

**Fiume Panaro**

MO-E-1358 / MO-E-1363

CUP: **B98E18000340002**

CUP: **B83H20000150001**

CIG:



# AIPO

Agenzia Interregionale per il fiume Po

## PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

### Intervento A

**Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO**

(ordinanza n.1 del 28/12/2017 cod. 13064)

### Intervento B

**Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO**

ELABORATO

**Relazione geologica, geotecnica e sismica**

UBICAZIONE OPERE

Comune di San Cesario sul Panaro  
Comune di Spilamberto

DATA: Marzo 2020

AGG. -

SCALA:

-

COMMITTENTE

**AIPO - Direzione territoriale Idrografica Emilia Orientale**  
**Ufficio operativo di Modena**

Strada Attiraglio, 24 - 41122 Modena

tel. + 39 059225244

fax. + 39 059220150

e-mail: ufficio-mo@cert.agenziapo.it

Raggruppamento temporaneo d'impresa

**POLARIS - STUDIO ASSOCIATO**



Legale rappresentante  
**Ing. Luciano Corradini**

Il responsabile di progetto e dell'integrazione  
delle prestazioni specialistiche  
**Ing. Luciano Corradini**

R.U.P.  
**Ing. Federica Pellegrini**

**ART Ambiente Risorse Territorio S.r.l.**



Legale rappresentante  
**Ing. Marco Andreoli**

Il geologo  
**Geol. Giovanni Carra**

Il coordinatore della sicurezza in fase di progettazione  
**Ing. Ugo Bernini**

Supporto al R.U.P.  
**Geol. Stefano Parodi**

# 2.2.1





#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

## **1. Scopo del documento**

La presente relazione geologica, geotecnica e sismica è redatta a supporto degli interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i comuni di San Cesario sul Panaro (MO) in destra idrografica, e Spilamberto (MO) in sinistra idrografica (Figura 1-1).



*Figura 1-1 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 l'azione sismica locale, sulla base della campagna di indagini geognostiche e geofisiche eseguita dalla Ditta Eurogeo S.r.l., incaricata dalla REGIONE EMILIA ROMAGNA - Agenzia Regionale per la sicurezza territoriale e la Protezione civile.

### **2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE



#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

## **2. Inquadramento geologico e geomorfologico**

### **2.1. Geologia**

L'area ricade nella fascia di alta pianura modenese, lungo la conoide del fiume Panaro. Dal margine collinare modenese il corso d'acqua incide formazioni costituite prevalentemente da terreni argillosi e marnoso-arenacei, appartenenti ai complessi delle unità liguri ed epiliguri ed ai depositi Pliocenici-Quaternari marini, che caratterizzano il margine padano.

Il complesso dei sedimenti che costituiscono la conoide 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.

La zona mediana e settentrionale di apice della pianura modenese, che si sviluppa ai piedi dell'Appennino settentrionale e che è delimitata lateralmente dai fiumi Secchia Tiepido e Panaro, si raccorda con il solco vallivo intercollinare a quote comprese fra 120 e 150 metri, in cui affiorano le successioni argillose del ciclo plio-pleistocenico. Il passaggio tra la sedimentazione marina e quella continentale è contraddistinto da depositi di transizione, quali sabbie e ghiaie di ambiente litorale e da peliti sabbiose e ghiaie di delta.

L'assetto attuale del territorio in esame deriva da una complessa azione tettonica che ha dato origine all'Appennino settentrionale e al bacino padano.

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 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 Liguri si suddividono in "Liguri Interne" e "Liguri Esterne", mentre l'Unità Umbro-Toscana comprende un "Dominio Toscano" 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 (Figura 2-1).

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.

#### **2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

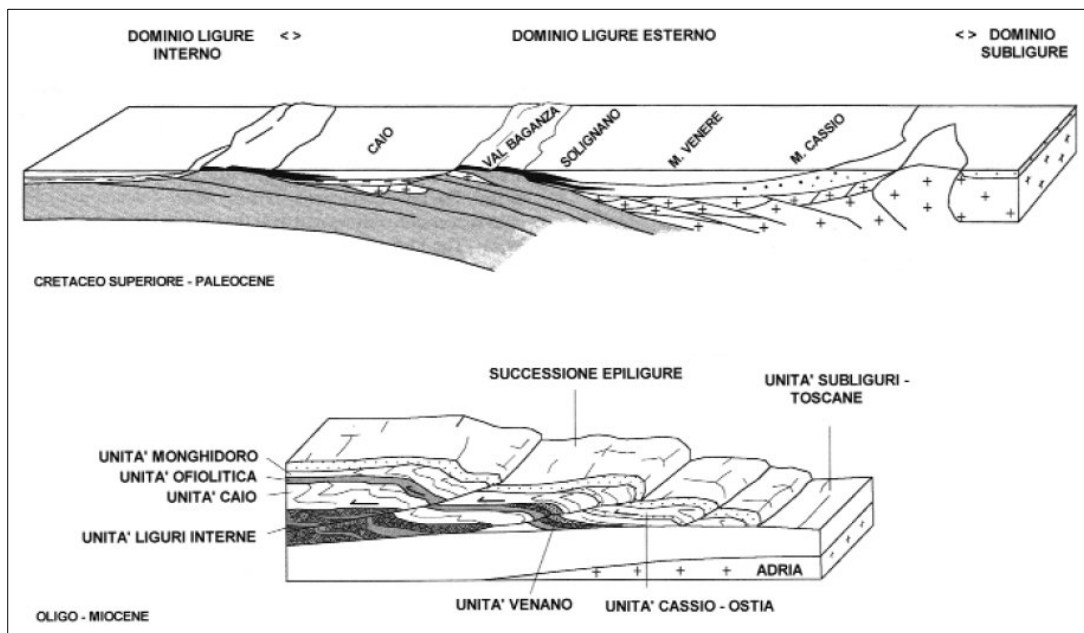


Figura 2-1 Ricostruzione paleogeografica del dominio ligure esterno e assetto strutturale generale delle liguridi esterne nella trasversale dell'appennino modenese (Daniele e Plesi, 2000)

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 (F. Secchia, T. Tiepido e F. Panaro), 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-quadernaria.

Le principali linee tettoniche presenti nell'area di studio costituiscono il Fronte di accavallamento pedeappenninico (Pedeappenninic Thrust Front = PTF), coincidente con il margine morfologico appenninico, che si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani, in direzione NW-SE. Il fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici, tra i quali, nell'area in esame, dalla linea del F. Panaro.

Le coperture quadernarie, come riportato nello stralcio cartografico tratto dalla Carta Geologica dell'Emilia-Romagna (Figura 2-2), sono attribuibili ai depositi alluvionali appartenenti al Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (Pleistocene medio - Olocene), in particolare, al Subistema di Ravenna (AES8), e qui rappresentato dall'Unità di Modena (AES8a) affiorante lungo i piani golenali.

L'approfondimento del fondo alveo ha portato in affioramento, nel tratto di monte tra Vignola e Spilamberto, del substrato roccioso, costituito in prevalenza dalla formazione delle Argille Azzurre (FAA).

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

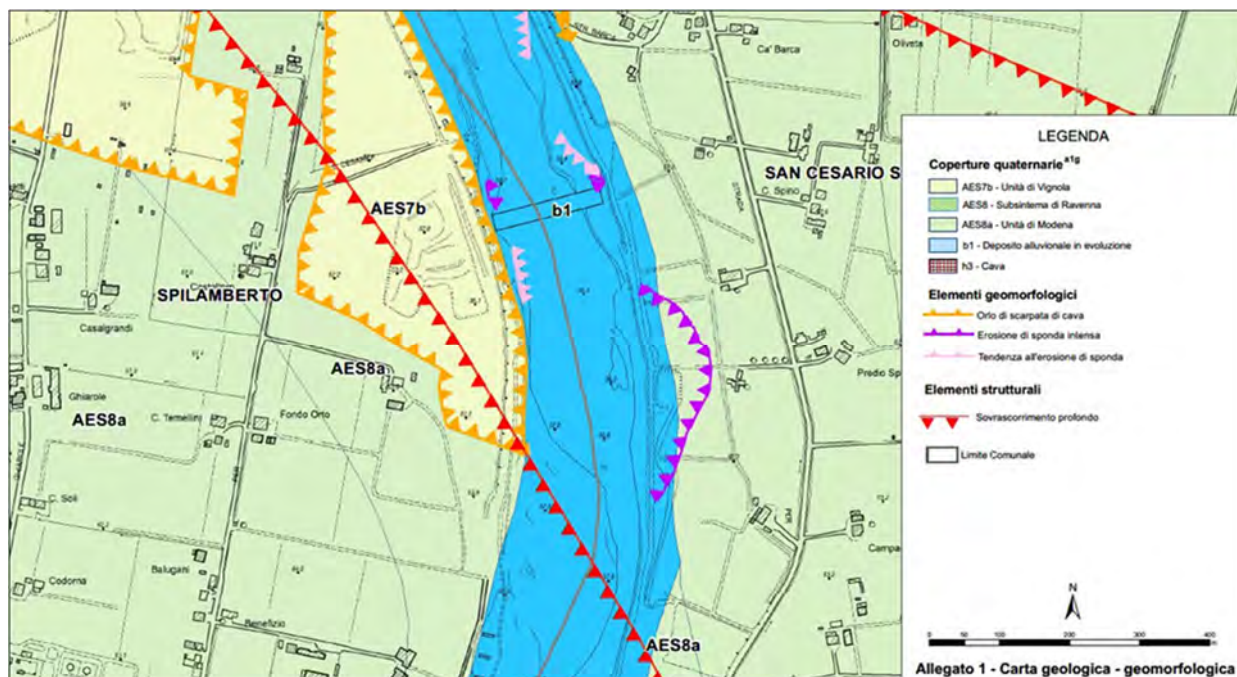


Figura 2-2 Stralcio della Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna scala 1:10.000, rielaborata.

Di seguito vengono descritte le principali coperture quaternarie e unità geologiche presenti nell'area d'intervento.

#### Coperture quaternarie:

##### Depositi alluvionali in evoluzione (b1)

Depositi alluvionali del F. Panaro costituiti da ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa.

##### Olocene

##### Subsintema di Ravenna (AES8)

La sedimentazione dell'unità si sviluppa estesamente in condizioni di piana inondabile e rappresenta l'intero spessore dei sedimenti, prevalentemente fini, depositi nell'ultimo postglaciale. 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 zone più depresse della 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, non decarbonatato. I terrazzi più antichi si trovano a quote di oltre 5 metri rispetto l'attuale corso del Panaro e non sono pertanto più raggiungibili dalle acque.

##### Pleistocene Superiore - Olocene

#### Unità geologiche:

##### Argille Azzurre (FAA)

Marne argillose e siltose, talora sabbiose, grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, spesso a stratificazione poco evidente per bioturbazione e scarsa differenziazione granulometrica. Nella parte inferiore della formazione sono localmente presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e silti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Sempre frequenti i microfossili

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

(Foraminiferi e Ostracodi): variabile la concentrazione di malacofaune a Gasteropodi e Lamellibranchi, sia come biosomi che come bioclasti. Nella parte alta sono presenti “slumps”, non cartografabili per l'esiguità degli spessori e intercalazioni arenacee e arenaceo-pelitiche.

*Pliocene Inferiore – Pleistocene Inferiore*

## **2.2. Geomorfologia**

Il tratto del F. Panaro oggetto di studio è stato caratterizzato da modificazioni significative dell'assetto plano-altimetrico, in relazione agli interventi antropici di stabilizzazione del profilo longitudinale di fondo alveo, a salvaguardia della presenza di numerose infrastrutture di attraversamento stradale e ferroviario.

L'alveo attuale, si presenta monocursale rettilineo, interessando i territori comunali di Spilamberto (MO) in sinistra idrografica, e di San Cesario sul Panaro (MO), in destra idrografica.

Il piano golenale, dove sorge l'abitato di Spilamberto, rappresenta l'ordine di terrazzo superiore, costituito da un corpo sedimentario prevalentemente ghiaioso e sabbioso, caratterizzato da una superficie sommitale, sub-orizzontale, con lieve pendenza verso NNE, profondamente incisa dal corso del F. Panaro.

Lungo entrambe le sponde è presente una scarpata d'erosione fluviale che presenta un'incisione netta rispetto all'alveo attivo, con dislivello superiore ai 5 metri (Figura 2-3).



*Figura 2-3 Incisione del fiume Panaro a monte della briglia selettiva, in destra idrografia*

Le cause principali di tale abbassamento sono legate all'azione dell'uomo, con la costruzione di opere di contenimento dei livelli idrici nel tratto di valle di pianura e all'intensa attività di escavazione in alveo avvenuta a metà del secolo scorso (Figura 2-4).

### **2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 5/47





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO



Figura 2-4 Confronto tra sezioni di rilievo fluviale AIPO Panaro 1969, in viola, e AIPO Panaro 1991, in verde, (Fonte Geoportale AIPO), a monte della briglia selettiva.

A contrasto del progressivo abbassamento del fondo alveo, al fine di salvaguardare le opere di attraversamento, sono state costruite numerose opere di regimazione idraulica trasversale, mediante la realizzazione di briglie/traverse, subito a valle dei principali ponti stradali e ferroviari e lungo le maggiori discontinuità altimetriche. Tali opere hanno stabilizzato localmente il profilo longitudinale di fondo di questo tratto del corso del Panaro.

A causa della dinamicità del corso d'acqua e della sua elevata pendenza di fondo, si sono avuti, nel corso degli eventi alluvionali più intensi, fenomeni di erosione di fondo a valle di alcune briglie esistenti, che hanno portato ad un principio di scalzamento al piede delle opere, minacciandone la stabilità.

A seguito degli ultimi eventi alluvionali a monte della briglia selettiva si è avuto un progressivo arretramento della sponda destra per circa 50-60 m, in parte limitato dal recente intervento da parte di AIPO, mediante la realizzazione di una scogliera in massi al piede della lunata di erosione.



Figura 2-5 Evoluzione planimetrica della sponda destra, a monte della briglia selettiva, dal 2011 al 2019.

A valle della briglia selettiva si sono verificati fenomeni di scalzamento ed erosione lungo le sponde che hanno compromesso la stabilità dell'opera. In particolare, allo stato attuale è danneggiata la soglia in massi cementati subito a valle della briglia, con presenza di profonde incisioni lungo le sponde che hanno interessato le opere di fondazione della stessa.

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



Figura 2-6 Scalzamento al piede della briglia selettiva



Figura 2-7 Erosione lungo la sponda in sinistra idrografica e scalzamento al piede a valle della briglia selettiva

#### **2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

## 2.3. Idrogeologia

L'assetto litostratigrafico desunto dal rilievo geologico e dalle indagini geognostiche eseguite, vede la presenza di depositi alluvionali in precedenza citati sovrapposti 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, 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 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 Castlenuovo Rangone – Spilamberto -Crespellano, a sud della via emilia.

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 artesiane 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 contengono una falda superficiale di subalveo che progressivamente si disperde verso valle a prevalente circolazione da sud in direzione N-NE. I depositi 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 profondo è costituito da argille e argille limose e sabbiose da compatte a molto compatte a scarsa permeabilità, e confina l'acquifero superficiale.

Il corso d'acqua del fiume Panaro qui assume prevalentemente un'azione drenante della falda nei periodi di magra, a causa dell'assetto morfologico incassato rispetto alla piana golenale.

Dal punto di vista idrogeologico è possibile affermare che risulta caratterizzato dalla presenza di una falda libera superficiale ad alta trasmissività soggetta a consistenti fluttuazioni di livello legate al regime delle precipitazioni e dal livello idrometrico del Panaro e di una falda compartimentata in pressione in profondità.

### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

### 3. Indagini geognostiche e geofisiche

La campagna di indagini geognostiche e geofisiche è stata condotta dalla ditta Eurogeo S.r.l. nel mese di Agosto 2019.

In particolare, sono stati eseguiti:

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



Figura 3-1 Ubicazione delle indagini geognostiche e geofisiche (in arancio i sondaggi S1 e S2 a carotaggio continuo, in rosso la MASW in sinistra e in azzurro in destra idrografica, in giallo la HVSr)

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, non è stato possibile prelevare dei campioni indisturbati da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio, data la natura incoerente dei depositi per tutta la profondità dei sondaggi.

Si rimanda per i dettagli sulle modalità di esecuzione ai certificati di prova allegati al presente documento nel verbale lavori redatto dalla ditta Eurogeo.

#### 3.1. Sondaggi a carotaggio continuo

I due sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti lungo le verticali fino a 20 m di profondità dal p.c. per il sondaggio S1, posto in sinistra idrografica, e per il sondaggio S2, in destra idrografica, 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.

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

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 alloggiare 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".

Nelle seguenti tabelle riassuntive sono riportate le profondità e i risultati dei numeri di colpi  $N_{SPT}$ .

Sondaggio	Prova	Quota inizio da p.c. (m)	N1	N2	N3	$N_{spt}$
S1	SPT1	2,0	10	10	18	28
	SPT2	4,0	6	9	15	24
	SPT3	6,0	7	8	13	21
	SPT4	8,0	10	12	15	27
	SPT5	10,0	9	11	18	29
	SPT6	12,0	15	17	20	37
	SPT7	16,0	20	24	32	56
	SPT8	18,0	31	28	8	36

Tabella 3-1 Prove in foro SPT sondaggio S1

Sondaggio	Prova	Quota inizio da p.c. (m)	N1	N2	N3	$N_{spt}$
S2	SPT1	2,0	21	12	17	29
	SPT2	4,0	10	13	15	28
	SPT3	6,0	15	42	50/rif	rifiuto
	SPT4	8,0	20	23	35	58
	SPT5	10,0	18	24	35	59
	SPT6	12,0	22	27	38	65
	SPT7	14,0	28	30	30	60
	SPT8	16,0	25	30	28	58

Tabella 3-2 Prove in foro SPT sondaggio S2

### 3.2. Indagini geofisiche

Ad integrazione delle indagini geognostiche sono state eseguite indagini geofisiche di tipo MASW e HVSr per la caratterizzazione delle  $V_{s30}$ .

#### 3.2.1. 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), lungo due stendimenti posti in sinistra e destra idrografica del fiume Panaro.

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

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 avvalorata la veridicità.

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

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

L'analisi delle onde superficiali di Rayleigh è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 5 m.

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit. Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico.

Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking . n. 5 stack impostati per ogni array).

La sorgente è stata posta ad una distanza di 10 m dal primo geofono ("Optimum Field Parameters of an MASW Survey", Park et al., 2005; Dal Moro, 2008, Dal Moro 2012). La strumentazione utilizzata per la prova MASW è un sismografo SUMMIT DMT. La frequenza di campionamento è stata 0,25 s e la durata di registrazione 2,45 s.

L'indagine con la metodologia MASW consente di ricostruire con un elevato dettaglio l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (Vs-z); i modelli sismici monodimensionali costituiscono infatti la base di partenza per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica locale.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$ : spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ : velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N: numero di strati;

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S \geq 800$  m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Sulla

### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

base del valore calcolato di Vs30 vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente (viene indicata in rosso quella riferita al terreno in esame):

Categoria sottosuolo	Descrizione	spessore	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	
		m	da	a
<b>A</b>	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.	Qualsiasi	Qualsiasi	≥ 800
<b>B</b>	<i>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 fra 360 m/s e 800 m/s.</i>	> 30 m	360	800
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori delle velocità equivalenti compresi fra 180 e 360 m/s.	> 30 m	180	360
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori delle velocità equivalenti compresi fra 100 e 180 m/s.	> 30 m	100	180
<b>E</b>	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.	Fino a 30 m	D	C

Tabella 3-3 Categorie di sottosuolo secondo le NTC2018

I dati sperimentali sono stati trasferiti su PC e interpretati attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione SWAN version 1.4 della ditta Geostudi Astier.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

multiple). Sullo spettro di frequenza viene eseguito un “picking” attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze.

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l’analisi della curva di dispersione e l’ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon “fitting” con i valori sperimentali.

L’analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall’andamento della velocità delle onde di taglio  $V_s$  in funzione della profondità. Dall’inversione delle curve di dispersione si ottengono i modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, ciascuno rappresentativo dell’area investigata. La teoria interpretativa del metodo sismico MASW fa riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi il profilo stratigrafico delle onde di taglio ( $V_s$ ) ottenuto è da considerarsi un dato mediato, monodimensionale, riferito per convenzione al centro dello stendimento, che non tiene conto di eventuali eterogeneità laterali nelle caratteristiche elasto-dinamiche e della presenza di pendenze significative.

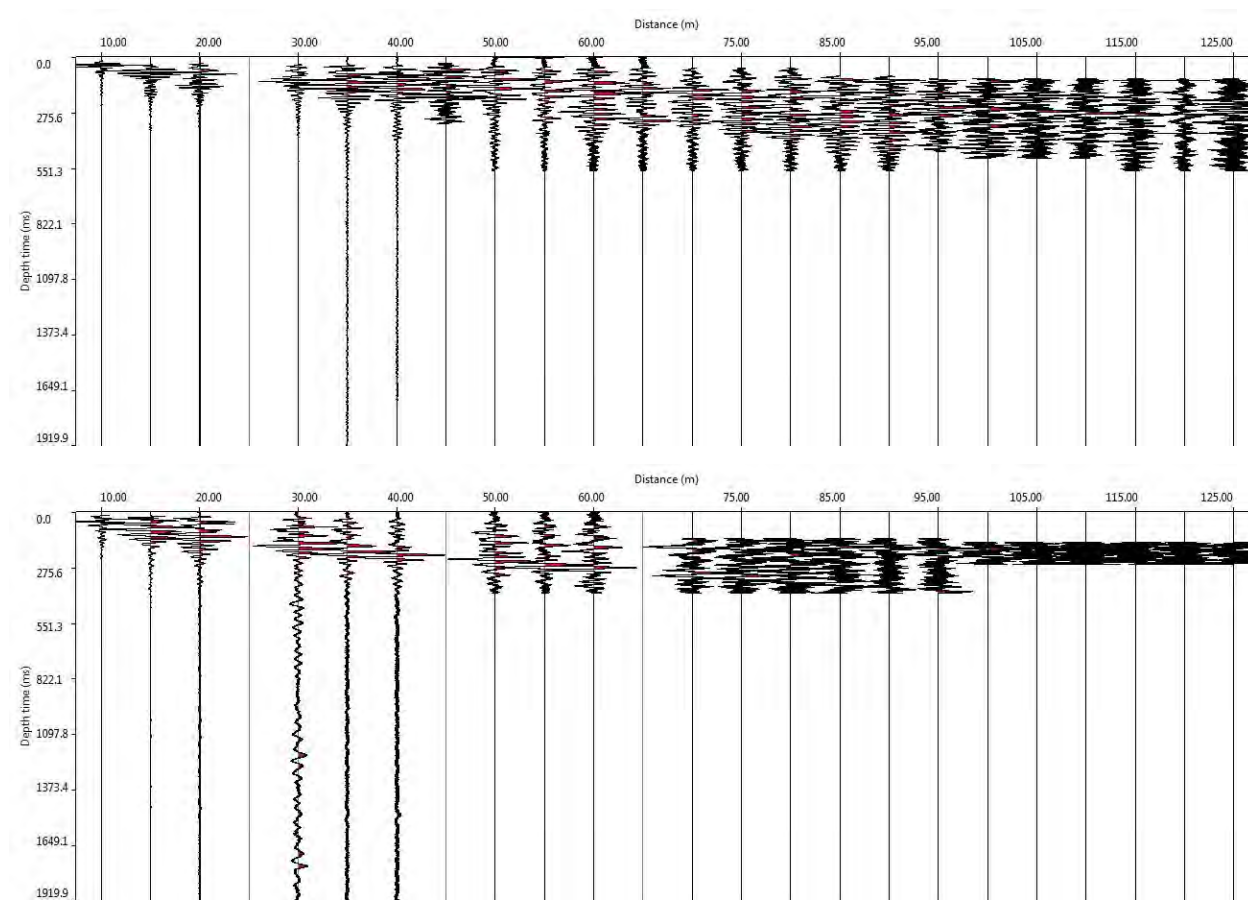


Figura 3-2 Sismogrammi nel dominio spazio/tempo rispettivamente sponda sx e dx idrografica

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

Nome	N Geofoni	Spaziatura geofoni	Lunghezza siesa	Distanza shoot	Lunghezza totale	Ubicazione centro stendimento		Vseq m/sec	Categoria suolo
						Latitudine	Longitudine		
SXidro	24	5	120	10	130	44,547019°N	11,032410°E	632	B
DXidro	24	5	120	10	130	44,545910°N	11,035022°E	609	B

Tabella 3-4 Velocità  $V_{s,eq}$  per MASW in sinistra e destra idrografica

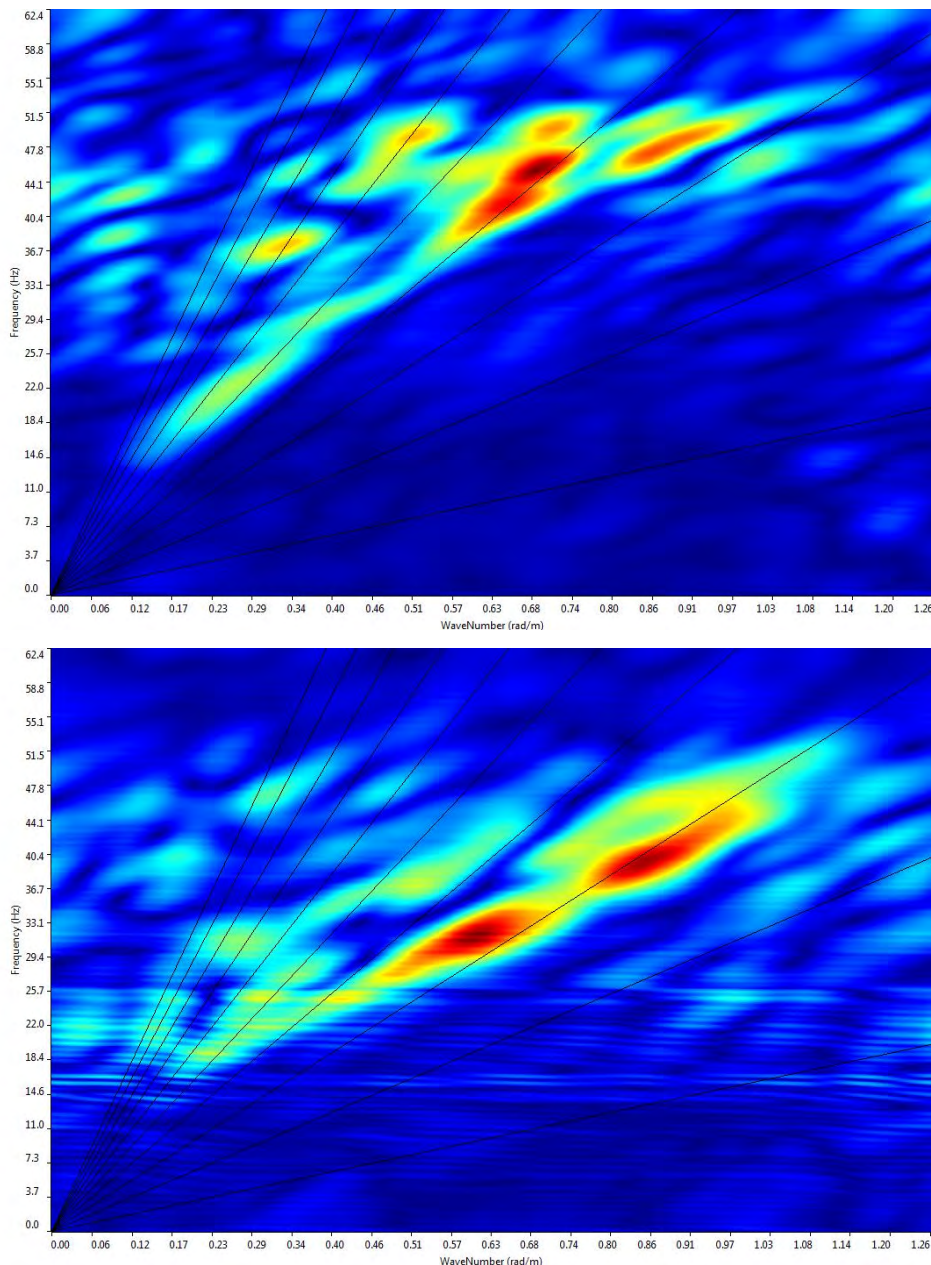


Figura 3-3 Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda – frequenza rispettivamente sponda sinistra e destra idrografica

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

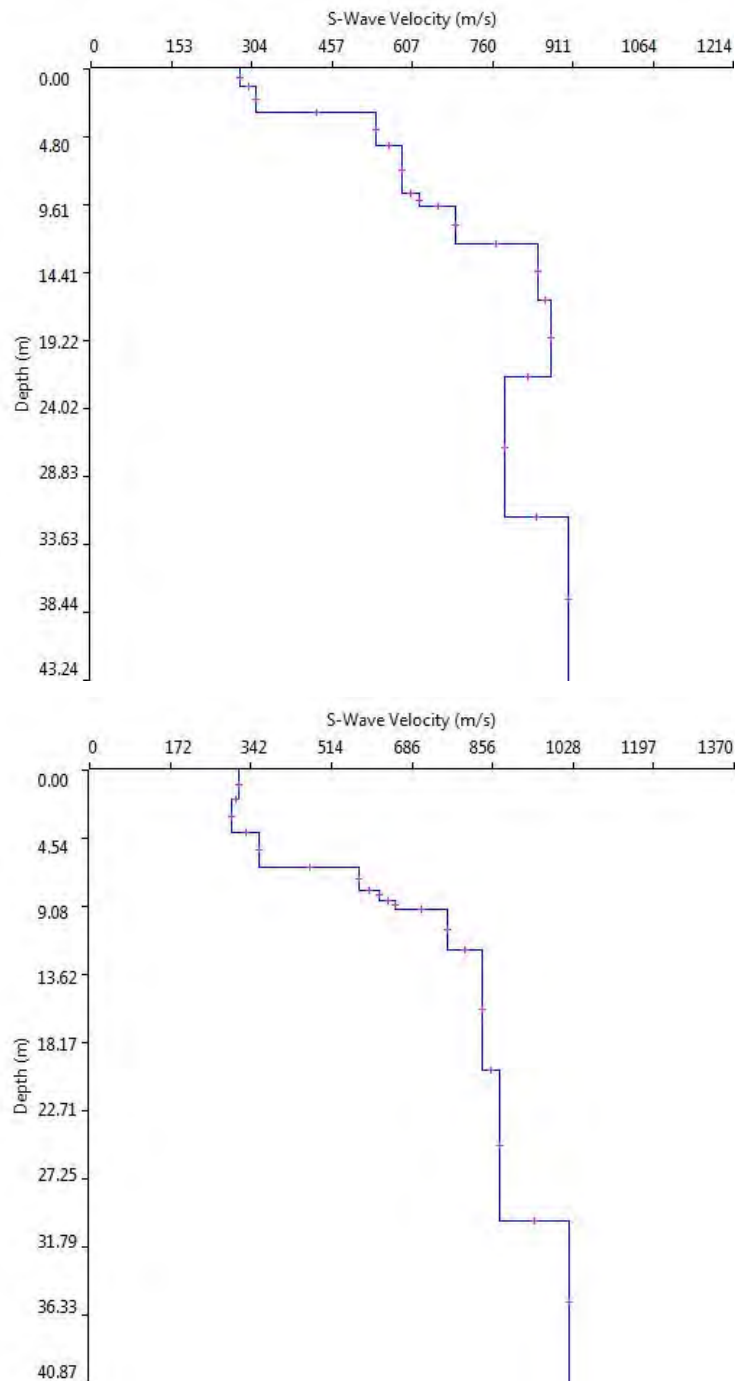


Figura 3-4 Grafico velocità (m/s) / profondità (m) delle onde di taglio Vs rispettivamente sponda sinistra e destra idrografica

La teoria interpretativa del metodo sismico MASW fa riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi il profilo stratigrafico delle onde di taglio (Vs) ottenuto è da considerarsi un dato mediato, monodimensionale, riferito

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

per convenzione al centro dello stendimento, che non tiene conto di eventuali eterogeneità laterali nelle caratteristiche elasto-dinamiche e della presenza di pendenze significative. Il valore di  $V_{seq}$  pertanto, riferito al p.c., è risultato pari compreso tra 609 e 632 m/s, valore che pone il sito nella **categoria di sottosuolo B**, secondo il D.M. 17.01.2018 (NTC 2018).

### 3.2.2. 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.

Il sistema di prova presenta diversi vantaggi:

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

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva di tipo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo Nakamura) non permette un dettaglio come altri sistemi quali sismica a rifrazione o down-hole, ma è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito, le quali sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un tromografo digitale, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti). Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza). Attraverso la tecnica HVSR è possibile:

- valutare in maniera quantitativa gli effetti di sito (risposta sismica locale e suscettibilità alla liquefazione del terreno);
- ricavare il profilo delle velocità delle onde S con la profondità e calcolare il parametro  $V_{s30}$ ;

Si riportano gli spettri H/V e V registrati nel sito di misura. Nello spettro H/V sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro V (Up-Down component in legenda), fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi H/V come frequenze di risonanza del terreno. L'indice di vulnerabilità del sito ( $K_g$ ) viene calcolato facendo riferimento ai soli picchi stratigrafici dello spettro H/V posti a frequenze inferiori o prossime a 10 Hz, in quanto quelli presenti a frequenze superiori non sono significativi dal punto di vista della vulnerabilità sismica. Nel caso in esame i picchi H/V stratigrafici significativi individuati hanno fornito valori di  $K_g$  inferiori a 1. Il sito può essere perciò classificato come a bassa vulnerabilità sismica. La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati.

### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

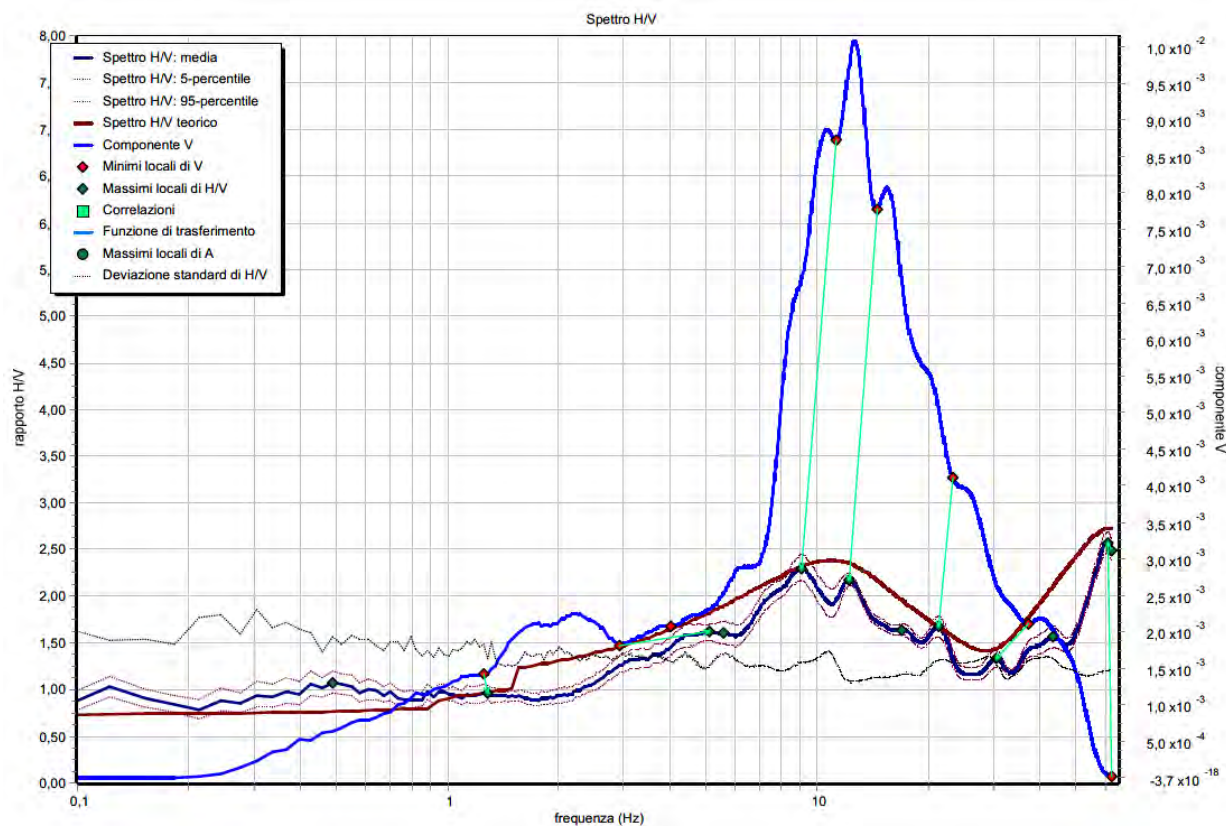


Figura 3-5 Spettro H/V e V

## 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

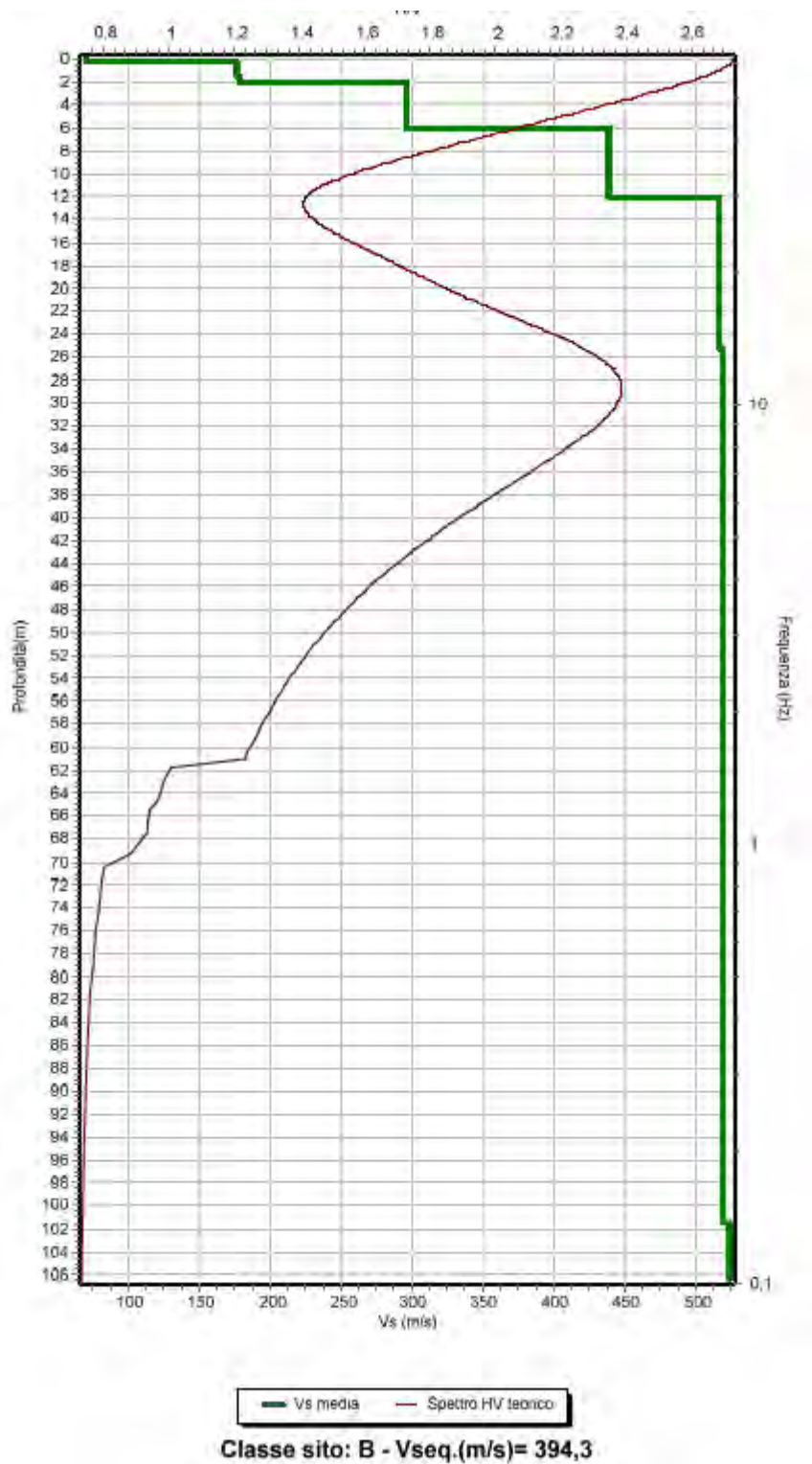


Figura 3-6 Frequenze caratteristiche in sito H/V e ricostruzione delle Vs30

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

L'inversione, calibrata sui sondaggi eseguiti, ha consentito di ricavare il profilo delle velocità delle onde S in funzione della profondità. Si è ricavato il profilo di velocità  $V_s$  allegato. Il valore di  $V_{seq}$ , riferito al p.c., è risultato uguale a 394 m/s, valore che pone il sito nella **categoria di sottosuolo B** secondo il D.M. 17.01.2018.

### 3.3. 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 delle informazioni stratigrafiche rilevate nel corso della realizzazione della campagna di indagine, è stata ricostruita la sezione geologica trasversale al corso d'acqua, rappresentate nell'allegato 2 al presente elaborato, e di cui si riporta uno stralcio in Figura 3-7.

Il modello evidenzia come il sottosuolo sia costituito da depositi alluvionali incoerenti a prevalenza struttura ghiaiosa e si presenti differenziato nei seguenti orizzonti di seguito descritti:

- GS – Ghiaia e sabbia con presenza di ciottoli centimetrici, di colore marrone, da consistente a molto consistente in profondità, che caratterizza l'intera sezione d'alveo;
- GSL – Ghiaia e sabbia con ciottoli in matrice limosa, di colore marrone, presente lungo il settore in sinistra idrografica, con spessore di circa 6,0 m;

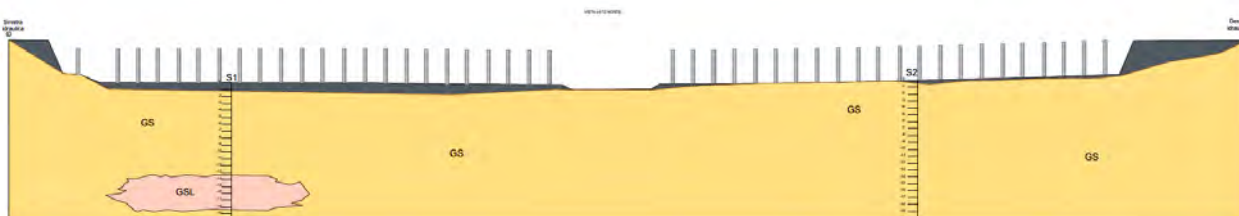


Figura 3-7 Modello geologico locale dell'area d'intervento (sezione trasversale al corso d'acqua)

### 3.4. 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.

#### UG1 – Ghiaia sabbiosa con ciottoli mediamente consistente

Peso di volume  $\gamma = 19,9 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito interno efficace  $\phi' = 32 - 34^\circ$

Modulo elastico  $E = 28-33 \text{ MPa}$

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

#### UG2 – Ghiaia sabbiosa con ciottoli in matrice limosa consistente

Peso di volume  $\gamma = 21,4 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito interno efficace  $\phi' = 34^\circ - 37^\circ$

Modulo elastico  $E = 37-49 \text{ MPa}$

#### UG3 – Ghiaia sabbiosa con ciottoli da consistente a molto consistente

Peso di volume  $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito interno efficace  $\phi' = 38 - 39^\circ$

Modulo elastico  $E = 50-55 \text{ MPa}$

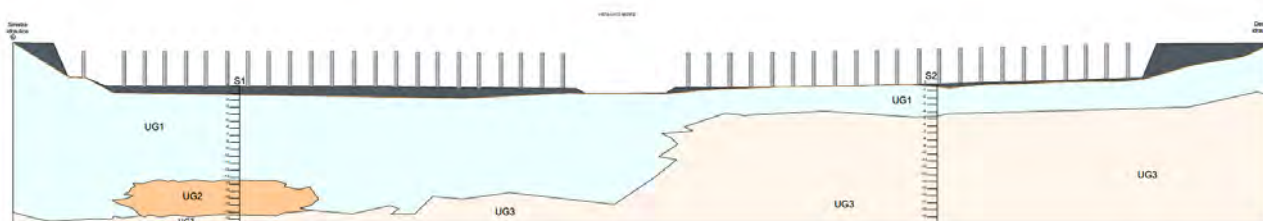


Figura 3-8 Modello geotecnico

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 20/47



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

## 4. Sismicità

### 4.1. Elementi sismotettonica regionale

Nella Carta Sismotettonica pubblicata dalla Regione Emilia-Romagna (Figura 4-1), 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 carta permette di analizzare l'assetto dell'area di studio con riferimento alla sismicità generale. 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.

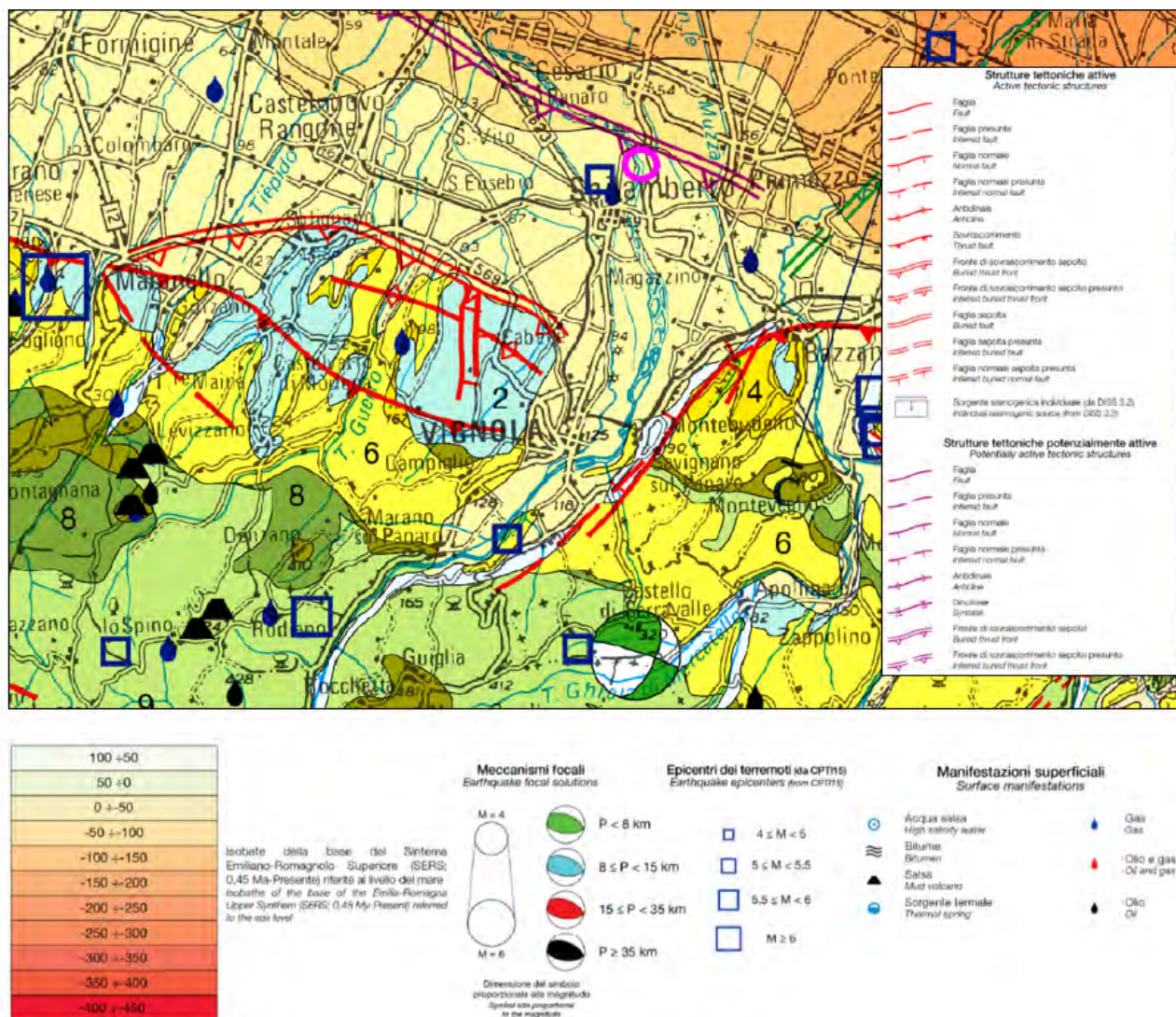


Figura 4-1 Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (AAVV, 2016); nel cerchio viola è evidenziata l'area d'interesse

### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

Le principali linee tettoniche presenti nell'area di studio costituiscono il Fronte di accavallamento pedeappenninico (Pedeapenninic Thrust Front = PTF), coincidente con il margine morfologico appenninico, che si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani, in direzione NW-SE. Il fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici, tra i quali, nell'area in esame, dalla linea del F. Panaro.

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 4-2) 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, queste siano caratterizzate solamente da subsidenza naturale (movimenti tettonici, consolidamento terreni e deglaciazione), mentre per valori superiori sono da considerare i contributi di tipo antropico.

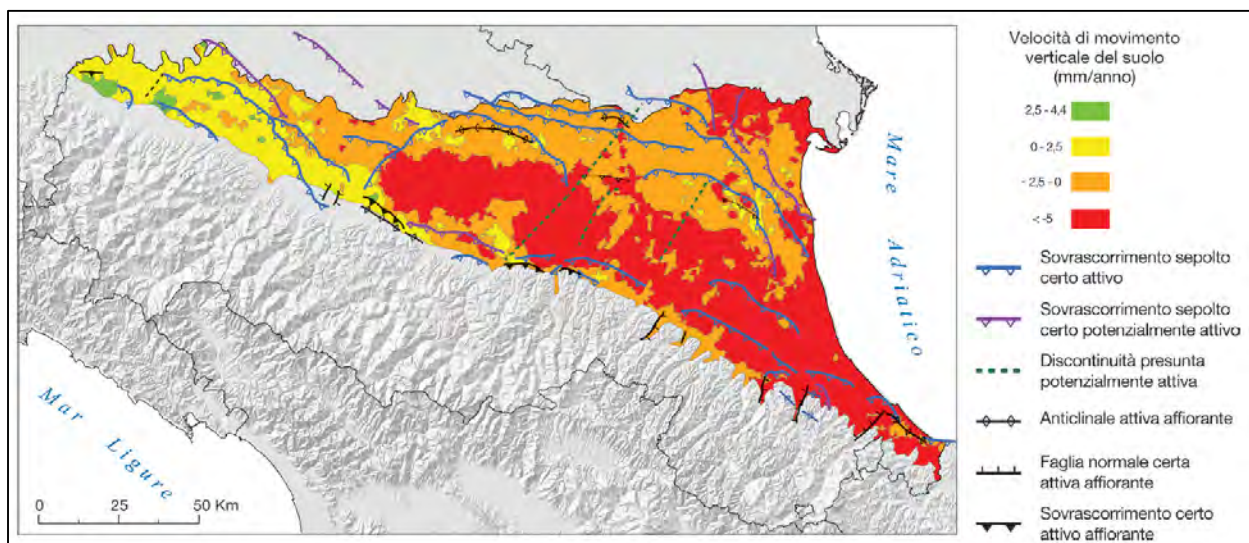


Figura 4-2 Mappa di confronto tra le velocità di movimento verticale del suolo (tra 2006 e 2011) e le principali strutture tettoniche attive riconosciute (tratta dalle Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna)

## 4.2. 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/>).

### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

Nella tabella sottostante è rappresentata la storia sismica della località di Spilamberto (MO) con elencati i 22 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 vicino all'area in esame, avvenuto nel 1983, con area epicentrale nel Parmense, produsse effetti del 6-7° 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 Effetti "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.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1885	02	26	20	48		Pianura Padana	78	6	5.01
3	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
5	1904	02	25	18	47	5	Reggiano	62	6	4.81
5	1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
3-4	1908	06	02	22	30		Frignano	18	4-5	4.50
5-6	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	1930	10	24	00	52		Appennino tosco-emiliano	12	4	3.97
3	1930	10	26	07	14		Appennino tosco-emiliano	14	4	4.21
4	1930	10	26	07	31		Modenese	11	4	4.12
2	1931	06	10	17	02		Modenese	14	4	4.59
4	1934	09	18	09	37		Vignola	6	4	3.95
4	1957	08	27	11	54		Appennino modenese	58	5	4.73
NF	1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5	4.44
3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
3-4	1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
NF	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
NF	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
NF	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 23/47



#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

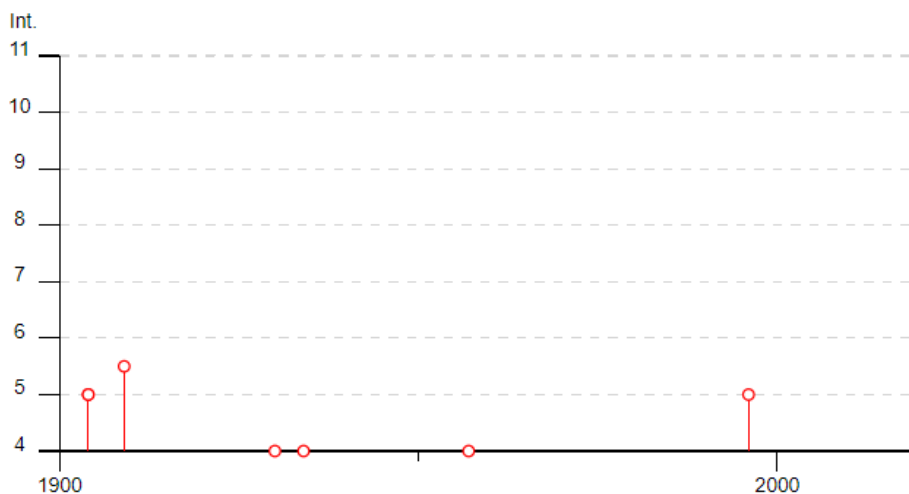


Figura 4-3 Rappresentazione degli eventi sismici significativi avvenuti in località Spilamberto (MO) negli anni compresi tra 1900 e il 2003 (fonte: DBMI15)

### **4.3. Sorgenti sismogenetiche**

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia ha diffuso, nell'ambito del Progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale.

La Figura 4-4 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/>).

#### **2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

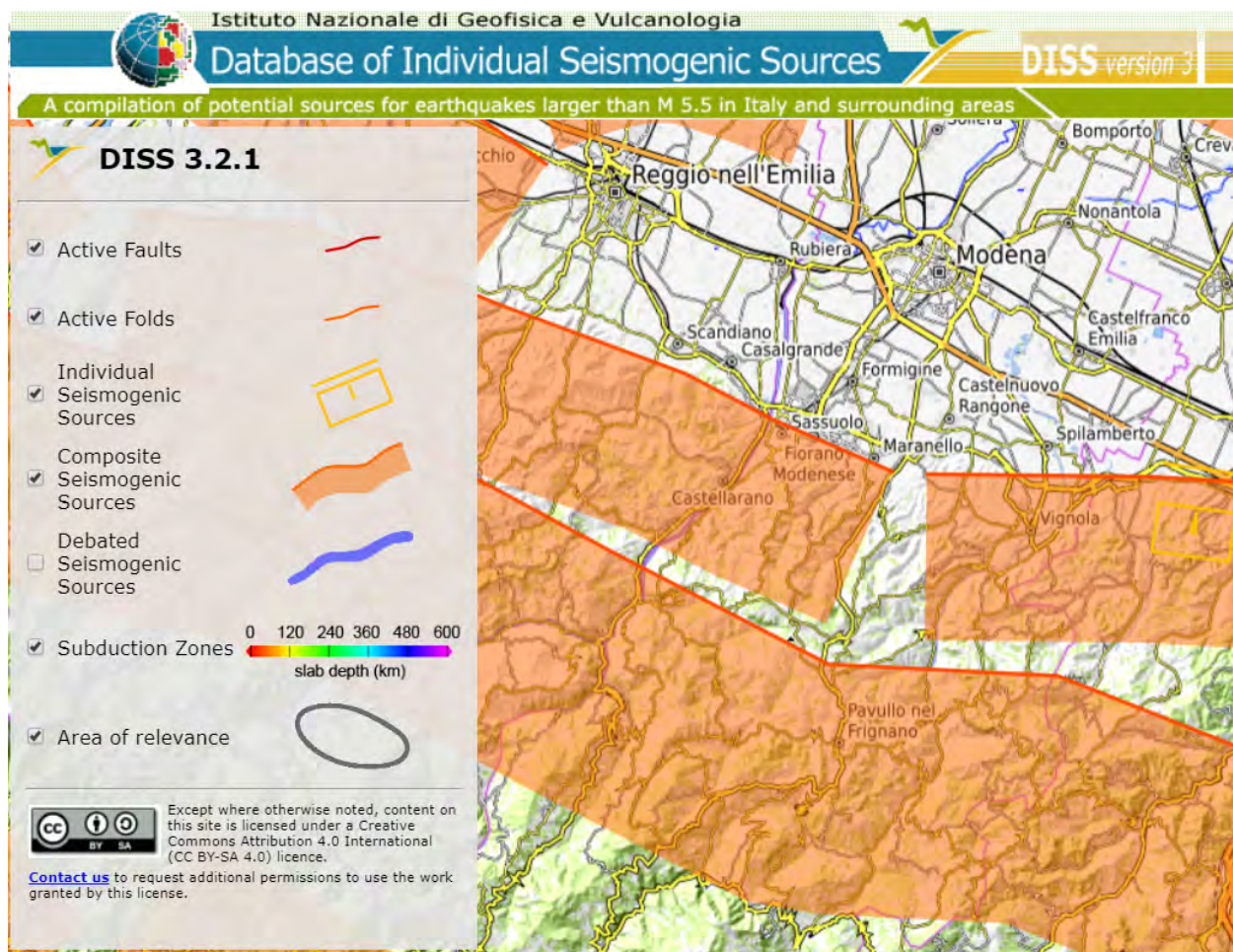


Figura 4-4 Database zone sismogenetiche INGV (DISS 3.2.1): rappresentazione cartografica della CSS (Composite Seismogenic Source) (Google Earth)

L'area oggetto di studio ricade a valle della sorgente sismogenetica composta (CSS) classificata come "ITCS047: "Castelvetro di Modena – Castel San Pietro" a partire dalla quale possono svilupparsi sismi di magnitudo pari a 6,0 (scala Richter). La geometria del thrust è compresa tra i 2 e i 8 Km dalla superficie.

La sorgente sismogenetica composta 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 4-5).

### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

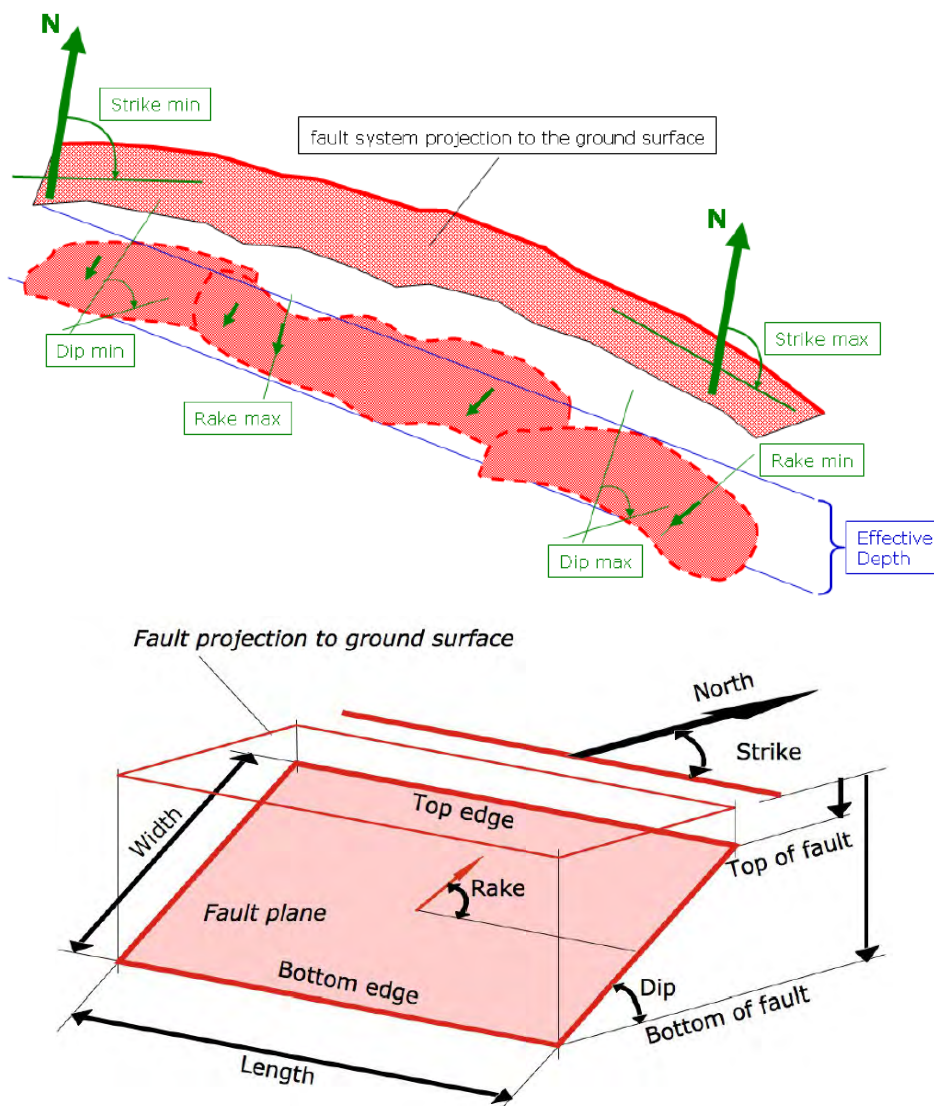


Figura 4-5 Schema geometrico di una sorgente sismogenetica composta (CSS)

#### 4.3.1. 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>).

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

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 (Figura 22). 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.

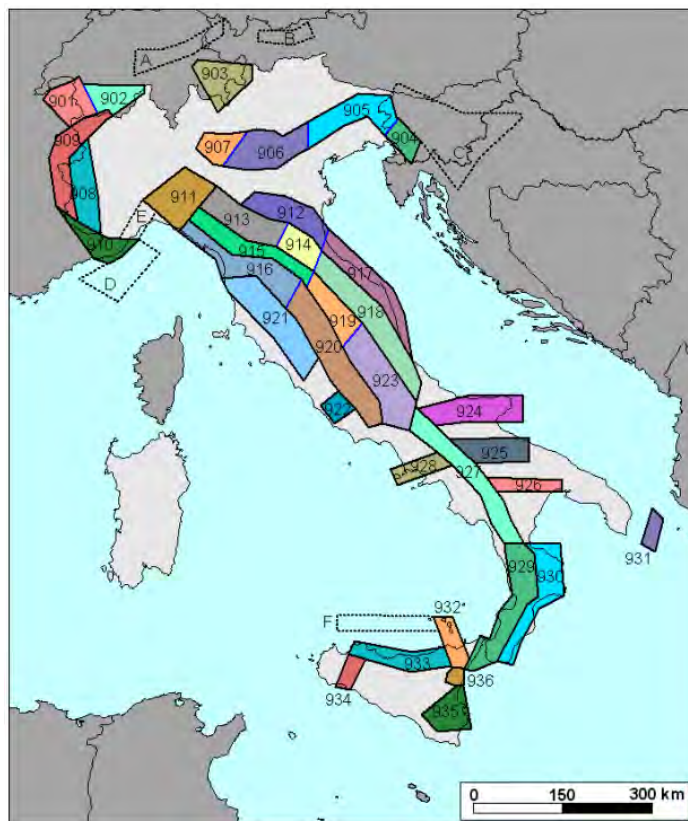


Figura 4-6 Schema Zonazione sismogenetica ZS9. I limiti blu separano zone con analogo significato cinematico ma diverse caratteristiche sismiche (fonte: INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004)

L'area in esame ricade al limite esterno 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).

#### 4.4. 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 ag 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  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo

#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

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: 44,5469894° Long: 11,0345640° ricade pertanto all'interno del reticolo di riferimento tra i 4 vertici indicati nella Figura 4-7, per i quali le NTC definiscono i parametri necessari per definire l'azione sismica a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

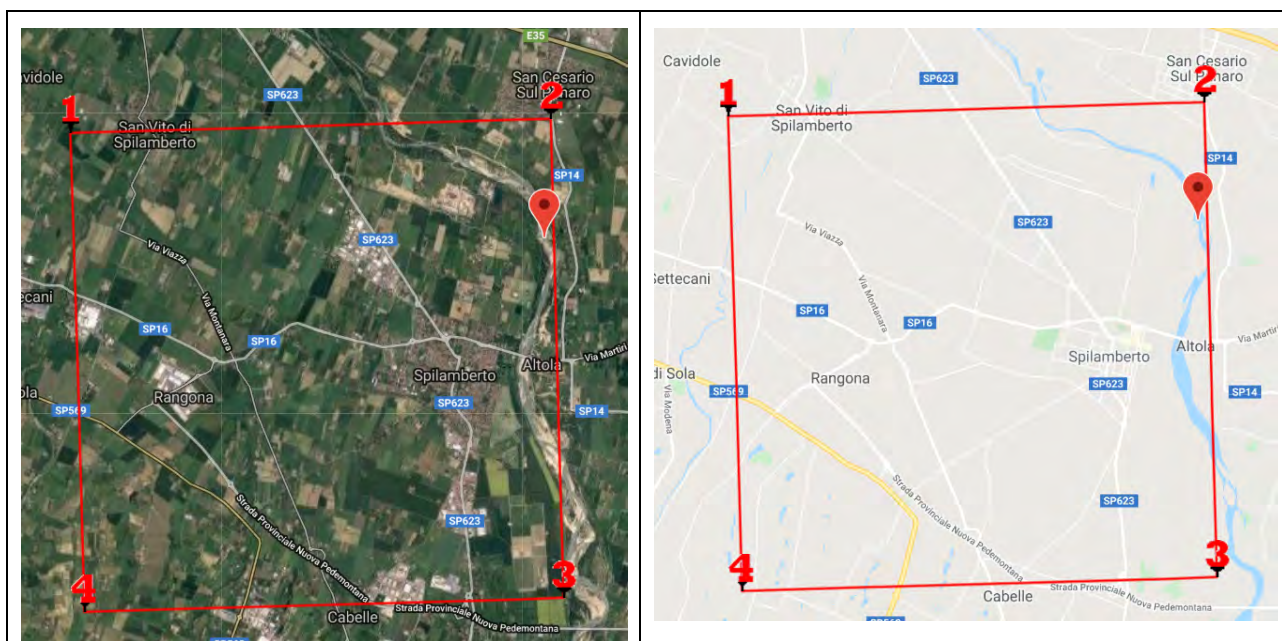


Figura 4-7 Reticolo di riferimento per la definizione dei parametri per l'azione sismica

	ID	Latitudine (°) ED50	Longitudine (°) ED50	Distanza (m)
Sito 1	16503	44,558040	10,965210	5631,22
Sito 2	16504	44,559510	11,035330	1393,48
Sito 3	16726	44,509540	11,037290	4169,85
Sito 4	16725	44,508070	10,967290	6868,04

Tabella 4-1 Sito di riferimento

Secondo la classificazione sismica del DGR 1164 del 23/07/2018 il Comune di Spilamberto (MO) e il Comune di San Cesario sul Panaro (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"), per il comune di Spilamberto è pari a  $a_{refg}=0,163 \text{ m/s}^2$ , mentre per quello di San Cesario sul Panaro è pari a  $a_{refg}=0,162 \text{ m/s}^2$ .

### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

La seguente tabella riporta i parametri sismici relativi all'area in esame, così come definiti dalle NTC 2018:

Stato limite	Probabilità Superamento (%)	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T^*_c$ [s]
SLO	81	30	0,051	2,486	0,255
SLD	63	50	0,064	2,501	0,269
SLV	10	475	0,162	2,369	0,303
SLC	5	975	0,207	2,404	0,313

Tabella 4-2 Parametri sismici

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 (Tabella 4-3).

Classe	Descrizione
I.	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
II.	<b>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.</b>
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.

Tabella 4-3 Classe prevalente delle opere secondo NTC2018

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

È stata quindi definita la “Vita nominale” dell’opera, facendo riferimento al valore di **50 anni**, così come definito dalle NTC 2018 (Tabella 4-4).

Tipo opera	Vita Nominale
Opere provvisorie	<=10
<b>Opere ordinarie</b>	<b>&gt;=50</b>
Grandi opere	>=100

Tabella 4-4 Vita nominale delle opere secondo le NTC 2018

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  $V_{S30} = 609-632$  m/s e HVSR dove  $V_{S30} = 394$  m/s), la categoria di sottosuolo del sito in esame, ricade nella **Categoria di sottosuolo B** (Tabella 4-5).

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>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.</i>
<b>B</b>	<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.</b>
<b>C</b>	<i>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.</i>
<b>D</b>	<i>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.</i>
<b>E</b>	<i>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.</i>

Tabella 4-5 Categorie del sottosuolo secondo le NTC 2018

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 (Tabella 4-6).

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

Tabella 4-6 Categorie topografiche secondo le NTC 2018

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.

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D’IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

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): 10 m

Spostamento ammissibile: 0,015 m

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
$K_h$	0,048	0,059	0,151	0,193
$K_v$	--	--	--	--
$A_{max} [m/s^2]$	0,605	0,749	1,910	2,436
Beta	0,776	0,776	0,776	0,776

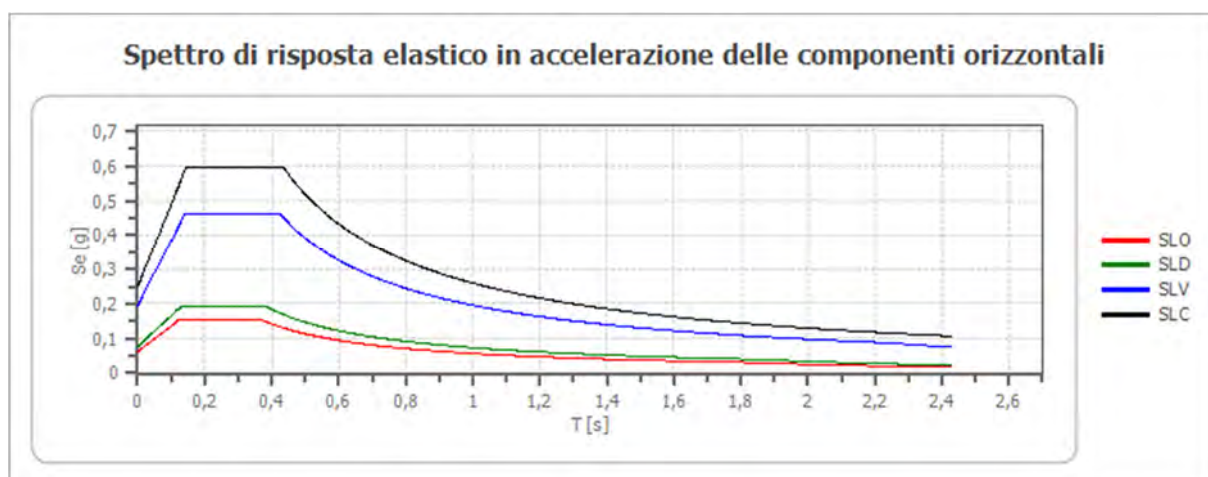
Tabella 4-7 Coefficienti sismici

#### 4.4.1. Spettro di risposta elastico

Sono stati definiti gli spettri relativi alle componenti orizzontale e verticale, con riferimento agli stati limite contemplati dalle NTC 2018 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 ( $S_d [g]$ ) 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.



#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 31/47



**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

**Intervento B**

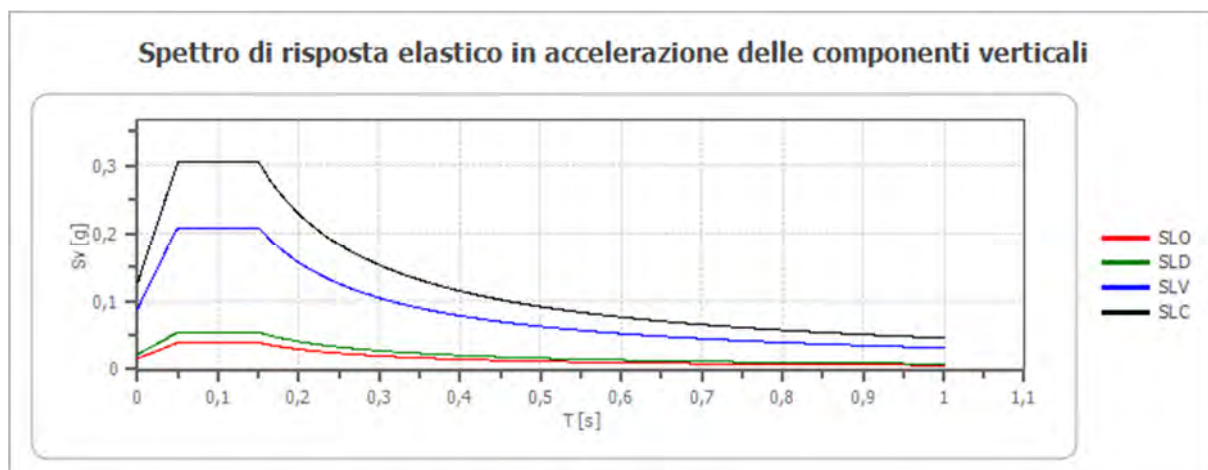
Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se (0) (g)	Se(TB) (g)
SLO	1,0	0,051	2,486	0,255	1,200	1,450	1,000	1,200	1,000	0,123	0,370	1,806	0,062	0,153
SLD	1,0	0,064	2,501	0,269	1,200	1,430	1,000	1,200	1,000	0,128	0,385	1,855	0,076	0,191
SLV	1,0	0,162	2,369	0,303	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,141	0,424	2,249	0,195	0,461
SLC	1,0	0,207	2,404	0,313	1,200	1,390	1,000	1,200	1,000	0,145	0,435	2,428	0,248	0,597

Figura 4-8 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se (0) (g)	Se(TB) (g)
SLO	1,0	0,051	2,486	0,255	1	1,450	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,016	0,039
SLD	1,0	0,064	2,501	0,269	1	1,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,022	0,054
SLV	1,0	0,162	2,369	0,303	1	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,088	0,209
SLC	1,0	0,207	2,404	0,313	1	1,390	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,127	0,306

Figura 4-9 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

## 5. Analisi della capacità portante fondazioni profonde

Le opere di fondazione profonde di consolidamento della briglia saranno realizzate su pali trivellati. La scelta del tipo di palo, delle relative tecnologie realizzative, delle modalità esecutive, del dimensionamento e dei numeri di pali sono state opportunamente scelte dal progettista sulla base del dimensionamento strutturale delle opere, delle caratteristiche geologiche e dei parametri geotecnici dei terreni di fondazione.

Per l'azione sismica sono state applicate le seguenti condizioni:

- Vita nominale = 50 anni
- Classe d'Uso = II
- Coefficiente d'Uso = 1
- Periodo di riferimento: 50 anni
- Categoria sottosuolo: B
- Categoria topografica: T1

Si è in seguito applicato per l'analisi della resistenza di pali soggetti a carichi assiali di compressione e di trazione, quanto previsto dalle NTC2018.

La resistenza caratteristica ( $R_k$ ) del palo singolo può essere determinata mediante tre approcci distinti secondo quanto indicato nelle NTC 2018:

- da risultati di prove di carico statico di progetto su pali pilota;
- da metodi di calcolo analitici a partire da valori caratteristici dei parametri geotecnici oppure con relazioni empiriche che utilizzino direttamente i risultati di prove in sito (CPT, SPT, pressiometriche, ecc.);
- da risultati da prove dinamiche di progetto su pali pilota.

Nelle verifiche condotte nel presente documento la resistenza caratteristica ( $R_k$ ) è stata stimata adottando l'approccio "b". Si è proceduto come di seguito descritto.

In particolare, per le verifiche agli stati limiti ultimi (SLU) di progetto ( $R_d$ ) è stato adottato l'Approccio 2 ( $A1+M1+R3$ ) applicando le seguenti condizioni.

Fattori di correlazione funzione del numero di verticali indagate (tab. 6.4.IV NTC2018):

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Nel nostro caso, per 2 verticali indagate, si è applicato il valore  $\xi_3=1,65$  e  $\xi_4=1,55$

Coefficienti parziali resistenze caratteristiche (tab. 6.4.II NTC2018)

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

Per pali trivellati si è fatto riferimento ai coefficienti di riduzione delle resistenze R3.

### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

Coefficienti parziali di riduzione dei parametri geotecnici

	<input checked="" type="radio"/> M1	<input type="radio"/> M2
Tangente angolo resistenza a taglio	1	1,25
Coesione efficace	1	1,25
Resistenza non drenata	1	1,4
Peso unità di Volume	1	1

Per l'Approccio 2 si è applicata la condizione M1.

Per il calcolo della capacità portante a compressione e trazione si è utilizzato il software MP di GeoStru.

Sono stati applicati i seguenti parametri geotecnici per gli orizzonti individuati lungo la verticale.

Orizzonte	Spessore (m)	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> )	C (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo attrito interno efficace (°)	Modulo elastico E (MPa)
UG1	da 0 a 13,5	19,9	0	32	28-33
UG2	5	21,4	0	34	37-49
UG3	da 2,0 a 16,0	22	0	38	50-55

Al fine di dimensionare la lunghezza delle fondazioni profonde sono state ricostruite le curve di capacità portante fino alla profondità delle indagini geognostiche eseguite, sulla base delle caratteristiche e posizioni di pali indicate dal progettista.

In particolare, sono previste le seguenti soluzioni progettuali per le fondazioni profonde:

Caratteristiche pali briglia:

- Pali valle= L=9 m e diam. 300 mm
- Pali monte= L=10 m e diam. 300 mm
- Pali in jet resa 110 cm;
- Tubo di armatura Ø163.8 mm #6 mm;
- Acciaio S355JR.

Caratteristiche pali taglione:

- Pali taglione= L=9 m e diam. 300 mm
- Tubo di armatura Ø163.8 mm #6 mm;
- Acciaio S355JR.

I pali posti sul taglione sono stati considerati con lunghezza infissa pari a 9 m, ma reagente solamente 8 m, per considerare eventuali scalzamenti a valle del taglione

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE



**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

**5.1. Pali a monte della briglia selettiva**

Calcolo capacità portante agli SLU in compressione, considerando i primi 12 m in terreno migliorato con jet-grouting.

Caratteristiche palo
Diametro (m): 0,30
Metodo realizzazione: trivellato
Quota testa palo: -1,45 m da p.c.

Fatt. correz. Prove	
Xi3	Xi4
1,65	1,55

Coeff. riduzione parziali		
	Yb	Ys
R1	1,00	1,00
R2	1,70	1,45
R3	1,35	1,15

		Capacità portante caratteristica			Capacità portante di progetto Approccio 2 (A1+M1+R3)		
		Resistenza base	Resistenza laterale	Resistenza totale	Resistenza base	Resistenza laterale	Resistenza totale
Quota	Prof.	R <sub>b,k</sub>	R <sub>s,k</sub>	R <sub>t,k</sub>	R <sub>b,d</sub>	R <sub>s,d</sub>	R <sub>t,d</sub>
m s.l.m.	m	t	t	t	t	t	t
53,25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52,25	1	16,36	1,40	17,67	12,12	1,22	13,16
51,25	2	22,49	2,51	24,82	16,66	2,18	18,48
50,25	3	28,62	3,93	32,28	21,20	3,42	24,08
49,25	4	34,75	5,66	40,05	25,74	4,92	29,94
48,25	5	40,88	7,70	48,13	30,28	6,69	36,07
47,25	6	47,01	10,05	56,52	34,82	8,74	42,48
46,25	7	53,14	12,71	65,22	39,37	11,05	49,15
45,25	8	59,27	15,68	74,23	43,91	13,63	56,10
44,25	9	65,40	18,96	83,55	48,45	16,49	63,31
43,25	10	71,54	22,55	93,18	52,99	19,61	70,80
42,25	11	76,54	26,44	101,99	56,70	22,99	77,70
41,25	12	80,16	30,53	109,62	59,38	26,55	83,77
40,25	13	84,98	34,55	82,66	36,51	30,04	64,21
39,25	14	51,16	38,71	88,61	37,89	33,66	69,03
38,25	15	53,03	43,03	94,71	39,28	37,42	74,00
37,25	16	54,90	47,50	100,96	40,67	41,30	77,05
36,25	17	56,78	52,13	107,37	42,06	45,33	84,32
35,25	18	82,78	56,99	138,14	61,32	49,55	107,63
Fine sondaggio 34,25	18,55	84,29	59,73	142,35	62,44	51,94	111,03

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 35/47



#### Intervento A

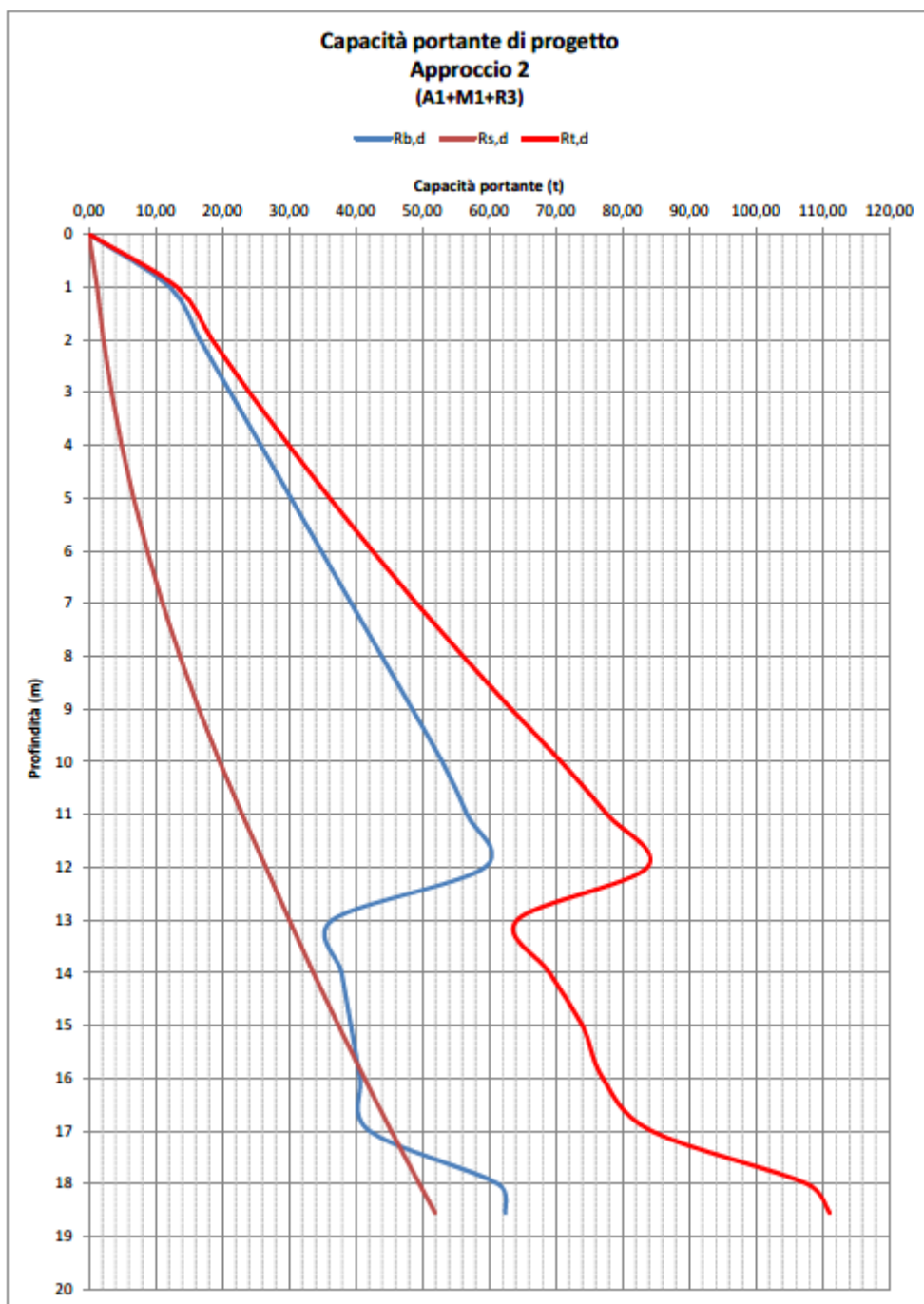
Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO



#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

Calcolo capacità portante in trazione, considerando i primi 12 m in terreno migliorato con jet-grouting.

Caratteristiche palo
Diametro (m): 0,30
Metodo realizzazione: trivellato
Quota testa palo: -1,45 m da p.c.

Fatt. correz. Prove	
Xi3	Xi4
<b>1,65</b>	<b>1,55</b>

Coeff. riduzione parziali		
	Yb	Ys
R1	1,00	1,00
R2	1,70	1,45
R3	<b>1,35</b>	<b>1,15</b>

		Capacità portante caratteristica			Capacità portante di progetto Approccio 2 (A1+M1+R3)		
		Resistenza base	Resistenza laterale	Resistenza totale	Resistenza base	Resistenza laterale	Resistenza totale
Quota	Prof.	R <sub>b,k</sub>	R <sub>s,k</sub>	R <sub>t,k</sub>	R <sub>b,d</sub>	R <sub>s,d</sub>	R <sub>t,d</sub>
m s.l.m.	m	t	t	t	t	t	t
53,25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52,25	1	0,00	1,40	1,49	0,00	1,12	1,30
51,25	2	0,00	2,51	2,69	0,00	2,01	2,37
50,25	3	0,00	3,93	4,20	0,00	3,14	3,68
49,25	4	0,00	5,66	6,02	0,00	4,53	5,25
48,25	5	0,00	7,70	8,15	0,00	6,16	7,06
47,25	6	0,00	10,05	10,59	0,00	8,04	9,12
46,25	7	0,00	12,71	13,34	0,00	10,17	11,43
45,25	8	0,00	15,68	16,40	0,00	12,54	13,98
44,25	9	0,00	18,96	19,77	0,00	15,17	16,79
43,25	10	0,00	22,55	23,45	0,00	18,04	19,84
42,25	11	0,00	26,44	27,43	0,00	21,15	23,13
41,25	12	0,00	30,53	31,61	0,00	24,43	26,59
40,25	13	0,00	34,55	35,72	0,00	27,64	29,98
39,25	14	0,00	38,71	39,97	0,00	30,97	33,49
38,25	15	0,00	43,03	44,38	0,00	34,42	37,13
37,25	16	0,00	47,50	48,94	0,00	38,00	40,88
36,25	17	0,00	52,13	53,66	0,00	41,70	44,77
35,25	18	0,00	56,99	58,61	0,00	45,59	48,83
Fine sondaggio 34,25	18,55	0,00	59,73	61,40	0,00	47,78	51,13

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE





#### Intervento A

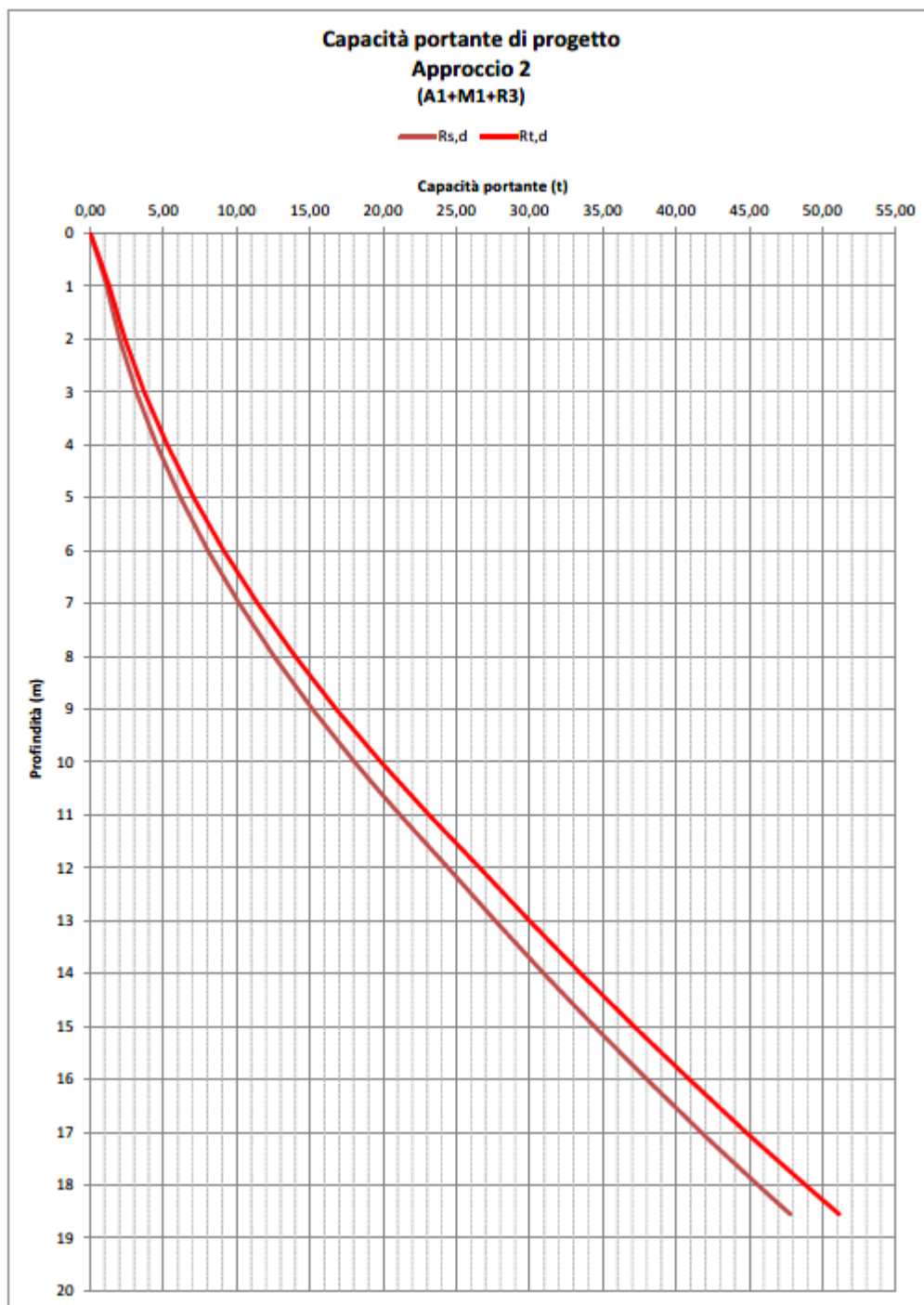
Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 38/47

**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

**5.2. Pali valle briglia selettiva**

Calcolo capacità portante agli SLU in compressione, considerando i primi 12 m in terreno migliorato con jet-grouting.

Caratteristiche palo
Diametro (m): 0,30
Metodo realizzazione: trivellato
Quota testa palo: -3,25 m da quota monte briglia selettiva

Fatt. correz.	Prove
Xi3	Xi4
<b>1,65</b>	<b>1,55</b>

Coeff. riduzione parziali	Yb	Ys
R1	1,00	1,00
R2	1,70	1,45
R3	<b>1,35</b>	<b>1,15</b>

		Capacità portante caratteristica			Capacità portante di progetto Approccio 2 (A1+M1+R3)		
		Resistenza base	Resistenza laterale	Resistenza totale	Resistenza base	Resistenza laterale	Resistenza totale
Quota	Prof.	R <sub>b,k</sub>	R <sub>s,k</sub>	R <sub>t,k</sub>	R <sub>b,d</sub>	R <sub>s,d</sub>	R <sub>t,d</sub>
m s.l.m.	m	t	t	t	t	t	t
51,45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,45	1	16,36	1,40	17,67	12,12	1,22	13,16
49,45	2	27,39	3,62	30,92	20,29	3,15	23,26
48,45	3	33,52	5,29	38,63	24,83	4,60	29,07
47,45	4	39,65	7,26	46,65	29,37	6,32	35,15
46,45	5	45,79	9,55	54,98	33,92	8,31	41,50
45,45	6	51,92	12,15	63,62	38,46	10,57	48,12
44,45	7	58,05	15,06	72,57	43,00	13,09	55,01
43,45	8	64,18	18,28	81,83	47,54	15,89	62,17
42,45	9	70,31	21,81	91,40	52,08	18,96	69,60
41,45	10	76,44	25,65	101,28	56,62	22,30	77,30
40,45	11	82,57	29,80	111,47	61,16	25,91	85,27
39,45	12	88,70	34,26	121,97	65,71	29,79	93,51
38,45	13	59,80	44,04	102,67	44,30	38,30	80,25
37,45	14	62,74	49,13	110,60	46,47	42,72	86,67
36,45	15	64,61	54,41	117,66	47,86	47,31	92,46
35,45	16	66,48	59,84	124,88	49,25	52,03	98,40
Fine sondaggio 34,70	16,75	67,89	64,01	130,39	50,29	55,66	102,93

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 39/47



### Intervento A

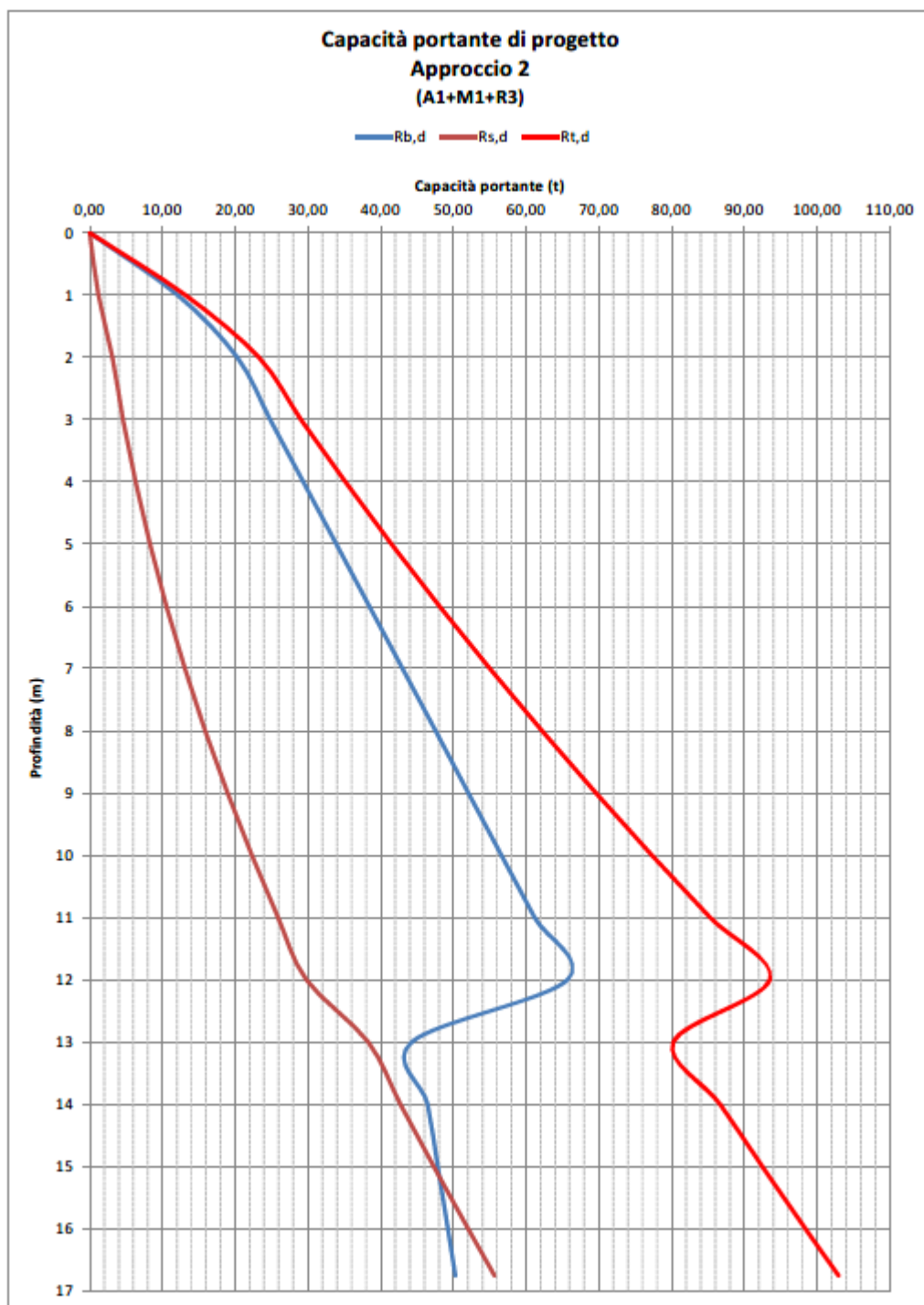
Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 40/47



**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

Calcolo capacità portante agli SLU in trazione, considerando i primi 12 m in terreno migliorato con jet-grouting.

Caratteristiche palo
Diametro (m): 0,30
Metodo realizzazione: trivellato
Quota testa palo: -3,25 m da quota monte briglia selettiva

Fatt. correz. Prove	
Xi3	Xi4
1,65	1,55

Coeff. riduzione parziali		
	Yb	Ys
R1	1,00	1,00
R2	1,70	1,45
R3	1,35	1,15

		Capacità portante caratteristica			Capacità portante di progetto Approccio 2 (A1+M1+R3)		
		Resistenza base	Resistenza laterale	Resistenza totale	Resistenza base	Resistenza laterale	Resistenza totale
Quota	Prof.	R <sub>b,k</sub>	R <sub>s,k</sub>	R <sub>t,k</sub>	R <sub>b,d</sub>	R <sub>s,d</sub>	R <sub>t,d</sub>
m s.l.m.	m	t	t	t	t	t	t
51,45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,45	1	0,00	3,62	3,71	0,00	2,90	3,08
49,45	2	0,00	5,29	5,47	0,00	4,23	4,59
48,45	3	0,00	7,26	7,53	0,00	5,81	6,35
47,45	4	0,00	9,55	9,91	0,00	7,64	8,36
46,45	5	0,00	12,15	12,60	0,00	9,72	10,62
45,45	6	0,00	15,06	15,60	0,00	12,05	13,13
44,45	7	0,00	18,28	18,91	0,00	14,62	15,88
43,45	8	0,00	21,81	22,53	0,00	17,45	18,89
42,45	9	0,00	25,65	26,46	0,00	20,52	22,14
41,45	10	0,00	29,80	30,70	0,00	23,84	25,64
40,45	11	0,00	34,26	35,25	0,00	27,41	29,39
39,45	12	0,00	39,03	40,11	0,00	31,22	33,39
38,45	13	0,00	44,04	45,21	0,00	35,23	37,58
37,45	14	0,00	49,13	50,39	0,00	39,30	41,83
36,45	15	0,00	54,41	55,76	0,00	43,52	46,23
35,45	16	0,00	59,84	61,28	0,00	47,87	50,75
Fine sondaggio 34,70	16,75	0,00	63,50	65,52	0,00	51,01	54,23

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 41/47



#### Intervento A

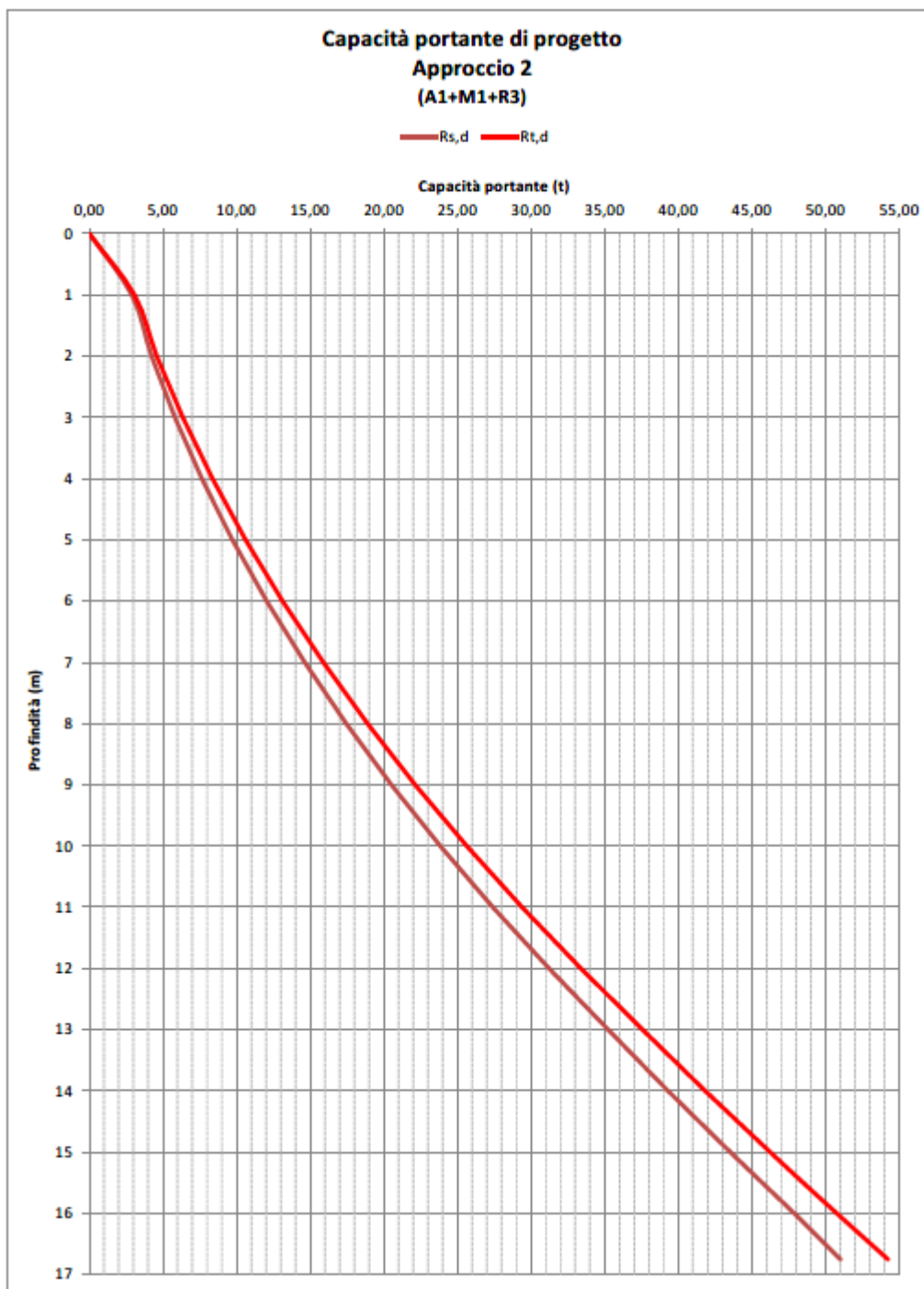
Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

**5.3. Pali taglione**

Calcolo capacità portante in compressione.

Caratteristiche palo
Diametro (m): 0,30
Metodo realizzazione: trivellato
Quota testa palo: -3,7 m da p.c.

Fatt. correz. Prove	
Xi3	Xi4
1,65	1,55

Coeff. riduzione parziali		
	Yb	Ys
R1	1,00	1,00
R2	1,70	1,45
R3	1,35	1,15

		Capacità portante caratteristica			Capacità portante di progetto Approccio 2 (A1+M1+R3)		
		Resistenza base	Resistenza laterale	Resistenza totale	Resistenza base	Resistenza laterale	Resistenza totale
Quota	Prof.	R <sub>b,k</sub>	R <sub>s,k</sub>	R <sub>t,k</sub>	R <sub>b,d</sub>	R <sub>s,d</sub>	R <sub>t,d</sub>
m s.l.m.	m	t	t	t	t	t	t
51,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,00	1	10,96	1,00	11,86	8,12	0,87	8,80
49,00	2	12,46	2,14	14,41	9,23	1,86	10,73
48,00	3	13,96	3,42	17,11	10,34	2,98	12,78
47,00	4	15,46	4,86	19,96	11,45	4,23	14,96
46,00	5	16,96	6,44	22,95	12,56	5,60	17,26
45,00	6	18,46	8,17	26,09	13,68	7,10	19,70
44,00	7	19,97	10,04	29,38	14,79	8,73	22,26
43,00	8	21,47	12,06	32,81	11,82	10,49	24,95
42,00	9	22,97	14,23	36,39	17,01	12,37	27,76
41,00	10	29,29	16,55	44,93	21,69	14,39	34,28
40,00	11	31,16	19,05	49,22	23,08	16,57	37,67
39,00	12	33,03	21,71	53,66	24,47	18,88	41,18
38,00	13	34,90	24,53	58,26	25,85	21,33	44,84
37,00	14	36,78	27,50	63,01	27,24	23,91	48,63
36,00	15	54,50	30,63	83,78	40,37	26,64	64,31
35,00	16	57,25	33,97	89,78	42,41	29,54	69,06
Fine sondaggio 34,00	16,3	58,08	35,00	91,61	43,02	30,44	70,52

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 43/47





#### Intervento A

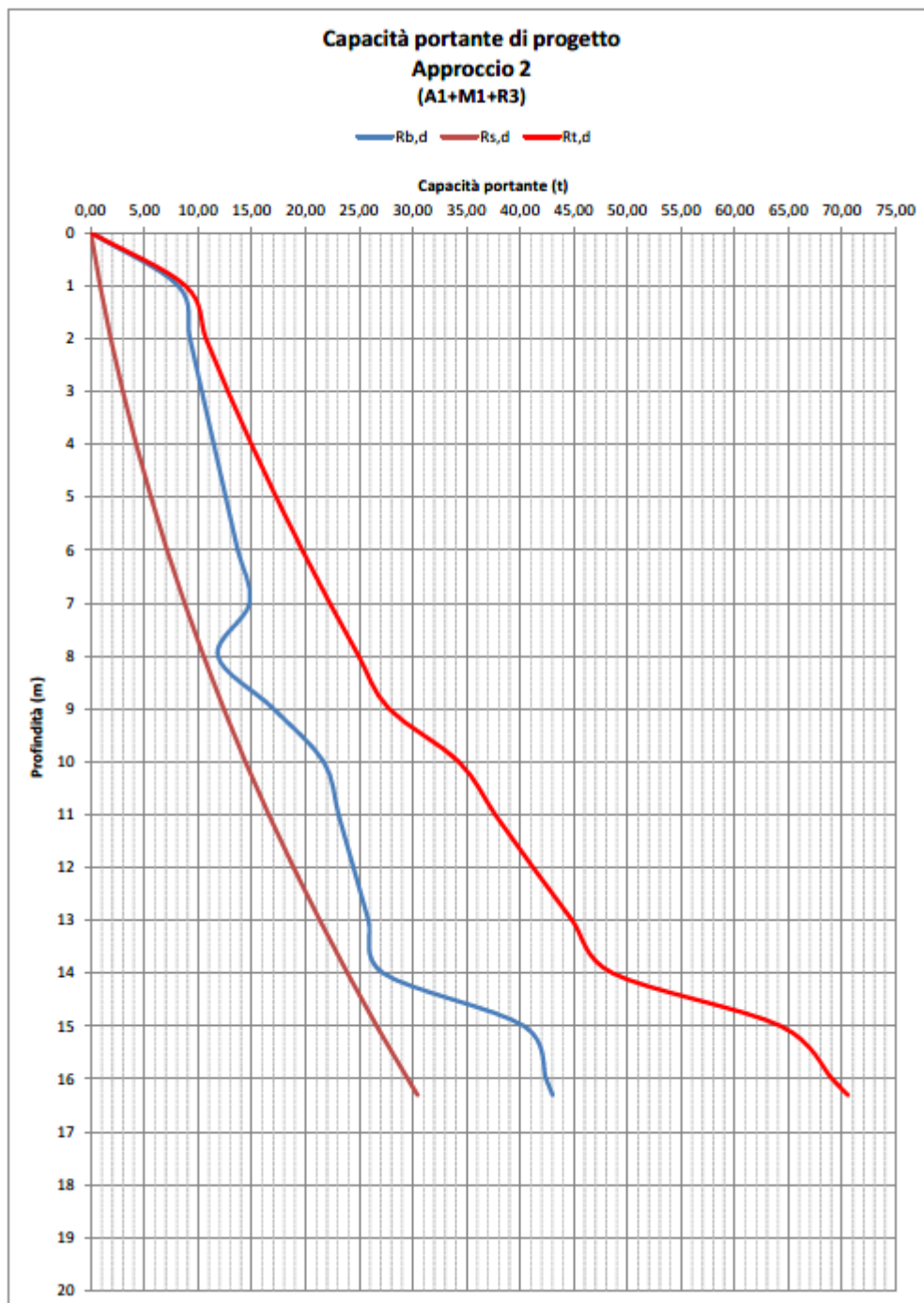
Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



#### 2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 44/47



#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

## **6. Sintesi delle analisi e conclusioni**

Lo studio condotto ha permesso di delineare i principali aspetti geologici, geomorfologici idrogeologici, geotecnici e sismici a supporto degli interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i comuni di San Cesario sul Panaro (MO) in destra idrografica, e Spilamberto (MO) in sinistra idrografica.

### Inquadramento geografico e amministrativo

L'intervento ricade lungo il fiume Panaro, tra i Comuni di Spilamberto (MO) e San Cesario sul Panaro (MO), a valle dell'attraversamento stradale della SP 14.

### Geologia

L'area è caratterizzata dai depositi quaternari alluvionali legati alla conoide del fiume Panaro e dal substrato plio-pleistocenico, costituito dalle Argille Azzurre (FAA).

### Geomorfologia

Il tratto del fiume Panaro in esame è stato caratterizzato da modificazioni significative dell'assetto plano-altimetrico, in relazione agli interventi antropici di stabilizzazione del profilo longitudinale di fondo alveo, a salvaguardia dei numerosi attraversamenti stradali e ferroviari. Il canale attivo si presenta monocursale debolmente sinuoso, incassato rispetto ai piani golenali di oltre 5 m, nei depositi alluvionali del conoide del Panaro. Si è verificata a monte briglia una significativa divagazione planimetrica dell'alveo in destra idrografica, in parte ripreso da un intervento di difesa spondale realizzato recentemente da AIPo.

### Idrogeologia

Il sottosuolo risulta caratterizzato dalla presenza di una falda superficiale ad alta trasmissività contenuta nei depositi alluvionali, soggetta a consistenti fluttuazioni di livello legate al regime idrometrico del fiume Panaro e dalle precipitazioni meteoriche. Il corso d'acqua, per le sue caratteristiche morfologiche attuali, assume nei periodi di magra, un'azione drenante della falda presente nei terrazzi alluvionali antichi posti a sommità superiore al fondo alveo.

### 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 caratterizzata da ghiaia in matrice sabbiosa con presenza di ciottoli centimetrici, di colore marrone. In profondità si rinviene in sinistra idrografica un orizzonte ghiaioso con ciottoli in matrice prevalentemente limosa per uno spessore di circa 6 m.

### Modello geotecnico

I terreni di fondazione ricadono nelle unità geotecniche individuate come UG1, UG2, e UG3, costituite da ghiaie con presenza di ciottoli in matrice prevalentemente sabbiosa. In profondità aumenta il grado di consistenza dei terreni (UG3), confermato dall'aumento dei numeri di colpi NSPT durante l'esecuzione delle prove SPT in foro.

#### UG1 – Ghiaia sabbiosa con ciottoli mediamente consistente

Peso di volume  $\gamma = 19,9 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito interno efficace  $\phi' = 32 - 34^\circ$

Modulo elastico  $E = 28-33 \text{ MPa}$

#### UG2 – Ghiaia sabbiosa con ciottoli in matrice limosa consistente

Peso di volume  $\gamma = 21,4 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito interno efficace  $\phi' = 34^\circ - 37^\circ$

Modulo elastico  $E = 37-49 \text{ MPa}$

### **2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

#### UG3 – Ghiaia sabbiosa con ciottoli da consistente a molto consistente

Peso di volume  $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito interno efficace  $\phi' = 38 - 39^\circ$

Modulo elastico  $E = 50-55 \text{ MPa}$

#### Azione sismica

La classificazione sismica del DGR 1164 del 23/07/2018 pone il Comune di Spilamberto (MO) e il Comune di San Cesario sul Panaro (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"), per il comune di Spilamberto è pari a  $a_{\text{refg}} = 0,163 \text{ m/s}^2$ , mentre per quello di San Cesario sul Panaro è pari a  $a_{\text{refg}} = 0,162 \text{ m/s}^2$ .

Dalle indagini geofisiche è stata ricavata la velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno, risultata pari variabili da  $V_{s30} = 394 \text{ m/s}$  a  $V_{s30} = 632 \text{ m/s}$ , a seguito dei risultati delle indagini geofisiche HSRV e MASW. 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  $V_N = 50$  anni, e la categoria topografica ricade nella classe T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ".

Sulla base delle criticità segnalate lungo la briglia selettiva, è necessario realizzare il consolidamento della briglia mediante la realizzazione di fondazioni profonde, e il rifacimento della vasca di dissipazione a valle per un'opportuna estensione al fine di evitare lo scalzamento al piede già in atto.

Per le caratteristiche progettuali e verifiche delle strutture si rimanda agli elaborati di progetto.

#### **2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

**SOMMARIO**

<b>1. Scopo del documento.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Inquadramento geologico e geomorfologico.....</b>	<b>2</b>
2.1. Geologia.....	2
2.2. Geomorfologia.....	5
2.3. Idrogeologia.....	8
<b>3. Indagini geognostiche e geofisiche .....</b>	<b>9</b>
3.1. Sondaggi a carotaggio continuo.....	9
3.2. Indagini geofisiche.....	10
3.2.1. MASW .....	10
3.2.2. HVSR .....	16
3.3. Modello geologico .....	19
3.4. Modello geotecnico.....	19
<b>4. Sismicità .....</b>	<b>21</b>
4.1. Elementi sismotettonica regionale.....	21
4.2. Sismicità storica dell'area d'intervento .....	22
4.3. Sorgenti sismogenetiche .....	24
4.3.1. Zonazione sismogenetica.....	26
4.4. Azioni sismiche.....	27
4.4.1. Spettro di risposta elastico.....	31
<b>5. Analisi della capacità portante fondazioni profonde.....</b>	<b>33</b>
5.1. Pali a monte della briglia selettiva.....	35
5.2. Pali valle briglia selettiva.....	39
5.3. Pali taglione.....	43
<b>6. Sintesi delle analisi e conclusioni .....</b>	<b>45</b>

Allegato 1: Carta geologica-geomorfologica

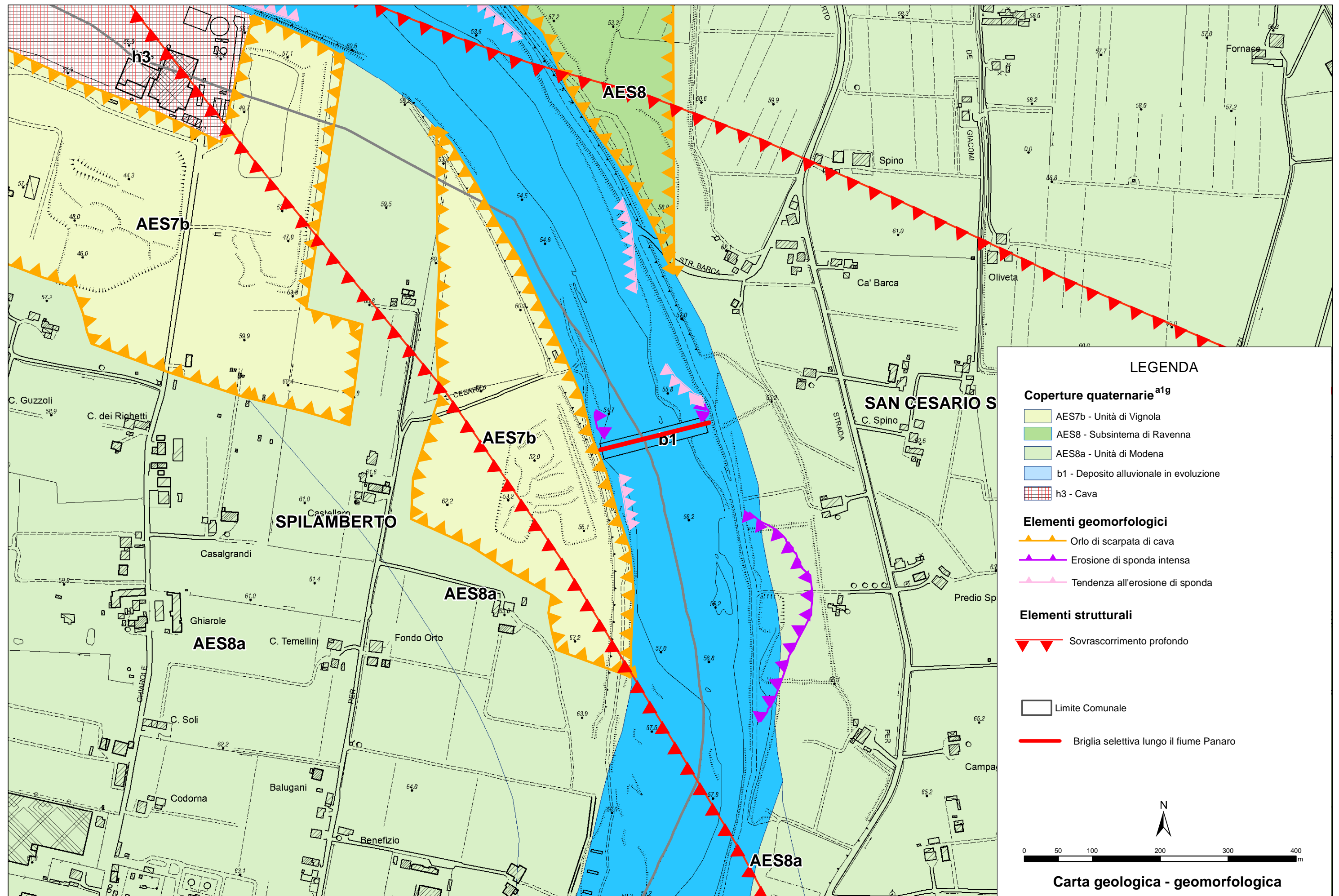
Allegato 2: Sezione geologica

Allegato 3: Sezione geotecnica

Allegato 4 Indagini geognostiche

**2.2.1 Relazione Geologica, geotecnica e sismica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

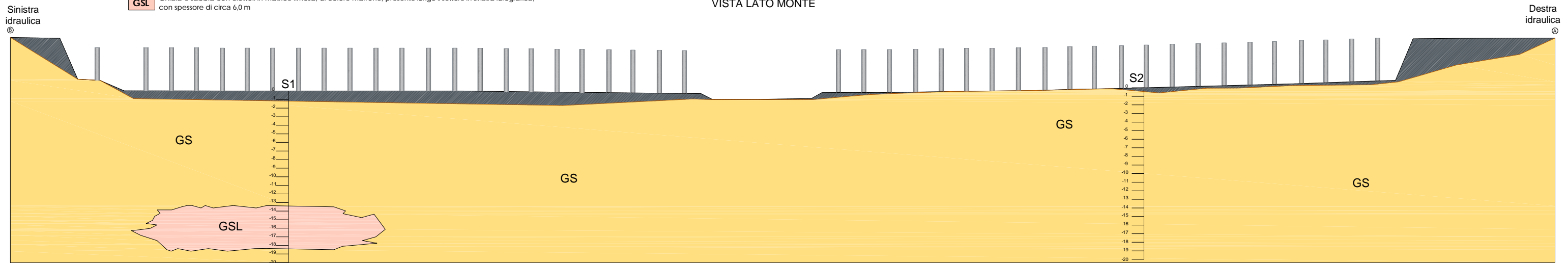


## Unità stratigrafiche

**GS** Ghiaia e sabbia con presenza di ciottoli centimetrici, di colore marrone, da consistente a molto consistente in profondità, che caratterizza l'intera sezione d'alveo

**GSL** Ghiaia e sabbia con ciottoli in matrice limosa, di colore marrone, presente lungo il settore in sinistra idrografica, con spessore di circa 6,0 m

VISTA LATO MONTE





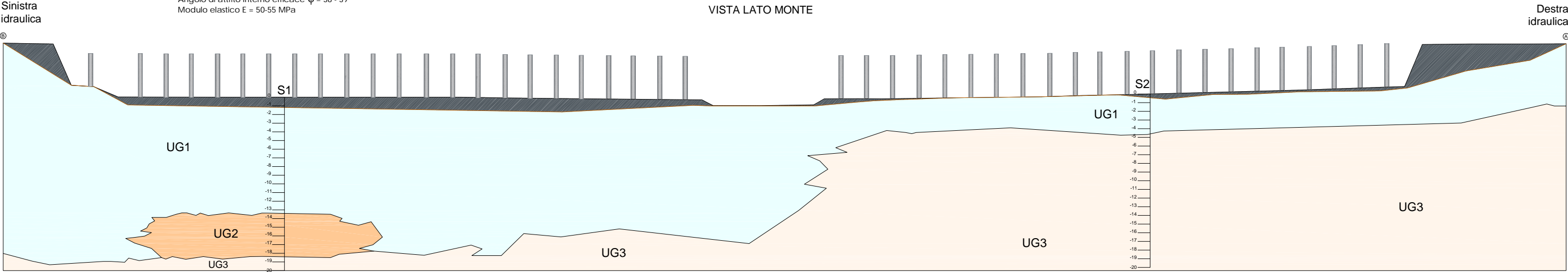
Unità geotecniche

- UGS1

Peso di volume  $\gamma$ = 19,9 kN/m3  
Angolo di attrito interno efficace  $\phi$ '= 32 - 34°  
Modulo elastico E = 28-33 MPa
- UGS2

Peso di volume  $\gamma$ = 21,4 kN/m3  
Angolo di attrito interno efficace  $\phi$ '= 34 - 37°  
Modulo elastico E = 37- 49 MPa
- UGS3

Peso di volume  $\gamma$ = 22,0 kN/m3  
Angolo di attrito interno efficace  $\phi$ '= 38 - 39°  
Modulo elastico E = 50-55 MPa



Committente: AIPO

Sondaggio: S1

Località: SAN CESARIO SUL PANARO

Data: 23 Agosto 2019

Fotografie - Pagina 1/3

Pagina 1



S1 Postazione



Committente: AIPO

Sondaggio: S1

Località: SAN CESARIO SUL PANARO

Data: 23 Agosto 2019

Fotografie - Pagina 2/3

Pagina 2



S1 Cassa 1 da 0,00 mt a 5,00 mt



S1 Cassa 2 da 5,00 mt a 10,00 mt



Committente: AIPO

Sondaggio: S1

Località: SAN CESARIO SUL PANARO

Data: 23 Agosto 2019

Fotografie - Pagina 3/3

Pagina 3



S1 Cassa 3 da 10,00 mt a 15,00 mt



S1 Cassa 4 da 15,00 mt a 20,00 mt



Committente: AIPO	Sondaggio: S1
Località: SAN CESARIO SUL PANARO	Data: 23 Agosto 2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione:	

SCALA 1 :100

# STRATIGRAFIA

---

Pagina 1/1

[illegible]



Committente: AIPO

Sondaggio: S2

Pagina 1

Fotografie - Pagina 1/3

Località: SAN CESARIO SUL PANARO

Data: 22 Agosto 2019



S2 Postazione



Committente: AIPO

Sondaggio: S2

Località: SAN CESARIO SUL PANARO

Data: 22 Agosto 2019

Fotografie - Pagina 2/3

Pagina 2



S2 Cassa 1 da 0,00 mt a 5,00 mt



S2 Cassa 2 da 5,00 mt a 10,00 mt



Committente: AIPO

Sondaggio: S2

Località: SAN CESARIO SUL PANARO

Data: 22 Agosto 2019

Fotografie - Pagina 3/3

Pagina 3



S2 Cassa 3 da 10,00 mt a 15,00 mt



S2 Cassa 4 da 15,00 mt a 20,00 mt

Committente: AIPO	Sondaggio: S2
Località: SAN CESARIO SUL PANARO	Data: 22 Agosto 2019
Coordinate:	Quota:
Perforazione:	

SCALA 1 :100

# STRATIGRAFIA

---

Pagina 1/1

[illegible]



# H/V Spectral ratio



Analysis site: **SPILAMBERTO**

Date: **25/08/2019**

Measure point: **default**

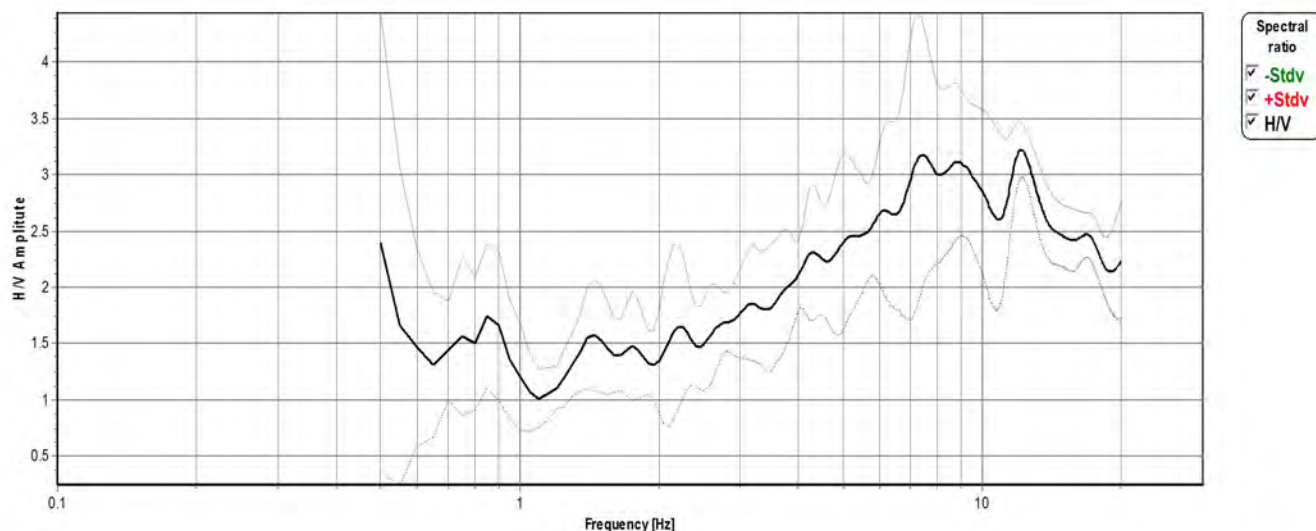
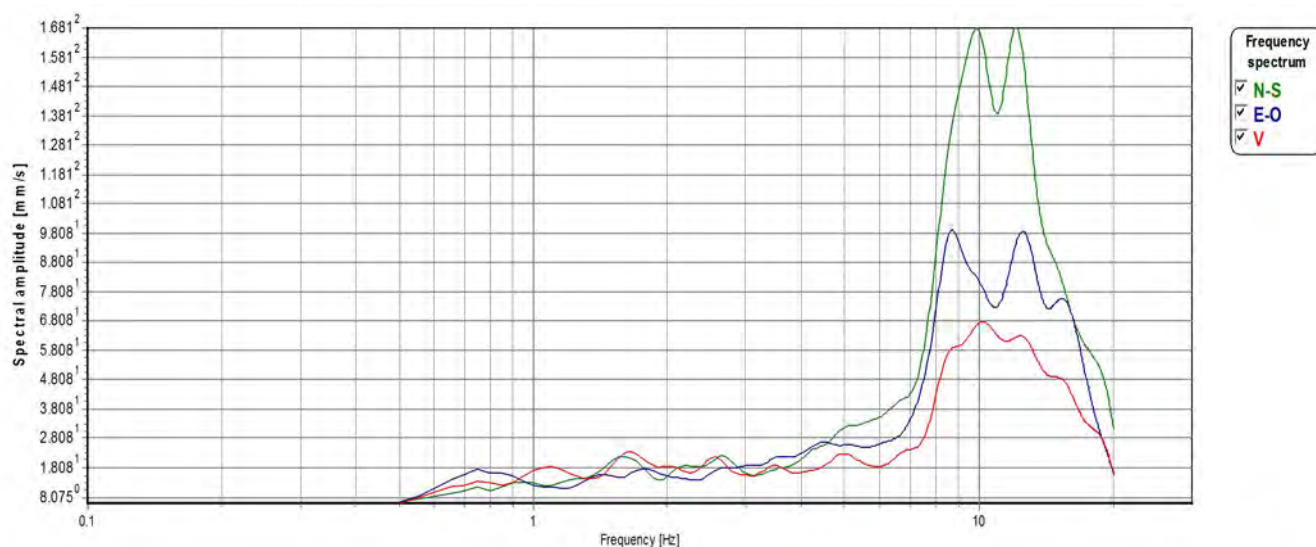
Note:

## Analysis parameters

Sample frequency [Hz]:	<b>125.00</b>	Start recordings:	<b>22/08/2019 14:22:17</b>
Automatic spike removal:	<b>Yes</b>	Stop recordings:	<b>22/08/2019 14:22:17</b>
LTA [s]:	<b>5.0</b>	High pass frequency [Hz]:	<b>0.50</b>
STA [s]:	<b>0.5</b>	Low pass frequency [Hz]:	<b>20.00</b>
Ratio:	<b>1.9</b>	Nw number of windows:	<b>8</b>
Lw Windows [s]:	<b>20</b>	Recording length [s]:	<b>160</b>
Overlap Windows s]:	<b>2.0</b>	Discarded windows:	<b>42</b>
Konno-Ohmachi parameter:	<b>40</b>		

## Analysis results

H/V peak frequency $f_0$ [Hz]:	<b>6.675</b>	Standard deviation [Hz]:	<b>3.585</b>
--------------------------------	--------------	--------------------------	--------------





# H/V Spectral ratio



Analysis site: **SPILAMBERTO**

Date: **25/08/2019**

Measure point: **default**

Criteria for a reliable H/V curve		
$f_0 > 10/Lw$	<b>6.68 <math>\geq</math> 0.50</b>	<b>Yes</b>
$Nc(f_0) > 200$	<b>1068.00 <math>\geq</math> 200.00</b>	<b>Yes</b>
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	<b>exceeded 0 out of 201</b>	<b>Yes</b>
Criteria for a clear H/V peak		
Exists $f$ in $[f_0/4, f_0]$ where $A(f) < A_0/2$	<b>1.900</b>	<b>Yes</b>
Exists $f$ in $[f_0, 4f_0]$ where $A(f) < A_0/2$	<b>Not exist</b>	<b>No</b>
$A_0 > 2$	<b>2.69 <math>&gt;</math> 2.00</b>	<b>No</b>
Criteria for a stable H/V peak		
$F_{peak}[A(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm \%$	<b>92.51% <math>&gt;</math> 5.00%</b>	<b>No</b>
$sf < e(f_0)$	<b>3.5848 <math>&gt;</math> 0.3338</b>	<b>No</b>
$sA(f_0) < ?(f_0)$	<b>0.9128 <math>&lt;</math> 1.5800</b>	<b>Yes</b>

Lw	window length
Nw	number of windows used in the analysis
f	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
sf	standard deviation of H/V peak frequency
$Nc = f_0 \times Lw \times Nw$	number of significant cycles
$AH/V(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$sA(f)$	standard deviation of $AH/V(f)$
$sA(f_0)$	standard deviation of $AH/V(f)$ at $f_0$ frequency
$e(f_0)$	threshold value for the stability condition $sf < e(f_0)$
$?(f_0)$	threshold value for the stability condition $sA(f_0) < ?(f_0)$
$F_{peak}[A(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm \%$	maximum deviation from the $f_0$ peak, expressed as a percentage

Threshold values for $sf$ and $sA(f_0)$					
$f_0$ frequency range [Hz]	$< 0.2$	$0.2 - 0.5$	$0.5 - 1.0$	$1.0 - 2.0$	$> 2.0$
$e(f_0)$ [Hz]	$0.25f_0$	$0.2f_0$	$0.15f_0$	$0.1f_0$	$0.05f_0$
$?(f_0)$ for $sA(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58

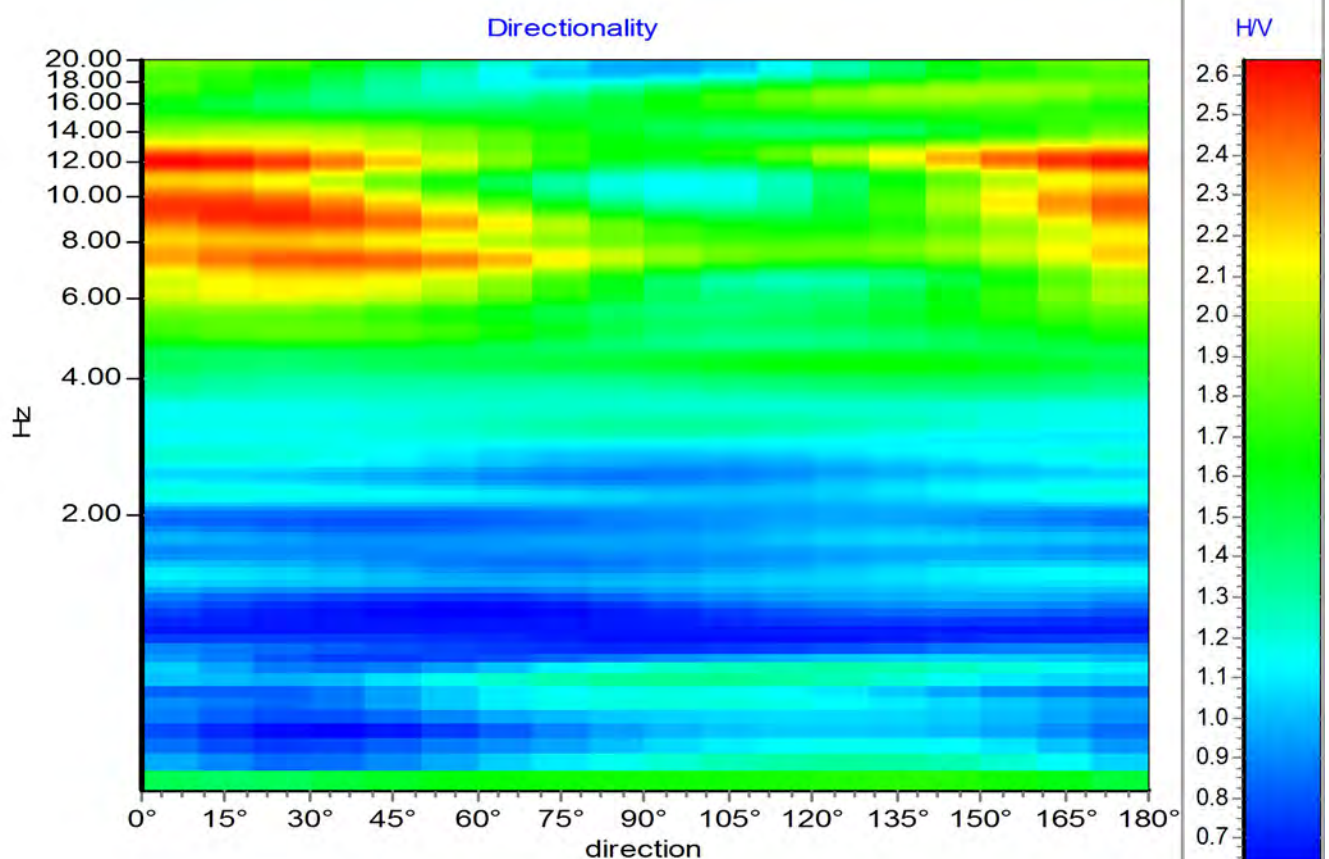
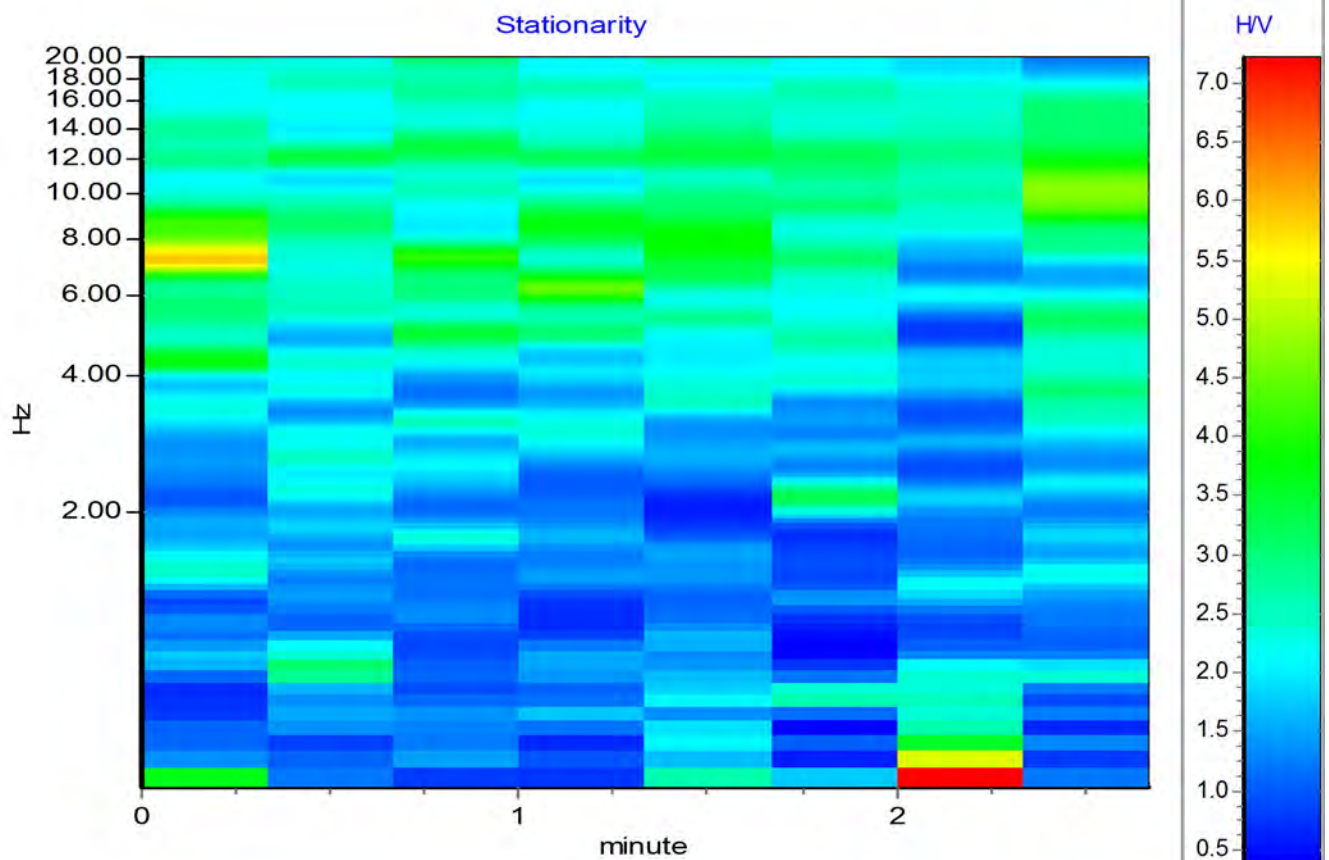
# H/V Spectral ratio

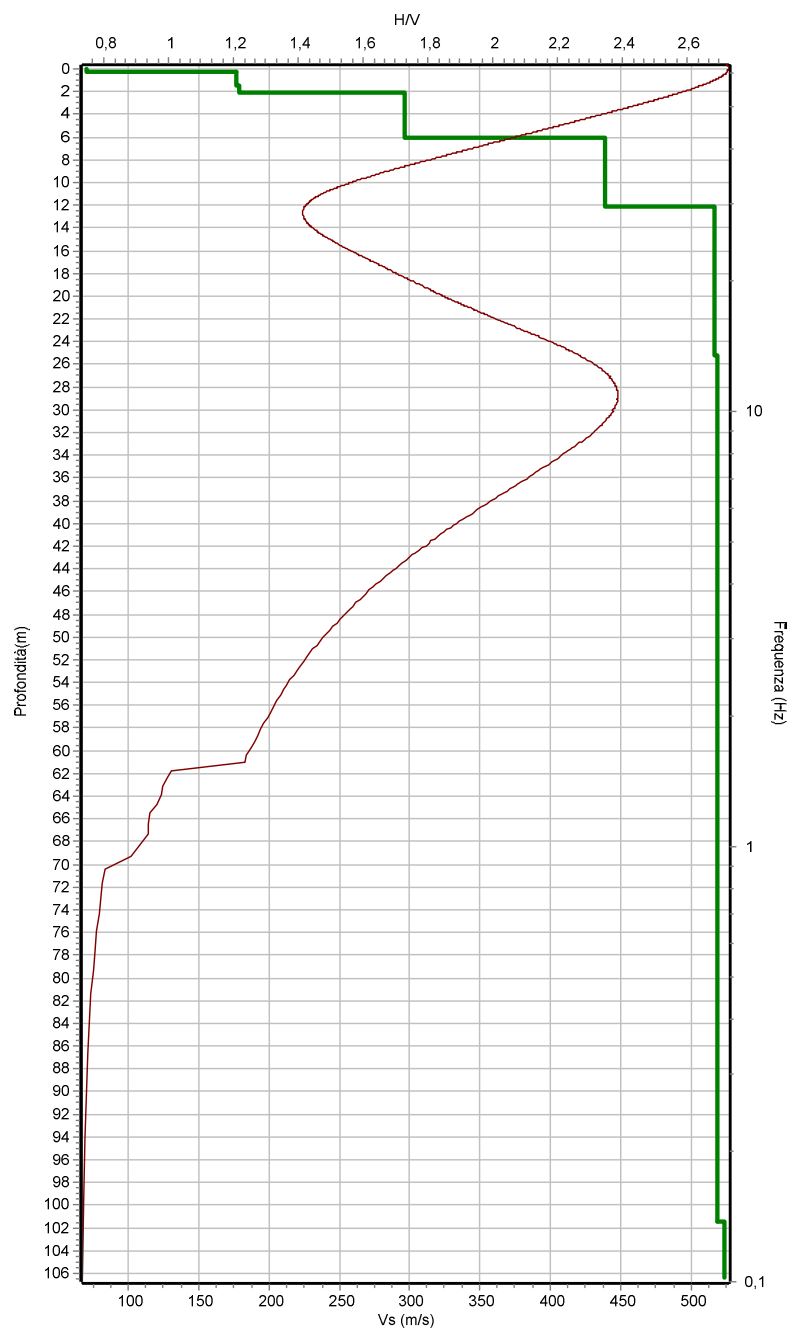


Analysis site: **SPILAMBERTO**

Date: **25/08/2019**

Measure point: **default**





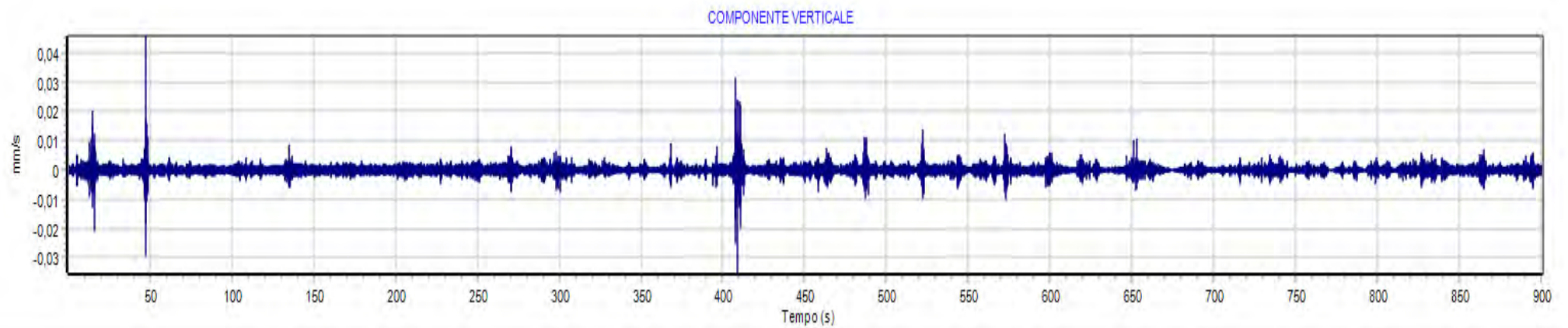
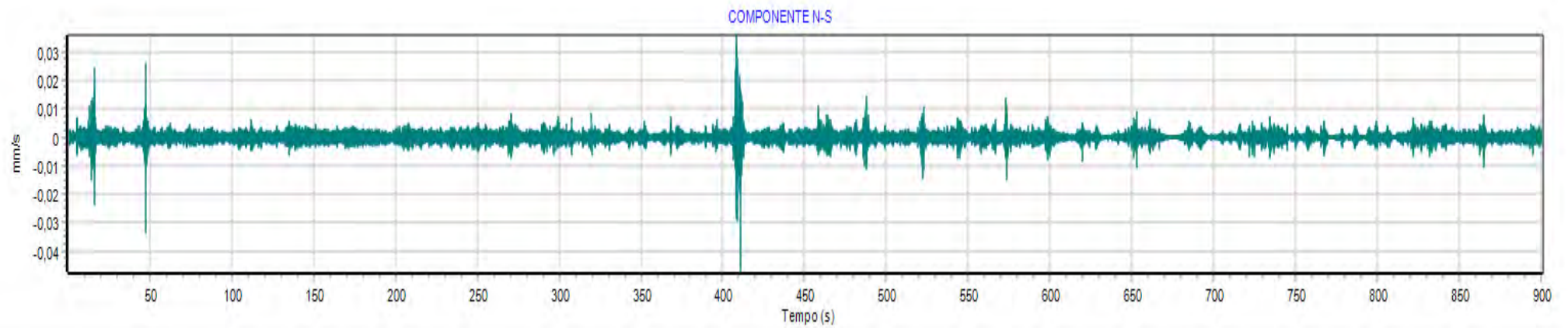
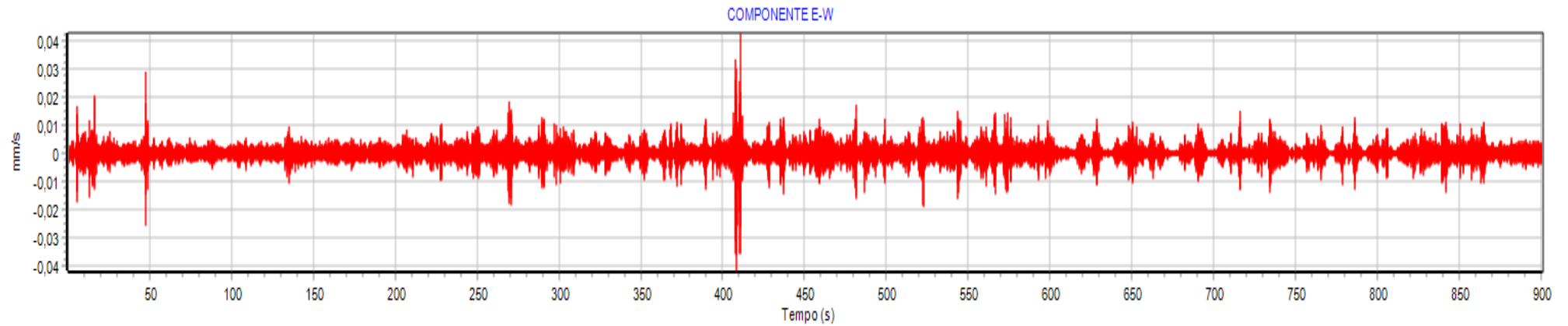
— Vs media
 — Spettro HV teorico

**Classe sito: B - Vseq.(m/s)= 394,3**





## Acquisizione di campagna HVSr V1



## Tabella parametri picchi stratigrafici da spettro H/V delle onde di Rayleigh e Love V1

Criteri SESAME (2005) per una curva H/V attendibile S1:  $f_p > 10/L_w$  - S2:  $L_w \times N_w \times f_p > 200$  - S3:  $s_a < 2$  per  $0.5f_p < f < 2f_p$

LEGENDA:  $L_w$ =lunghezza della finestra (s) -  $N_w$ =n. finestre -  $f_p$ (Hz)=frequenza del picco stratigrafico -  $s_a$ =deviazione standard

N.	fz(Hz)	H/V	Kg	H1(m)	H2(m)	H3(m)	S1	S2	S3
1	1,28	0,96	0,72	38,96	22,69	19,2	Si	Si	Si
2	5,13	1,62	0,51	6,14	3,58	3,03	Si	Si	Si
3	9,06	2,3	0,58	2,87	1,67	1,42	Si	Si	Si
4	12,18	2,18	0,39	1,94	1,13	0,96	Si	Si	Si
5	21,24	1,67	0,13	0,92	0,54	0,45	Si	Si	Si
6	30,4	1,33	0,06	0,57	0,33	0,28	Si	Si	Si
7	60,91	2,58	0,11	0,23	0,13	0,11	Si	Si	Si