 13060, E 13061 DI CUI ALL'ORDINANZA N.1 DEL 28 DICEMBRE 2017" BANDO MEPA "LAVORI DI MANUTENZIONE DI OPERE SPECIALIZZATE - OS20B INDAGINI GEOGNOSTICHE" CIG Z0126056FC .

INDAGINE GEOELETTRICA

TAVOLA n. **5**

SUBSOIL INDAGINI GEOLOGICHE & MONTORAGGI GEOTECNICI

SUBSOIL srl

Strada Barco, 1/C - 42027 Montecchio E. (RE)
Tel. 0522 887268 - fax 0522 249540

IMPRESA ESECUTRICE				
REV.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A		FEBBRAIO 2019 Dott. Andrea Saracchi	FEBBRAIO 2019 Dott. Roberto Spagni	FEBBRAIO 2019 Dott.Geol.Fabrizio Giorgini

COMMESSA: 00100019_FG