



Comune di Varano de Melegari

Provincia di Parma



RELAZIONE GEOLOGICA TECNICA E SISMICA INERENTE L'ESECUZIONE DI SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO, IN LOCALITA' CASE CONTINI E PRODUZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA, A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DEI LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE IDRAULICA E SISMICA DEL PONTE SUL TORRENTE CENO DETTO "DELLA FOPLA"

DATA	DESCRIZIONE	FIRMA E TIMBRO
Settembre '23	GEOLOGICA - TECNICA - SISMICA	Giumelli dott. Franco



FILE			PROT. ARCHIVIAZIONE
Studio 11-SG-23			11/SG/23

RELAZIONE GEOLOGICA TECNICA SISMICA AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018

1. <i>PREMESSA</i>	3
INDAGINI DIRETTE	4
INDAGINI INDIRETTE	4
RIFERIMENTI NORMATIVI.....	5
2. <i>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CATASTALE</i>	6
3. <i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO - TETTONICO REGIONALE</i>	10
Inquadramento geologico di dettaglio	15
4. <i>PERIMETRAZIONE DELLA CARTA DEL DISSESTO</i>	18
5. <i>INDAGINE GEOGNOSTICA</i>	20
6. <i>MODELLO GEOTECNICO</i>	23
7. <i>CLASSIFICAZIONE SISMICA</i>	26
Sismicità del territorio.....	31
8. <i>PERICOLOSITA' SISMICA</i>	33
9. <i>VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO (M.A.S.W.)</i>	44
10. <i>PARAMETRI GEOTECNICI</i>	58
VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI	61
11. <i>CONCLUSIONI E CONSIGLI OPERATIVI</i>	63

ALLEGATI

STRATIGRAFIA

FOTO CASSE

1. PREMESSA

La presente relazione, condotta ai sensi del D.M. del 17/01/2018 - *"Norme tecniche per le Costruzioni"*, illustra i risultati delle indagini effettuate a seguito di **"Affidamento del Servizio Geologico, consistente nella esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, in località Case Contini e produzione della Relazione Geologica, a supporto della progettazione dei lavori di ristrutturazione idraulica e sismica del ponte sul T. Ceno detto "Della Fopla"**.

Il lavoro è stato affidato allo scrivente dal committente **"Comune di Varano de Melegari"**.

L'indagine è stata svolta in un intorno geologico e geomorfologico significativo, al fine di definire le condizioni di stabilità generali dell'area ed effettuare la caratterizzazione sismica dei terreni in essa presenti. Questo studio si pone come obiettivo la definizione della categoria di suolo della zona d'intervento, e di fornire indicazioni sul tipo di intervento di consolidamento più idoneo in funzione delle condizioni del terreno riscontrate durante l'indagine.

Come definito nel citato Decreto Ministeriale del 17/01/2018, è stato appositamente realizzato un piano di indagine, sottoposto al progettista e da questi preventivamente avallato, volto ad accertare, tramite l'esecuzione di specifiche e mirate indagini geognostiche dirette ed indirette, la caratterizzazione litologica, geomeccanica e sismica dei terreni interessati dalle fondazioni del ponte.

Le considerazioni che seguiranno sono emerse dalla sintesi delle acquisizioni d'indagine effettuate, ovvero:

- ricerca bibliografica di dati relativi all'assetto geolitologico, geomorfologico, idrogeologico, sismotettonico e sismico (generale e locale) dell'area;

- caratterizzazione litostratimetrica dei terreni del primo sottosuolo, attraverso un'indagine indiretta.

INDAGINI DIRETTE

- N° 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, di cui n° 2 verticali, sulla pila 2 e sulla 3 (S.1 a monte e S.2 a valle) e n° 1 inclinato (S.3) sulla pila 3. (vedi ubicazione allegata).

INDAGINI INDIRETTE

- n°1 prospezione sismica di tipo "M.A.S.W." (Multichannel Analysis of Surface Waves), finalizzata alla costruzione del profilo della velocità equivalente V_s , Eq (velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S), con l'obiettivo di ricavare la categoria del suolo di fondazione, che è necessaria per determinare l'azione sismica di progetto e per valutare la risposta sismica locale, in osservanza alla sopracitata normativa.
- n°1 prospezione sismica tipo "HVSr" per la misura del rumore sismico mediante tromografo digitale, realizzata contestualmente alla prospezione "M.A.S.W.", funzionale alla definizione della frequenza fondamentale del terreno di sedime, al fine di consentire al Progettista strutturale di valutare potenziali effetti di doppia risonanza per la struttura in progetto.

L'esecuzione delle indagini geognostiche, dirette ed indirette, unitamente ai dati areali disponibili nella banca dati del *Servizio Geologico - Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna* e/o derivanti da studi geologici allegati agli strumenti di pianificazione sovraordinata (indagini geognostiche dirette ed indirette, stratigrafie di pozzi idrici in zona, sezioni idro-stratigrafiche interpretative, cartografie tematiche, ecc., vedi figure nel testo), hanno consentito di ricostruire, con sufficiente dettaglio

per le finalità del presente studio (trattasi, come esposto, di uno studio geologico – sismico a supporto della fase di progettazione definitiva / esecutiva dell'intervento in oggetto), il "modello geologico" del primo sottosuolo.

Di seguito vengono illustrati i risultati dell'indagine geologico - tecnica che ha permesso di verificare il comportamento sismico del sottosuolo costituente l'area di studio.

L'obiettivo dello studio è stato quello di fornire una caratterizzazione della zona d'intervento mediante la definizione di:

- un modello geologico ed idrogeologico, con ricostruzione litostratigrafica dell'immediato sottosuolo e verifica dell'eventuale presenza e soggiacenza della falda freatica;
- definizione della velocità equivalente del suolo e di un modello sismico, con inquadramento della Zona Sismogenetica nel rispetto dell'O.P.C.M. n° 3274/2003 (e ss.mm.ii.);

Considerando l'omogeneità litostratigrafica e geomeccanica dei terreni presenti e la relativa estensione (qualche decina di metri quadrati) del sito investigato, si ritiene che le indagini eseguite siano sufficienti per poter caratterizzare da un punto di vista sismico i terreni in oggetto. Tale scelta è inoltre avvalorata dalla conoscenza acquisita con precedenti indagini delle aree circostanti a quella di intervento, che in un intorno significativo presentano caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche simili.

RIFERIMENTI NORMATIVI

- D.M. 17.01.2018: *Aggiornamento norme tecniche per le costruzioni*;
- Decreto ministeriale del 14/01/2008 - Testo unitario: *Norme Tecniche per le Costruzioni*;

- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni"* di cui al D.M. del 14/01/2008, Circolare 2 febbraio 2009;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: *Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007;
- Eurocodice 8 (1998): *Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture*, con particolare riferimento alla Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003);
- O.P.C.M. n° 3274 (2003): *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CATASTALE

In figura 1 si riportano due estratti fotografici satellitari, a diverso grado di dettaglio, che individuano l'area di indagine, mentre in figura 2 si riporta uno stralcio dell'inquadramento geografico, **mentre in figura 3 si riportano l'ubicazione delle indagini geognostiche eseguite: sondaggi geognostici e M.A.S.W..**

L'area oggetto di studio è posta ad una quota di circa 202 m s.l.m., e grosso modo trova collocazione alle seguenti coordinate geografiche assolute:

Latitudine --- Longitudine
44.682432° N -- 9.981049°

Le coordinate espresse sono in ED50. L'ellissoide di riferimento associato a questo sistema è l'ellissoide internazionale Hayford orientato a Potsdam (Torre di Helmert).



Figura 1: Istantanea satellitare di Google Earth raffigurante la posizione geografica dell'area di studio

Nella figura successiva, sono riportate anche le ubicazioni dei due rilevamenti sismici (M.A.S.W. / HVSR) e dei tre sondaggi effettuati.

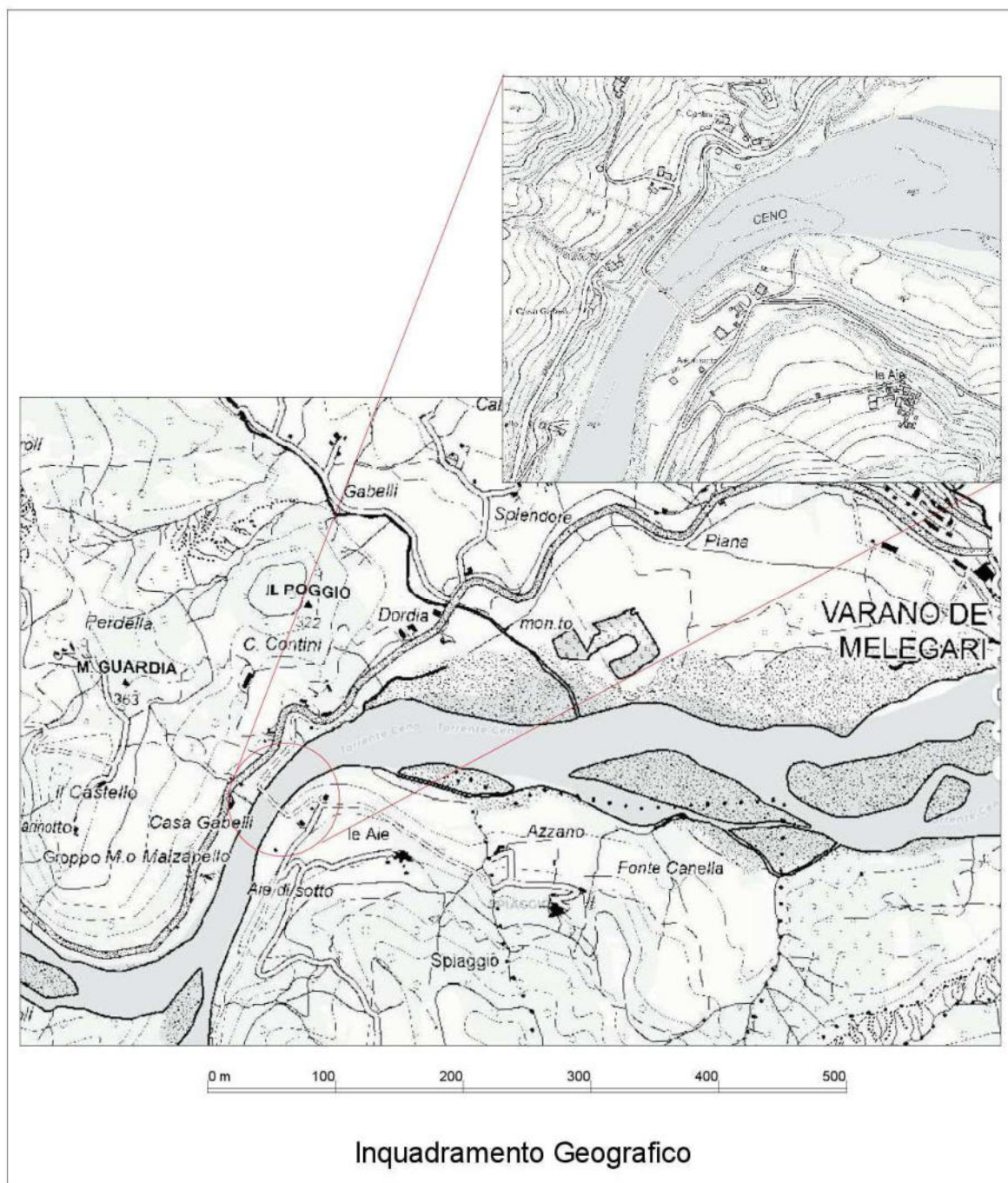


Figura 2: Inquadramento geografico dell'area di studio

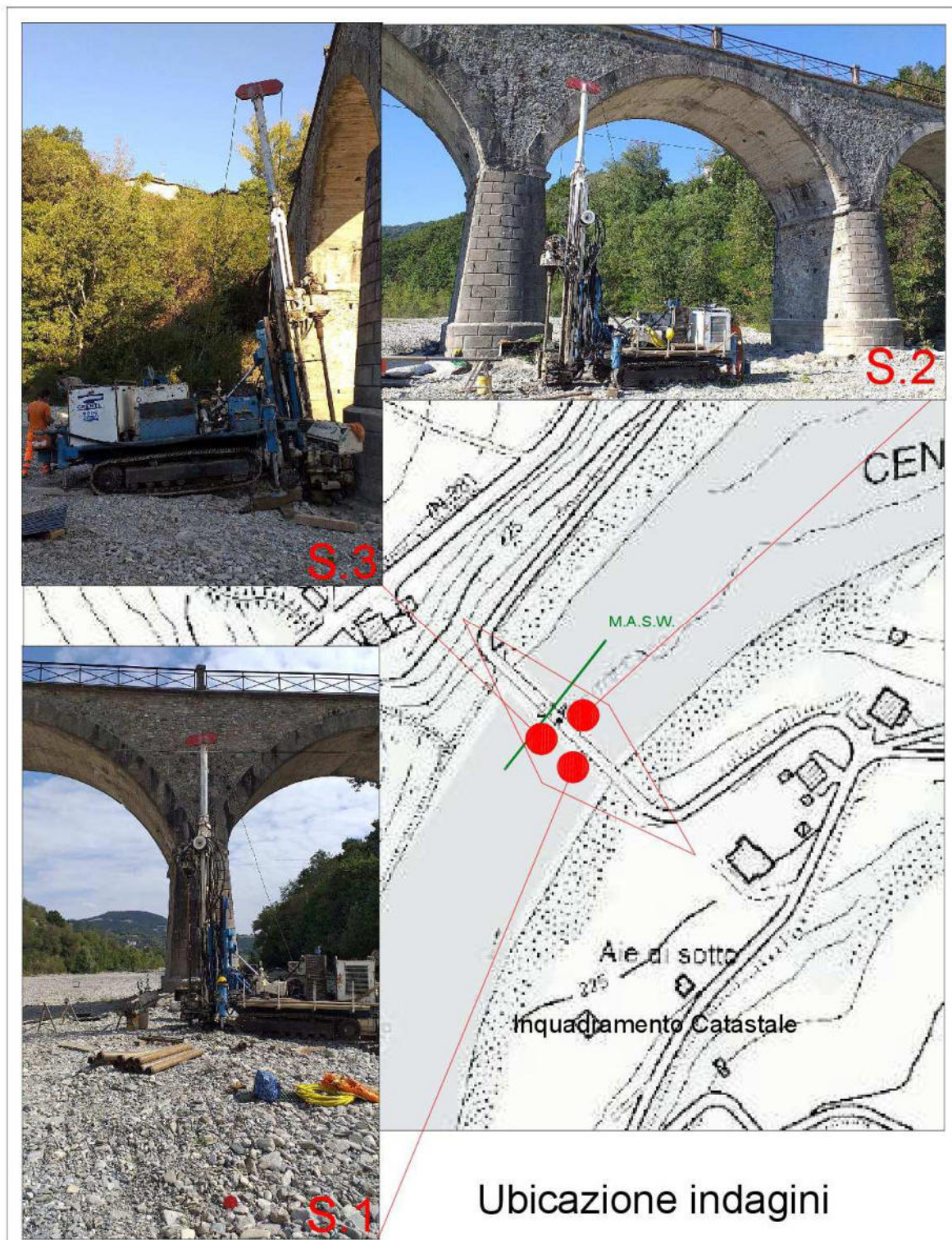


Figura 3: Ubicazione indagini

Nello specifico, uno stralcio dell'area di studio, è riportata in figura 2, sulla C.T.R. della regione Emilia - Romagna, in scala 1: 5.000, tratto dall'Elemento n° 198121.

Le informazioni relative alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e strutturali dell'area di studio, sono state individuate attraverso il reperimento di dati bibliografici, integrati da un rilevamento geologico e geomorfologico speditivo, eseguito dallo scrivente nell'immediato intorno, al fine di evidenziare sia l'assetto strutturale, sia i possibili processi morfogenetici in atto, in modo tale da individuare gli eventuali problemi legati all'interazione del sottosuolo con le opere progettate, in campo statico e dinamico. Le considerazioni geologiche e geomorfologiche che vengono di seguito formulate, si basano quindi sulle conoscenze acquisite attraverso le indagini eseguite sul campo. Le stesse saranno limitate ad informazioni inerenti alle caratteristiche litostratigrafiche e tettoniche del substrato roccioso e alle forme, ai depositi e ai processi ivi agenti, con l'intento di ricostruire il quadro morfo-evolutivo dell'area di studio.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - TETTONICO REGIONALE

L'Appennino settentrionale è una catena a falde derivata dalla deformazione terziaria di un settore del paleomargine continentale della microplacca adriatica prospiciente l'oceano Ligure-Piemontese. La convergenza tra la placca Europea e la placca Adriatica ha causato, all'inizio, la subduzione della crosta oceanica interposta e, in seguito, la collisione fra le due placche. Procedendo lungo una trasversale dell'Appennino, dall'interno verso l'esterno della catena (da ovest verso est), vengono distinti i seguenti domini paleogeografici:

1. Il Dominio Ligure è rappresentato da varie Unità tettoniche, i cui depositi comprendono relitti di basamento oceanico e la relativa copertura sedimentaria. Le Unità liguri si suddividono in due grandi gruppi: il Ligure Interno ed il Ligure Esterno. Le Unità del primo gruppo hanno un carattere tipicamente oceanico, mentre le

seconde passano da caratteri di transizione oceano – continente (quelle occidentali) a caratteri puramente continentali (quelle orientali).

2. Il Dominio Subligure, documentato dall'Unità di Canetolo, è una successione sedimentaria profondamente tettonizzata che, pur presentando molti problemi interpretativi, sembrerebbe essere sedimentata in una zona di transizione tra la crosta oceanica ligure e il margine passivo adriatico.

3. Il Dominio Toscano è rappresentato da tre successioni differentemente deformate: il Dominio Toscano Interno (Falda Toscana non metamorfica) con termini non metamorfici di età variabile dal Trias superiore all'Oligocene superiore; il Dominio Toscano Esterno (Complesso Metamorfico Toscano: Autoctono Auctt. delle Alpi Apuane, metamorfiti del M. Pisano e della Montagnola senese, ecc), con metamorfismo in facies scisti verdi, che oltre ad una copertura mesozoica e terziaria, comprende anche formazioni paleozoiche del suo basamento ercinico; l'Unità di Massa, frapposta tettonicamente alla Falda Toscana e l'Autoctono Auctt., costituita da termini paleozoici e del Trias inferiore e medio, che dovrebbe rappresentare il substrato della Falda Toscana. La successione mostra l'evoluzione del margine continentale passivo della placca Adria.

4. Il Dominio Umbro-Marchigiano è una successione sedimentaria depositata su crosta di tipo continentale appartenente alla placca Adria e scollata al livello delle evaporiti. Questo dominio rappresenta la parte più esterna dell'Appennino settentrionale ed è quindi l'ultimo ad essere stato raggiunto dalle fasi deformative. Sulla trasversale dell'Appennino tosco-emiliano tale dominio risulta sepolto dalle coltri liguri, mentre affiora nelle Marche e in Umbria.

La catena appenninica è stata costruita dall'impilamento verso oriente di queste Unità tettoniche; le Unità più interne del dominio ligure costituiscono le Unità tettonicamente più elevate, mentre le Unità più esterne occupano le posizioni

inferiori. La struttura attuale dell'Appennino settentrionale deriva dalla sovrapposizione, a partire dal Miocene, di strutture distensive con stile molto differente, secondo il livello strutturale in cui si sono sviluppate, su strutture compressive del Cretaceo-Oligocene. Tra il Trias superiore ed il Miocene inferiore, la forte subsidenza del margine continentale africano (Placca Apula o Adria) causa la sedimentazione della Falda Toscana, che parte con sedimenti dolomitico-evaporitici, per poi proseguire con una sedimentazione calcarea e calcareo-pelagica fino a facies silico-radiolaritiche, segnale dell'apertura dell'oceano Ligure-Piemontese; la serie viene poi chiusa da una torbidite arenacea (Macigno). Lo stadio iniziale dell'evoluzione dell'oceano Ligure-Piemontese è caratterizzato dalle ofioliti, abbondantemente presenti nelle Liguridi Interne assieme alle relative coperture sedimentarie di acque profonde (Diaspri e Calcari a Calpionelle, Argille a Palombini), seguite da potenti torbiditi arenacee (Arenarie del Gottero). Per le Liguridi Esterne, completamente scollate dal substrato, l'elemento più caratteristico sono i complessi basali prevalentemente argillitici con intercalazioni di masse ofiolitiche. A partire dal Cretaceo inferiore e fino all'Eocene medio, si attua una fase tettonica compressiva conosciuta come "fase ligure", che coinvolge la crosta oceanica del bacino Ligure-Piemontese e la sua copertura detritica, fase caratterizzata da raccorciamenti, formazione di pieghe isoclinali e falde di ricoprimento (Argnani et al., 2003; Boccaletti e Coli, 1983). Al termine dell'Oligocene, il regime tettonico compressivo, poi culminato nel Miocene superiore, provoca la collisione dei margini continentali Sardo-Corso e della placca Adria, determinando sia l'impilamento delle falde derivanti dai domini paleogeografici epicontinentali sia l'accavallamento su queste delle Unità liguri, con conseguente metamorfismo del margine continentale dell'Adria. L'edificio strutturale così formato viene tagliato da linee trasversali ad andamento antiappenninico, imputabili sia a fenomeni di trascorrenza in regime compressivo (Ghelardoni, 1965; Monteforti e Raggi, 1981; Fazzini e Gelmini, 1984) sia ai movimenti

di traslazione che hanno portato le unità liguri ad accavallarsi sul Dominio Toscano (Raggi, 1985); non si esclude comunque una loro riattivazione neotettonica. La fase tettonica compressiva ha agito sull'Appennino settentrionale fino al Tortoniano superiore, dopodiché hanno avuto inizio i processi distensivi, in corrispondenza dell'apertura del Tirreno e come conseguenza dei processi di assottigliamento e affondamento della crosta ispessita dalla collisione (Patacca et al., 1990).

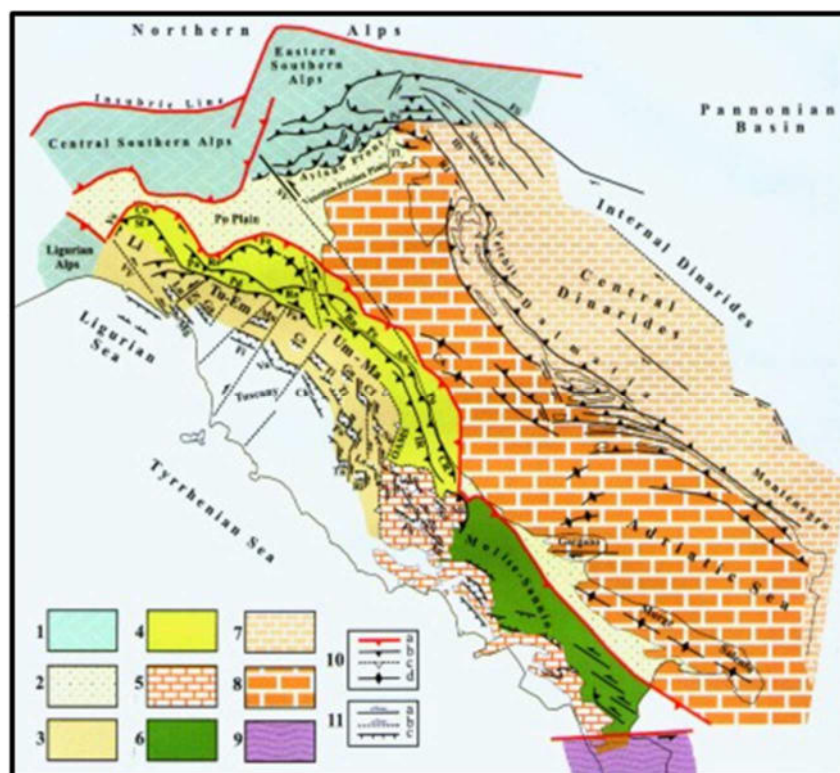


Figura 4: principali allineamenti tettonici dell'appennino centro - settentrionale e zona peri - Adriatica

L'assetto fisico del territorio comunale di Varano de' Melegari nasce in un contesto tettonico a stile compressivo nel quale le spinte orogenetiche attive dal basso terziario fino ai giorni nostri, quasi esclusivamente in ambiente sottomarino, hanno comportato un notevole raccorciamento crostale, la dislocazione e deformazione di potenti ammassi rocciosi, secondo un modello generale a falde di ricoprimento. Si tratta della sovrapposizione multipla di sequenze sedimentarie ed ignee, staccatesi dal substrato oceanico di

formazione e traslate e giustapposte verso nord-est, in rapporto all'azione delle spinte orogenetiche. Nel dettaglio la strutturazione dell'Appennino si compone di una serie di unita alloctone (Liguridi interne ed esterne e Subliguridi) che ricoprono con contatti di natura chiaramente tettonica un substrato costituito da una serie di unita autoctone (Unita della Falda Toscana, Unita di Pracchiola-Bobbio-Cervarola e Cervarola e Unita padano adriatiche). In posizione superiore, sopra le Liguridi, si collocano le unita pseudo-autoctone della Successione Epiligure M. Piano – Bismantova (Epiligure e bacino terziario piemontese) e le successioni neoautoctone del margine appenninico.

L'edificio strutturale dell'area in esame, situata nella parte terminale del bacino del torrente Ceno, si compone di una serie di unita alloctone, appartenenti sia alle Liguridi sia alla successione Epiliguri. In particolare affiorano le seguenti formazioni:

1. Unità Liguridi

Complessi Argillosi

Argille Varicolori

Arenarie di Scabiazza

Serpentiniti ed oficalciti

2. Unità Epiliguridi

Formazione di Antognola (Oligocene inferiore - Miocene inferiore).

Arenarie di Ranzano (Eocene superiore - Oligocene inferiore)

3. Depositi quaternari

I depositi del quaternario sono rappresentati da corpi di frana, falde di detrito e depositi fluviali. I corpi di frana sono composti da ammassi caotici eterometrici ed eterogenei che ricoprono vaste porzioni dei versanti sia in destra sia in sinistra orografica della Val Nure. Le falde di detrito si trovano alla base di pendii rocciosi, costituite dall'accumulo di materiale eterometrico generalmente caratterizzato da elementi spigolosi, delle dimensioni di una ghiaia, prive o con scarsa matrice fine sabbiosa e limosa.

I depositi fluviali affiorano nel fondo valle nell'ambito del greto fluviale costituiti da ghiaie e/o blocchi poligenici ed eterometrici pulite o in scarsa matrice fine sabbiosa e limosa.

Inquadramento geologico di dettaglio

Da un punto di vista geologico, le unità tettoniche che apparentemente interessano l'area di studio sono molteplici, come si evince in *figura 5*:

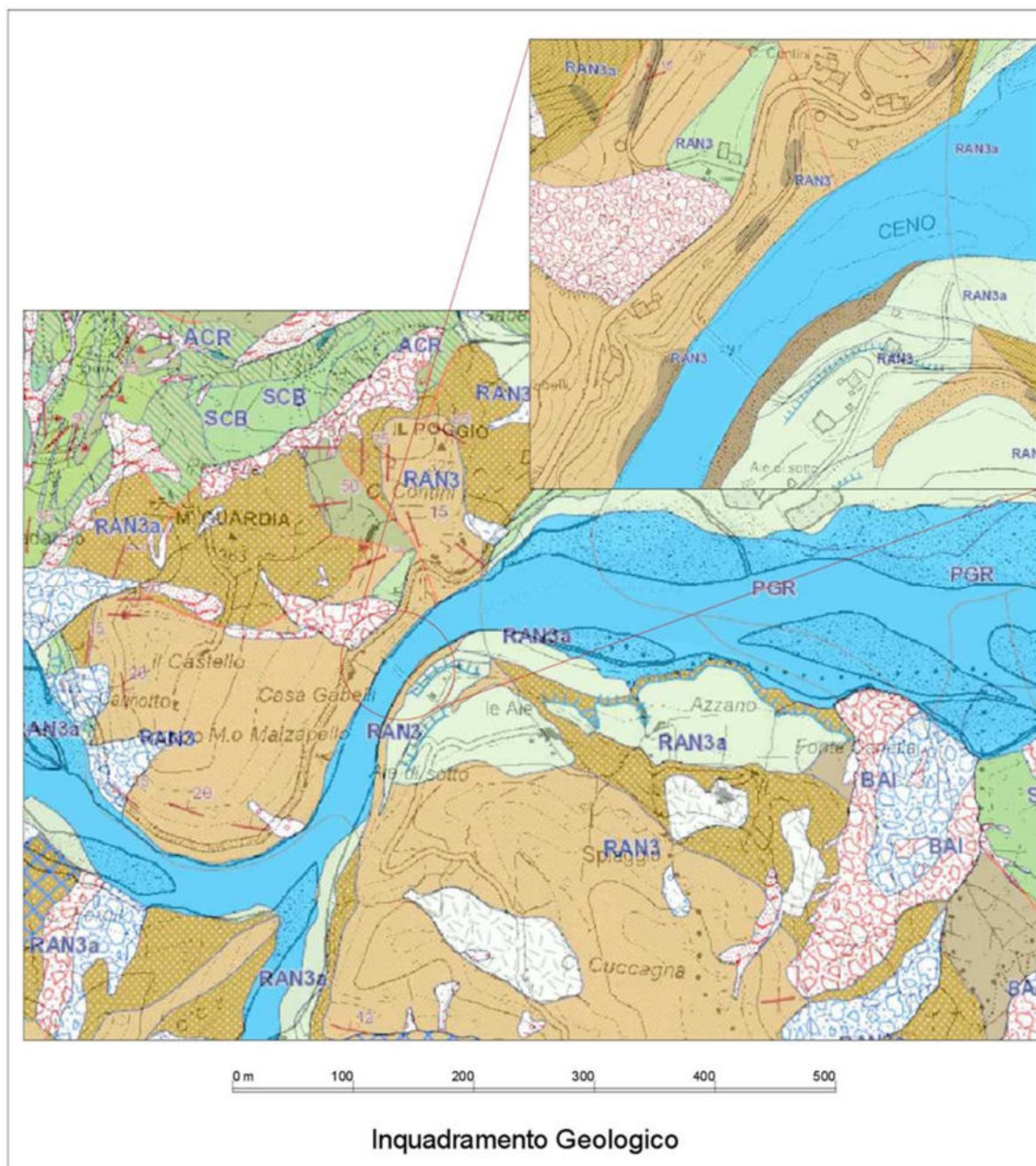


Figura 5: Inquadramento geologico

UNITA' EPILIGURI



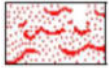
RAN3 - Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari

Litoareniti grigie, talora a base conglomeratica, a prevalenti clasti carbonatici, alternate a peliti marnose grigie; strati da sottili a spessi, talora molto spessi; A/P molto variabile, da $>$ a $<< 1$; alla base è presente un orizzonte di frana sottomarina non cartografabile, nella parte medio-alta sono presenti livelli sottili di areniti vulcanoclastiche. Localmente è presente una litofacies arenaceo-pelitica con areniti grigio piombo a grana media, in strati da medi a molto spessi, senza apparente gradazione, con intercalazioni di sottili livelli vulcanoclastici. Localmente distinta una litofacies pelitica (RAN3d). Passaggio inferiore netto su RAN2 e su MMP. Potenza massima di varie centinaia di metri. (Rupeliano medio - sup.).

Depositi di frana attivi: Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto (indipendentemente dalla entità e dalla velocità degli stessi). L'attività può essere continua o, più spesso, intermittente ad andamento stagionale o pluriennale. Vengono inclusi in questa categoria anche depositi di frane che al momento del rilevamento non presentano sicuri segni di movimento ma che denotano comunque una recente attività segnalata da indizi evidenti (lesioni a manufatti, assente o scarsa vegetazione, terreno rimobilizzato) all'occhio del tecnico rilevatore. Sono altresì incluse anche frane con velocità recepibile solo attraverso strumenti di precisione (inclinometri, estensimetri, ecc.), qualora esistenti.



a1g – Deposito di frana attivo complessa: Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.



a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango: Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

Depositi di frana quiescenti: Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici o strade. Per queste frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi, generalmente superiori a vari anni. Rientrano in questa categoria anche i corpi franosi oggetto di interventi di consolidamento, se non supportati da adeguate campagne di monitoraggio o da evidenze di drastiche modifiche all'assetto dei luoghi.



a2g - Deposito di frana quiescente complessa Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.



a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi.

I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

4. PERIMETRAZIONE DELLA CARTA DEL DISSESTO

In figura 6 è riportato uno stralcio dalla Carta del Dissesto, in cui emerge chiaramente il contesto geomorfologico e morfo-evolutivo in cui si colloca l'area di studio.

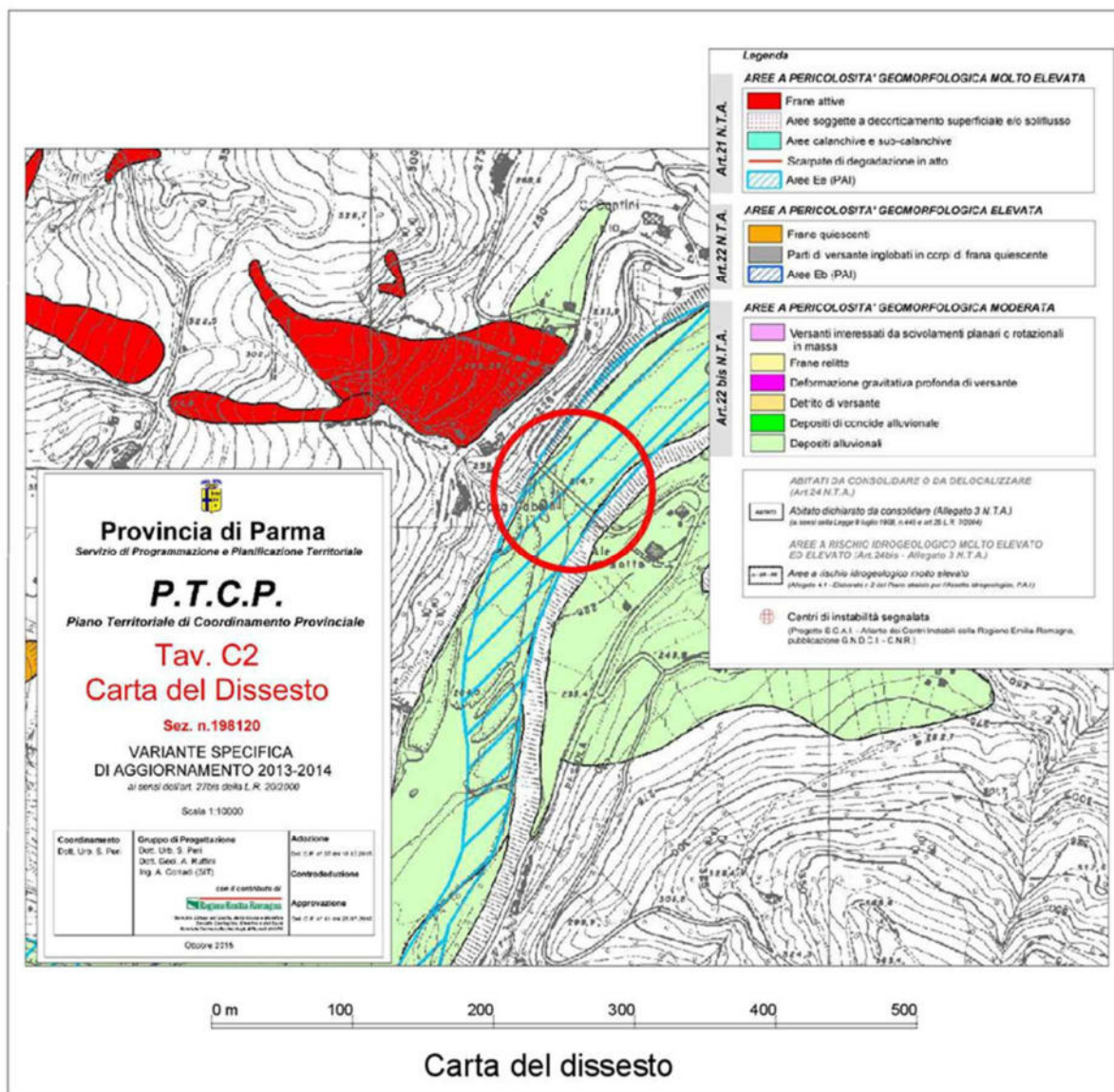


Figura 6: Stralcio della carta del dissesto

Geomorfologia

Dal punto di vista geomorfologico, l'area di studio non risulta essere compresa in aree interessate da frane. Ciò è deducibile dalla **"Carta del Dissesto - Variante specifica di aggiornamento 2013-2014"** in scala **1: 10.000** del P.T.C.P. della Provincia di Parma, di cui se ne riporta uno stralcio nella pagina precedente.

Il sito rientra nelle "Aree a pericolosità geomorfologica moderata" in quanto vi è la presenza di "Depositi alluvionali"

Assetto idrogeologico:

L'area di studio non ricade all'interno dei siti assoggettati al Vincolo Idrogeologico (figura 7), ai sensi del R.D. del 30 dicembre 1923, n° 3267.

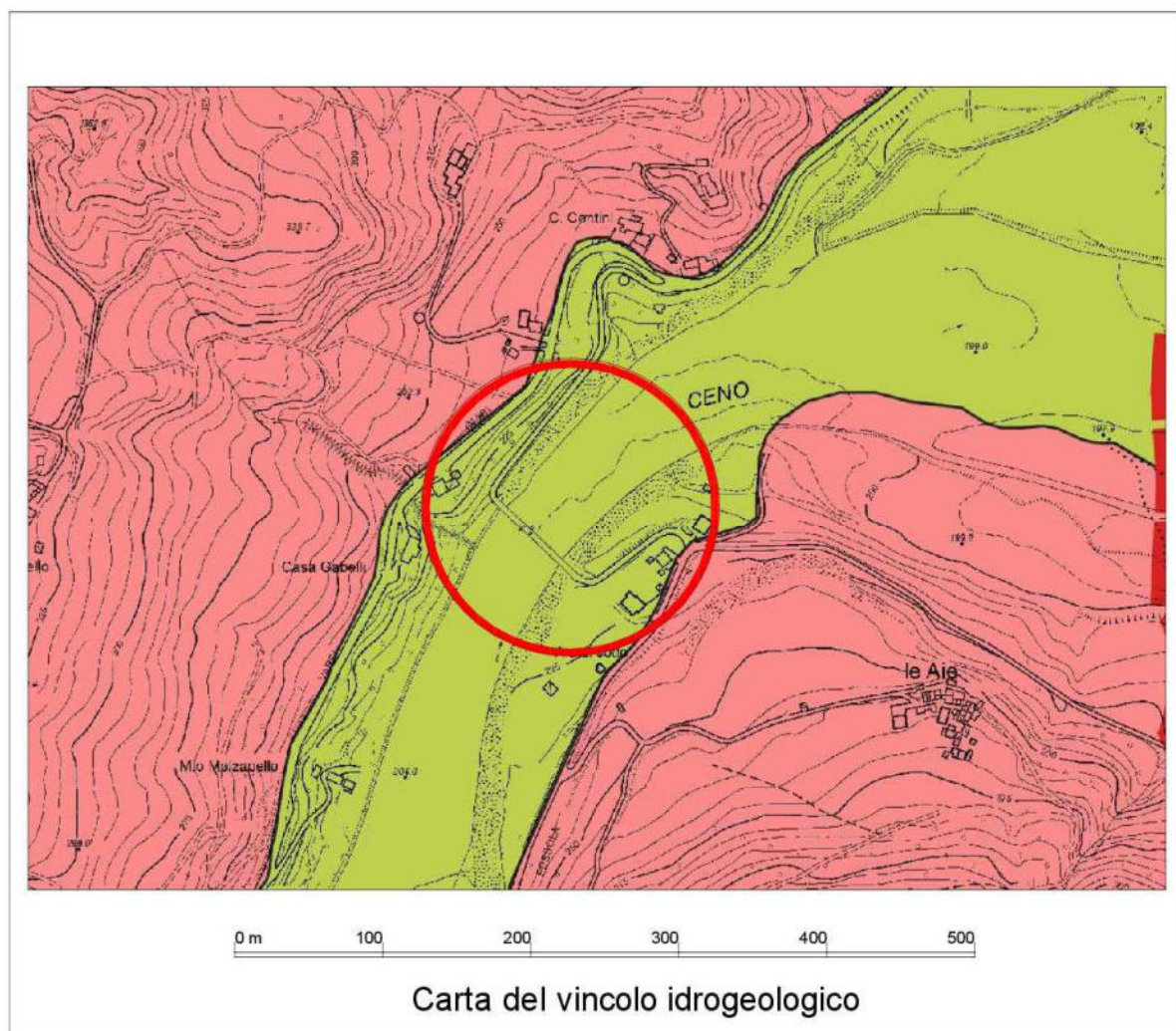


Figura 7: Stralcio del Vincolo Idrogeologico raffigurante l'area di studio.

Le acque di ruscellamento sono scarsamente regimate da fossi e canali che raggiungono gli adduttori principali attraverso le linee di massima pendenza, con una velocità che dipende dall'inclinazione del versante stesso. Non vi è evidenza di aree umide o di venute d'acqua in superficie e i terreni, nell'intorno, risultano ben drenati. Tuttavia, la struttura idrogeologica del versante adiacente è strettamente legata alla disposizione delle litologie presenti e all'andamento dei rapporti stratigrafici, quindi dove affiorano terreni poco permeabili, può formarsi un velo superficiale uniforme d'acqua che asporta il materiale incoerente (erosione areale), per poi defluire lungo le linee di massima pendenza, scavando un gran numero di piccoli solchi, che in una prima fase si modificano di continuo (erosione a rivoli), ma successivamente diventano più profondi e durevoli (erosione a solchi o lineare).

5. INDAGINE GEOGNOSTICA

Considerando la tipologia dell'opera, la complessità geologica e il grado di conoscenza locale, per la definizione della lito-stratimetria e per la caratterizzazione geotecnica del terreno, è stata pianificata e realizzata in accordo con la Commitenza/Progettisti, un'apposita indagine geognostica consistente in:

- N.3 sondaggi geognostici;
- N.1 Prospezione sismica attiva (di tipo MASW).

In fig. 3 viene riportata l'ubicazione delle indagini.

Al fine di individuare con precisione la stratigrafia del terreno di sedime dell'intervento in progetto, è stata realizzata la suddetta indagine.

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia degli interventi in progetto, la campagna geognostica per lo studio dei terreni presenti in loco

come già accennato in precedenza si è svolta tramite la realizzazione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

Sondaggi meccanici

Per l'esecuzione del sondaggio geognostico è stata utilizzata una sonda idraulica modello Ellettari EK 650.

L'attrezzatura di perforazione consiste in:

- aste di perforazione diam. 76 mm e peso 12 kg/m, lunghezza 1.5 e 3.0 metri;
- carotiere semplice diam. 101 mm e lunghezza 1.5 e 3.0 metri con corona a prismi al widia;
- rivestimenti di diam. 127 mm
- maglio per prove SPT di fabbricazione Nenzi a sganciamento automatico con maglio di peso 63.5 kg ed altezza di caduta libera 75 cm;
- scandaglio per misura della profondità del fondo foro;
- freatimetro.

La sonda è equipaggiata con pompa fango triplex da 200 lt a 26 bar usata sia per lubrificare con fluido gli utensili che per le operazioni di scarotatura.

Metodologica generale esecutiva dei sondaggi

Le operazioni di carotaggio avvengono nel seguente modo: all'asta di perforazione viene collegato un tubo campionatore cavo chiamato carotiere, capace di contenere il terreno che viene carotato per avanzamento a secco per tratti successivi variabili da pochi decimetri al metro in funzione della densità o consistenza del terreno. Il risultato è una sequenza continua di prelievo di terreno chiamata "carote", a partire dal piano campagna sino alla profondità voluta; le carote vengono conservate in apposite cassette catalogatrici in legno dotate di coperchio.

Il foro viene generalmente rivestito, ove necessario, con tubo metallico di diametro 127 mm a seguire per evitare il franamento. Durante il sondaggio, si è provveduto a verificare la quota della falda.

Modalità di esecuzione delle prove S.P.T. in foro di sondaggio

Le prove penetrometriche S.P.T. (Standard Penetration Test) sono state eseguite facendo penetrare una punta conica od un campionatore a tubo aperto (tipo Raymond di $\varnothing = 50.8$ mm e di $l = 35$ mm) per 45 cm nel terreno; i colpi necessari all'infissione vengono misurati in tre fasi successive di 15 cm. Il valore di N_{spt} risulta dalla somma di colpi ottenuti per il 2° e 3° tratto. L'attrezzatura utilizzata è così suddivisa:

- tubo campionatore: in acciaio indurito con diametro esterno di 51 ± 1 mm, diametro interno di 35 ± 1 mm e lunghezza minima di 457 mm; la scarpa tagliente è stata sostituita con una punta conica (Racc. A.G.I.) data la presenza di orizzonti incoerenti grossolani, la possibile presenza di inclusi lapidei e/o l'elevata consistenza dei depositi;
- aste con diametro pari a 50.46 mm;
- dispositivo di battitura: testa di battuta in acciaio strettamente avvitata all'estremità della batteria di aste, maglio di tipo Pilcon Nenzi in acciaio del peso di 63.5 ± 0.5 kg a sganciamento automatico, con corsa di 760 mm.

Prima di ogni prova viene controllato con lo scandaglio la quota del fondo foro confrontandolo con quelle raggiunte dalla manovra di perforazione dalla quale non deve differire oltre i 7 cm. In presenza di materiali molto compatti o ghiaia viene adottato il campionatore chiuso a punta conica.

6. MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per gli interventi in progetto. Si fornisce di seguito la caratterizzazione geotecnica dei terreni costituenti il sito in esame. Dall'analisi dei dati forniti dalle prove eseguite è stato possibile risalire ai principali parametri geotecnici del terreno. Nella seguente tabella, viene riportato il profilo geotecnico dei livelli riconosciuti, suddivisi in base alle seguenti caratteristiche: litologia prevalente, e proprietà fisico meccaniche per ciascuna grandezza è stato riportato un range di valori di riferimento, i quali verranno utilizzati per ricavare i parametri caratteristici del terreno da utilizzare per la progettazione.

Pila 2 – 3 sondaggi 1 e 2

ORIZZONTE 1 Da mt 0.00 a mt 4.50/9.20			
Ghiaia			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Peso di Volume	γ	t/m ³	2.00 – 2.10
Angolo di attrito	ϕ	°	36° - 37°
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	0.34 – 0.36
Modulo edometrico	M Ed	Kg/cm ²	426 – 436
ORIZZONTE 2 Da mt 4.50/9.20 a mt 6.00/10.00			
Arenarie alterate			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Peso di Volume	γ	t/m ³	2.18 – 2.20
Angolo di attrito	ϕ	°	37° - 38°
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	>2.5

ORIZZONTE 2 Da mt 6.00/10.00 a fine sondaggi Arenarie talora fratturate			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Peso di Volume	γ	t/m ³	2.28 - 2.30
Angolo di attrito	ϕ	°	39° - 40°
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	>2.5

Pila 3 sondaggio 3 inclinato per attraversamento pila

ORIZZONTE 1 Da mt 0.00 a mt 4.00 Alternanza di livelli ben cementati e altri scarsamente cementati.			
ORIZZONTE 2 Da mt 4.00 a mt 4.50 Elementi lapidei con tracce di cemento			
ORIZZONTE 3 Da mt 4.50 a fine sondaggi Arenarie a tratti parzialmente fratturate			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Peso di Volume	γ	t/m ³	2.28
Angolo di attrito	ϕ	°	39°
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	>2.5

NOTA BENE:

IL SONDAGGIO S.1 INIZIA A -1.30 DALLA QUOTA SUPERIORE DEL DENTE PRESENTE NELLA PILA

IL SONDAGGIO S.1 INIZIA A -1.30 DALLA QUOTA SUPERIORE DEL DENTE PRESENTE NELLA PILA

IL SONDAGGIO S.1 INIZIA A -1.30 DALLA QUOTA SUPERIORE DEL DENTE PRESENTE NELLA PILA

I sondaggi geognostici eseguiti rivelano comunque la presenza di uno spessore di ghiaia variabile dai 4.50 ai 9.00 metri, al di sotto abbiamo la presenza del substrato arenaceo fino alla profondità indagata. Il sondaggio inclinato eseguito sulla pila ha evidenziato la presenza di calcestruzzo ammalorato e la probabile assenza di ferro di armatura. Il piano di posa per la pila individuata col numero 3, (vedi allegati), risulta sui 4.50 metri da quota foro.

7. CLASSIFICAZIONE SISMICA

Zonazione Sismica nazionale e regionale ZS9

La Zonazione Sismogenetica ZS9 è il punto di riferimento per la valutazione della pericolosità sismica. Essa è il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone ZS4 (Scandone et al. 1996), che sono state il punto di riferimento per la pericolosità sismica fino al 2002.

La Zonazione Sismica è lo studio della valutazione dei cinematismi degli elementi geologici cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e superficiali (crosta). Il confronto fra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata, ha permesso di costruire la carta nazionale delle Zone Sismogenetiche (figura 8).

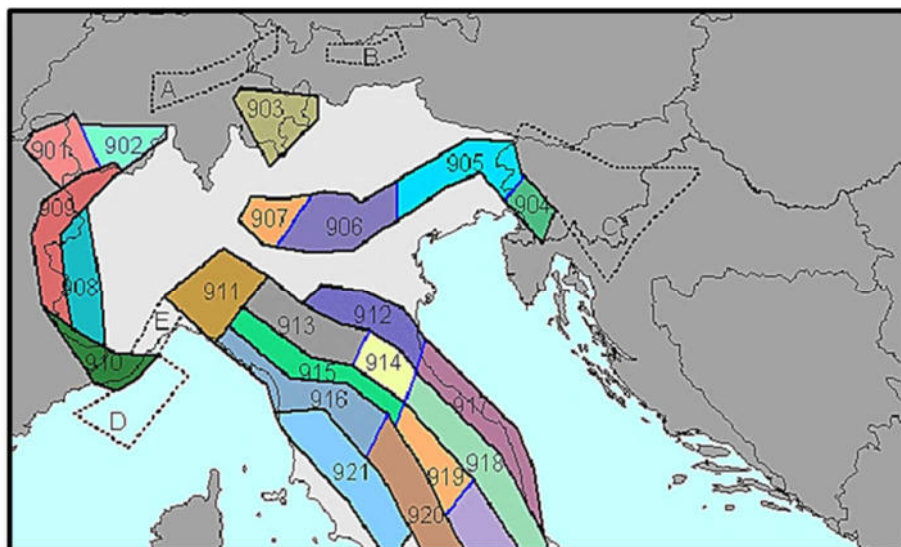


Figura 8: Zonazione sismogenetica ZS₉ (2004).

Si tratta di 42 zone-sorgente identificate con un numero (da 901 a 936) o con una lettera (dà A ad F). L'Appennino Centro-Settentrionale è compreso tra le zone dalla **911** e **923**, che sono disposte secondo cinque fasce parallele e longitudinali alla catena. In particolare, l'area di studio **ricade nella Zona Sismogenetica 913**. La

suddetta zona (così come la **914** e la **918**), è il risultato della scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all'Abruzzo.

In questa fascia si verificano terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi nella porzione più sud-orientale; si possono altresì avere meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. L'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori di questa fascia di quanto non siano nella fascia più esterna; lo testimoniano anche quegli eventi che hanno avuto risentimenti su aree piuttosto vaste (es. eventi del 1799 di Camerino, del 1873 delle Marche meridionali e del 1950 del Gran Sasso, zona 918). La maggior parte di questi terremoti, che si verificano in questa Zona Sismogenetica, presenta il proprio ipocentro ad una profondità massima compresa mediamente tra i 12 ed i 20 km. La magnitudo prevista per questi sismi, sulla base dei meccanismi focali, non supera il valore di: $M_{wmax} = 6,14$.

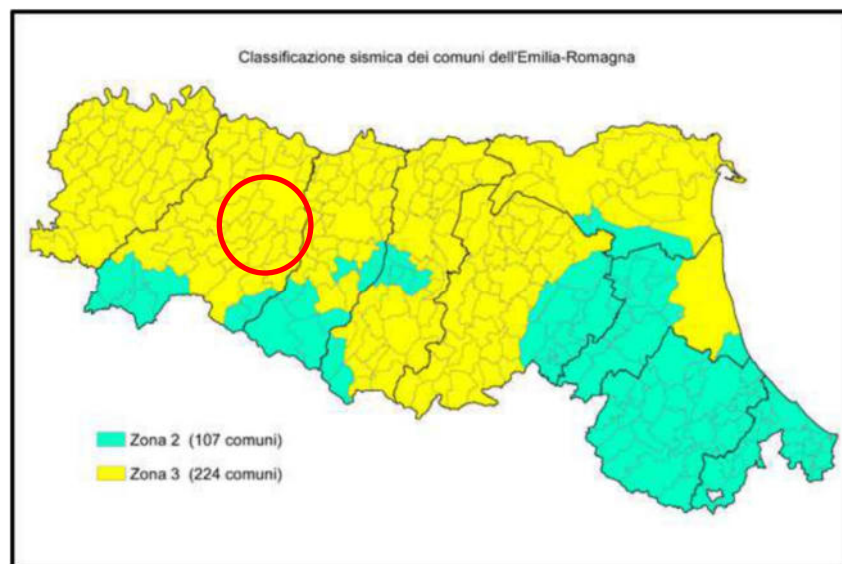


Figura 9: Riclassificazione sismica della regione Emilia – Romagna a seguito del DGR n° 1164 / 2018.

A seguito dell'Ordinanza n° 3274 emanata dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri il 20 marzo 2003 - " Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica *del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" e ss.mm.ii., l'area di studio, è stato classificato in Zona 3, poiché ricadente in una zona a "bassa" pericolosità sismica ed interessata quindi da sismi di modesta intensità.

Successivamente a seguito della recente DGR n° 1164/2018 "*Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna*", l'area di studio è stata confermata in Zona 3 (figura 9).

La pericolosità sismica di riferimento, espressa in PGA (Peak Ground Acceleration o parametro dello scuotimento), ipotizza un substrato omogeneo in roccia, a cui è associato un periodo di ritorno di 475 anni. Si tratta di un valore convenzionale, in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90% di non superamento, sulla base di un periodo di ritorno di 50 anni. L'accelerazione massima di riferimento, per l'area di studio, raggiunge valori massimi di PGA pari a 0,175 g. Le *Norme Tecniche per le Costruzioni* racchiuse nel D.M. del 17/01/18 hanno modificato le modalità di valutazione delle azioni di progetto. In particolare, l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle successive azioni sismiche contraddistinte da differenti valori di *PGA*.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta (ag/g)
1	> 0,25	0,35
2	0,15 - 0,25	0,25
3	0,05 - 0,15	0,15
4	< 0,005	0,05

La Pericolosità Sismica di un generico sito deve essere descritta con sufficiente dettaglio, anche in termini geografico- temporali, in modo tale da renderla compatibile con le NTC.

Infatti, sulla base della Mappa della Pericolosità Sismica del territorio Nazionale elaborata dall'INGV nell'Aprile del 2004 (*figura 10*), è possibile dedurre come l'area di studio, ricada all'interno di un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo compresa tra $0,150$ e $0,175 g$

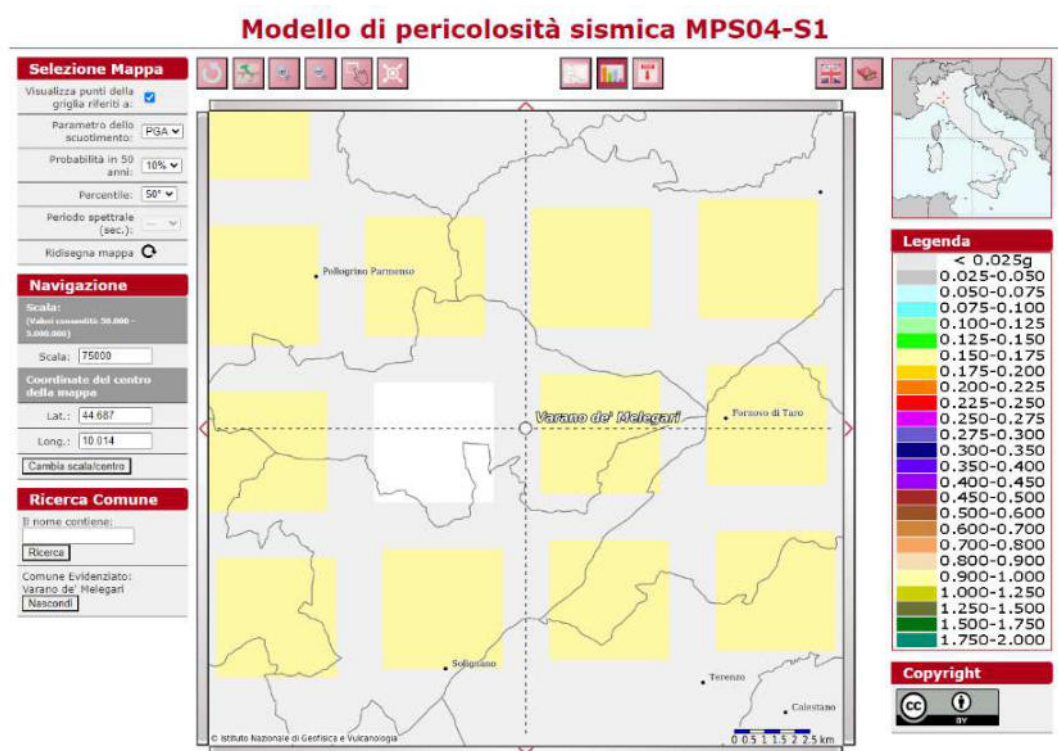


Figura 10: Mappa della pericolosità sismica (INGV). L'area di studio è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra $0,150$ e $0,175$ (colore giallo chiaro). Probabilità in 50 anni = 10% Percentile = 50 %

L'estratto della mappa sopraindicata definisce la probabilità della pericolosità sismica relativamente al suolo nazionale italiano (sito: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>). Il risultato è espresso tramite una griglia regolare a passo $0,05^\circ$ relativamente al parametro dello scuotimento **a** (*accelerazione orizzontale massima del suolo*).

In Fig. 10 si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo 0,05° relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo).

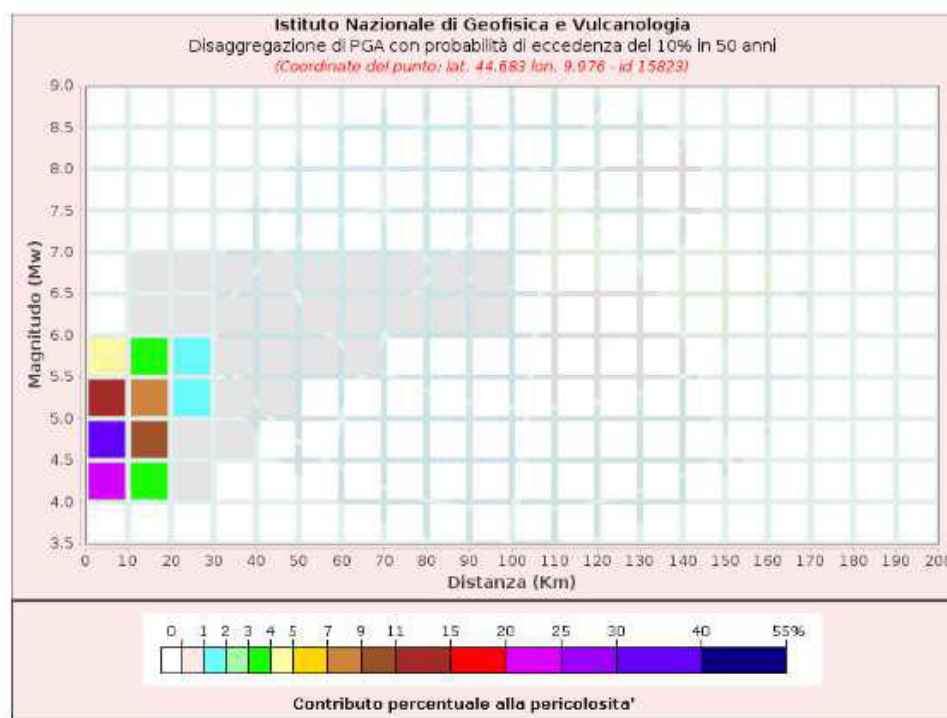


Figura 11: Grafico disaggregazione.

L'operazione che consente di stabilire quali sono i "range" caratteristici dei parametri sismici che concorrono alla definizione della pericolosità sismica (con metodo probabilistico) di un determinato sito, prende il nome di "Disaggregazione".

Dal sito dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>), oltre alla "Mappa di pericolosità sismica" (Fig. 10), per il territorio del Comune di Varano de Melegari, è possibile estrapolare il relativo grafico della "Disaggregazione" (Fig. 11).

Nel caso in esempio si può notare come la massima percentuale, pari al 31,8% sia definita per terremoti di magnitudo compresa fra 4,5-5 M, nel range di distanza tra 0-10 km.

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.683 lon. 9.976 - id 15823)											
Distanza (km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	20.2000	31.8000	14.2000	4.3100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.6200	9.3000	7.4100	3.6500	0.3390	0.0492	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0302	0.6510	1.4900	1.3200	0.6070	0.1020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0018	0.1370	0.3180	0.2670	0.0532	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0448	0.0817	0.0193	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0049	0.0165	0.0050	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0035	0.0017	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.86	8.34	0.879

Figura 12: Contributi alla pericolosità per intervalli di magnitudo e distanza epicentrale (INGV)

Sismicità del territorio

La storia sismica del Comune di Varano de Melegari (in cui ricade l'area di studio) è stata desunta dal CPTI15 (figura 11), un database di osservazioni macrosismiche sui terremoti che hanno colpito il suolo italiano superando la cosiddetta "soglia del danno".

Il database è stato realizzato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti con l'ausilio di altri enti minori. La consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 - Release v1.5 (Rovida et al. 2016), consente la ricostruzione della "storia sismica" relativamente al territorio della provincia parmense limitatamente ad una finestra temporale compresa tra il 1000 ed il 2014. In tale finestra sono riportati

tutti i sismi con un'intensità massima o epicentrale compresa tra 2 ed 11 (figura 12).

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni ag e dai parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC e dalle relative forme spettrali.



Figura 13: Rappresentazione grafica della storicità sismica della provincia parmense.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1834	02	14	13	15		Val di Taro-Lunigiana	112	9	5.96
2	1955	03	12	06	57	0	Parmense	15	5	4.15
5-6	1980	12	23	12	01	0	Piacentino	69	6-7	4.57
5-6	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
3-4	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04
3	1995	03	03	16	16	4	Lunigiana	43	5	4.20
3	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21
3	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97
4-5	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36

Figura 14: i maggiori sismi rilevati nelle aree limitrofe al Comune di Varano de Melegari

8. PERICOLOSITA' SISMICA

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento principale per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali è possibile valutare la sicurezza in funzione degli "stati limite", definiti come le condizioni oltre le quali l'opera costruita non è più in grado di soddisfare le esigenze per la quale è stata progettata. In conformità con quanto previsto dal D.M. del 17.01.2018 - "*Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni NTC del 2018*", la pericolosità sismica è espressa attraverso specifiche forme spettrali:

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

N.B.: la pericolosità sismica è definita sulla base di un mezzo rigido ed orizzontale.

Tali parametri sono stati desunti dai valori relativi alla pericolosità sismica, a loro volta estrapolati dal reticolo di riferimento ed infine riportati nelle tabelle dell'allegato B delle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008*. Essi sono stati calcolati in funzione dei differenti periodi di tempo di ritorno, compresi all'interno di un intervallo di riferimento che va dai 30 ai 2475 anni.

L'area di studio è identificata dalle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine (f ED50)	Longitudine (f ED50)
44,682432 N	9,981049 E

I parametri delle forme spettrali (vedi tabelle di seguito) sono stati ricavati attraverso il foglio elettronico "*Spettri NTC ver. 1.0.3*" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Sito di riferimento

<u>SITO (ID)</u>	<u>LATITUDINE</u>	<u>LONGITUDINE</u>
15823	44,6831	9,9756
15824	44,6851	10,0458
16046	44,6351	10,0487
16045	44,6331	9,9786

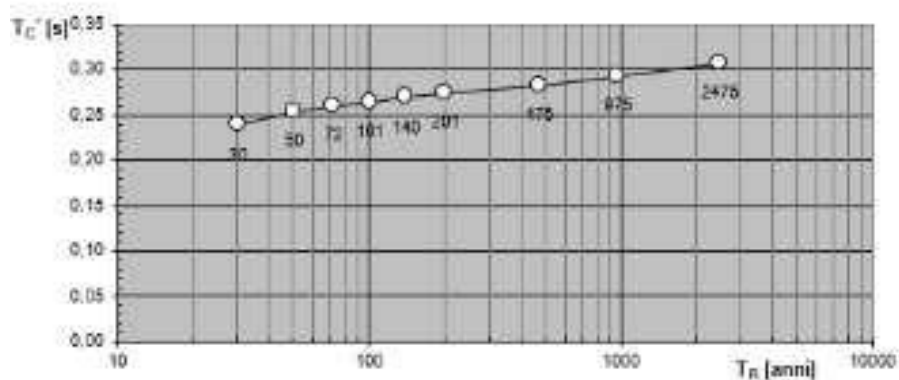
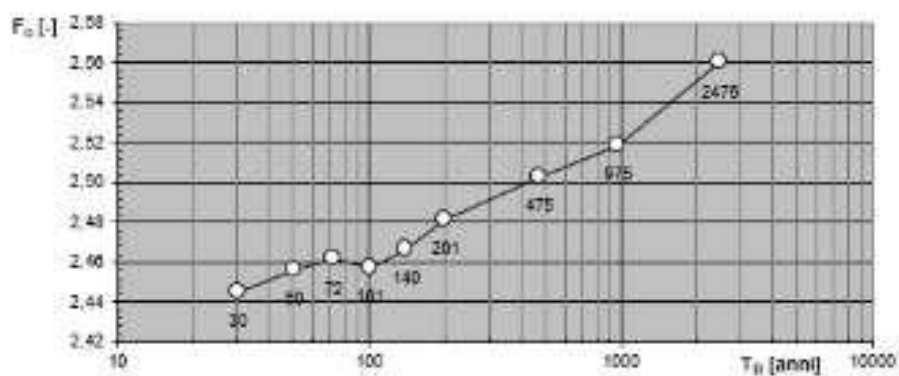
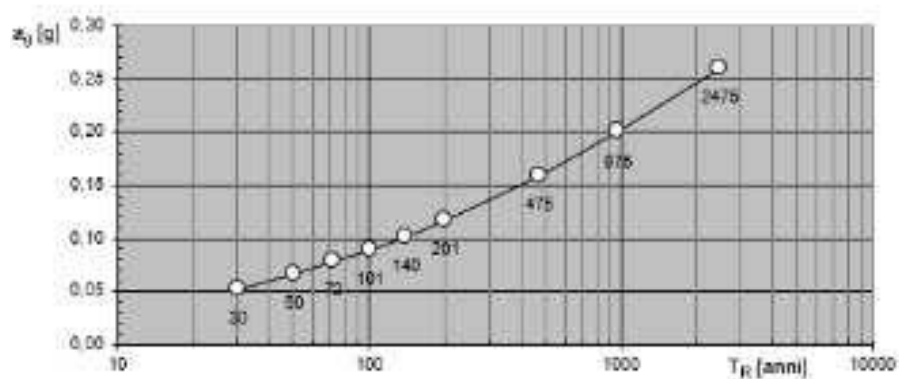
Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,053	2,445	0,238
50	0,067	2,456	0,254
72	0,078	2,461	0,259
101	0,090	2,457	0,265
140	0,102	2,467	0,269
201	0,116	2,482	0,275
475	0,158	2,503	0,283
975	0,200	2,519	0,292
2475	0,260	2,560	0,308

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Tabella 1: Parametri calcolati in funzione dei periodi di ritorno T_R .

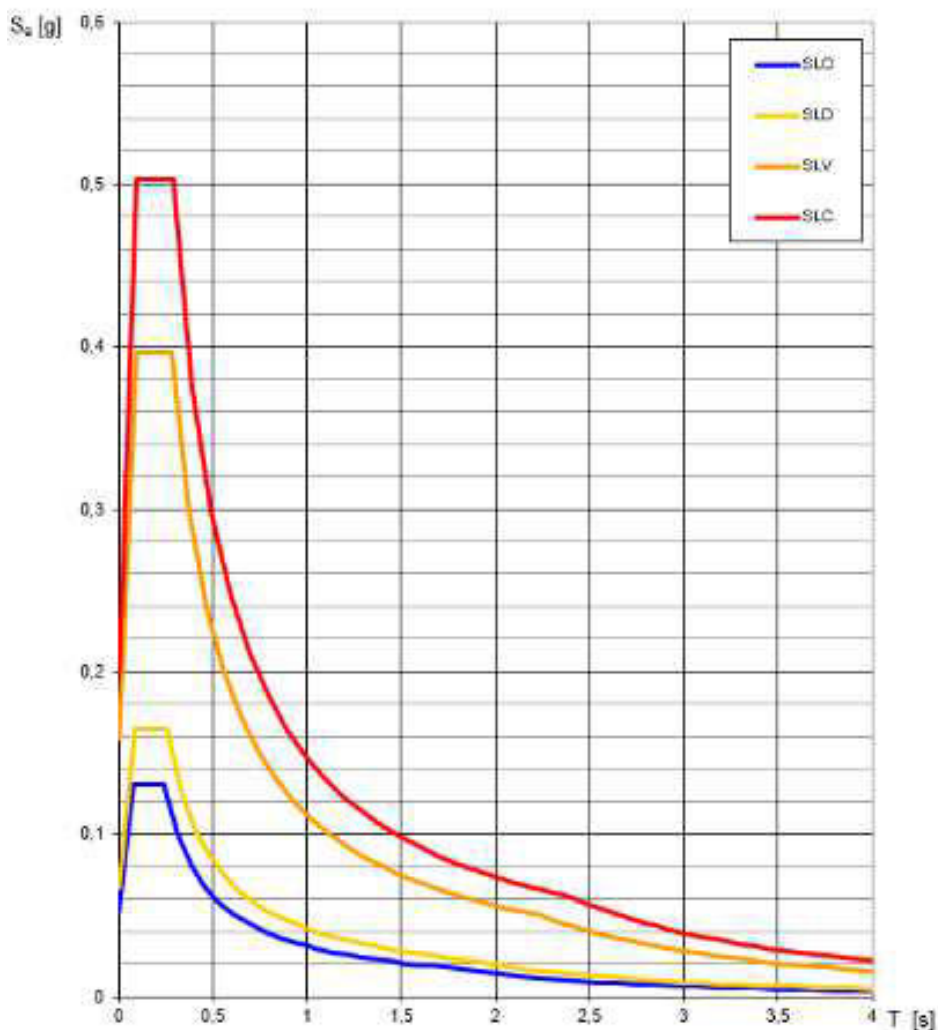
Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C : variabilità col periodo di ritorno T_R



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Tabella / Grafico 2: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C : variabilità col periodo di ritorno T_R ;

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Tabella / Grafico 3: Spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali per i periodi di tempi di ritorno T_R su sito di riferimento (elaborazione effettuata mediante "Spettri NTC ver 1.0.3."), calcolati tramite il programma GeoStru.

Azioni sismiche ai sensi NTC 2018

Per la definizione dell'azione sismica si è fatto riferimento all'approccio semplificato riportato nelle *NTC del 2018*. La classificazione del sottosuolo si effettua in base

alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (m/s), definita dall'espressione:

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

dove:

- 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 roccioso (o terreno molto rigido), inteso come quella formazione caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

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 base dei valori di V_S ricavati dalle indagini sismiche eseguite presso il sito in esame, si individua una categoria di sottosuolo tipo B al piano campagna sulla base dei valori di V_{S30} ottenuti.

Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)

In assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, per tenere conto delle condizioni topografiche, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_t in funzione delle categorie topografiche definite e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 4: Classificazione dell'opera o dell'intervento in funzione del Coefficiente di amplificazione topografica ponderato sulla base della relativa categoria topografica.

Si evidenzia come, ai sensi delle NTC, la variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare rispetto all'altezza del pendio o rilievo, partendo dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario. Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni topografiche bidimensionali e devono essere calcolate per altezze maggiori di 30 m. Gli effetti della topografia possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°.

L'area di studio non presenta inclinazioni considerevoli, per cui è possibile classificare l'area come T1 - "Superficie con inclinazione medio $i < 15^\circ$ ". Quindi il coefficiente di amplificazione topografica per l'area in esame è pari a:

$$\underline{\underline{S_T = 1.0}}$$

Vita nominale dell'opera

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni, durante i quali la struttura deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, indipendentemente dai lavori di manutenzione ordinaria. La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella Tab. 2.4.1 dell'allegato A delle NTC del 2018.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 5: Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni.

Per la definizione delle categorie topografiche si è anche fatto riferimento all'approccio semplificato riportato nelle NTC del 2018, che si basa sull'individuazione delle categorie topografiche di riferimento, come riportato nelle tabelle 3.2.III. e 3.2.V.

Parametri sismici di calcolo

Le azioni sismiche si possono calcolare in relazione ad un periodo di riferimento V_R , che si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U secondo la relazione riportata nella formula 2.4.1 delle NTC del 2018 e di seguito riportata.

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per l'opera in esame il valore di V_R risulta pari a 50 anni.

Le costruzioni a seguito delle azioni sismiche vengono divise in quattro classi d'uso, di seguito elencate:

Classe I costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli;

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

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

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

L'opera in oggetto ricade in Classe II, in quanto si tratta di un ponte a servizio di una rete viaria la cui interruzione non provoca situazioni di emergenza.

Di conseguenza, il coefficiente d'uso **C_u**, in funzione della classe d'uso (vedi tabella di seguito), corrisponde a **1,0**.

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

Tabella 6: Valori di C_u in funzione della Classe d'uso dell'opera in esame.

Come parametro caratterizzante per la pericolosità sismica, è utilizzato il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni e calcolato secondo la formula (1) dell'allegato A delle NTC del 2018:

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

Il valore di probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato cui riferirsi per individuare l'azione sismica in ciascuno degli stati limite è riportato nella tabella 3.2.I delle NTC del 2018.

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

Tabella 7: Valori di probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato.

Il valore del tempo di ritorno T_R (in anni per l'opera) in esame è risultato pari a 475 anni. Di seguito, a titolo esemplificativo, si riportano i dati relativi all'area di interesse per una costruzione con Vita Nominale di 50 anni e coefficiente d'uso $C_u = 1,0$.

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno stato limite

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
SLO	30	0,053	2,445	0,238
SLD	50	0,067	2,456	0,254
SLV	475	0,158	2,503	0,283
SLC	975	0,200	2,519	0,292

Tabella 8: Valori dei parametri a_g ; F_0 ; T_C : associati a ciascun stato limite.

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito a_{max} è stata determinata con la seguente relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g$$

dove:

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido;

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

S_t = coefficiente di amplificazione topografica.

$S = S_s \cdot S_t$ = coefficiente di amplificazione locale.

Nelle seguenti tabelle si riportano i valori dei coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica, rispettivamente in funzione della categoria topografica e del tipo di terreno.

Amplificazione stratigrafica

Per le categorie di sottosuolo B, C, D, ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati in funzione dei valori di F_0 e T_c relativi al sottosuolo di categoria A, mediante

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

le espressioni fornite nella tabella, nella quale g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tabella 9: Espressioni di S_s e di C_c .

Amplificazione topografica

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

Le sopracitate categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

L'area di studio ricade nella Categoria T1.

Di seguito si riportano i parametri ottenuti con l'approccio semplificato per suoli in **categoria B**:

Stato limite ultimo	Parametri	SLD
Accelerazione di progetto	a_g :	0,067 g
Parametro spettrale	F_o :	2,456
Parametro spettrale	T_c^* :	0,254 [s]

Stato limite di esercizio	Parametri	SLV
Accelerazione di progetto	a_g :	0,158 g
Parametro spettrale	F_o :	2,503
Parametro spettrale	T_c^* :	0,283 [s]

Coefficienti sismici

	<u>Ss</u>	<u>Cc</u>	<u>St</u>	<u>Kh</u>	<u>Kv</u>	<u>Amax</u>	<u>Beta</u>
SLO	1,200	1,470	1,000	0,011	0,006	0,625	0,180
SLD	1,200	1,450	1,000	0,014	0,007	0,787	0,180
SLV	1,200	1,420	1,000	0,046	0,023	1,864	0,240
SLC	1,200	1,410	1,000	0,057	0,029	2,349	0,240

9. VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO (M.A.S.W.)

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, scoppi, etc.

Liquefazione e cedimento dei terreni

Dopo il drammatico sisma del 2012 in Emilia-Romagna è ritornato all'attenzione della popolazione e delle Istituzioni il rischio della liquefazione dei terreni, fenomeno sismico insolito, ma molto pericoloso e distruttivo anche per un territorio densamente costruito come il nostro. Con il verificarsi di un terremoto con magnitudo superiore a 4,2 della scala Richter c'è infatti la possibilità che alcuni terreni a matrice prevalentemente sabbiosa e sovrasaturi in acqua perdano molto rapidamente resistenza e, comportandosi come un liquido denso, lascino sprofondare gli edifici e le costruzioni soprastanti, contemporaneamente all'espulsione anche violenta di fanghi e sabbie in superficie.

Più precisamente la liquefazione è lo stato fisico in cui può venire a trovarsi un terreno sabbioso saturo quando la sua resistenza al taglio si riduce drasticamente per effetto dell'incremento e dell'accumulo delle pressioni interstiziali per causa di un

sisma. Si tratta di un fenomeno spesso distruttivo e devastante che dipende dalla combinazione di fattori "predisponenti" (natura dei terreni) e fattori 'scatenanti' (sisma); in mancanza di uno solo di tali fattori i terreni non arrivano a liquefazione.

Grazie ai più moderni strumenti diagnostici e alle conoscenze in campo sismico è possibile stimare previsioni del rischio di liquefazione dei terreni e proteggersi dagli effetti distruttivi legati a questo fenomeno partendo per l'appunto da una opportuna scelta dei siti di nuova costruzione e/o con interventi mirati di consolidamento sui terreni liquefacibili e sulle opere di fondazione esistenti.

In merito a quanto detto, a causa dell'assenza dei fattori "predisponenti" (terreni eccessivamente sabbiosi e/o livello di falda superficiale) e, come emerso dalle indagini eseguite, l'area di studio non risulta essere a rischio di liquefazione.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi, ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- *P-Longitudinale*: onda profonda di compressione;
- *S-Trasversale*: onda profonda di taglio;
- *L-Love*: onda di superficie, composta da onde **P** e **S**;
- *R-Rayleigh*: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"

In passato, gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (*onde P, onde S*) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno

consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica M.A.S.W.

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (*Teorema di Fourier*), i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale (*Katznelson Y. 1976*).

Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno e si comportano in modo indipendente, non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche (*Stein and Shakarki 2003*).

L'analisi di Fourier (*analisi spettrale FFT*) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica M.A.S.W., viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato.

In alcuni casi è possibile identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, poiché le stesse si propagano con una velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità - frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio ***f-k*** è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta, in tale dominio, le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

A questo punto, è possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico (caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde ***S*** e

velocità delle onde **P**), la curva di dispersione teorica, che lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale.

Questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione:

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale, è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere:

- deformazioni a contatto con l'aria;
- deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda;
- deformazioni nulle a profondità elevate

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Descrizione

Gemini è un acquirente di dati sismici. All'interno di un unico contenitore waterproof è integrata una terna di geofoni e un acquirente hardware da 24 bit, le masse

oscillanti con frequenza di risonanza da 2Hz sono accuratamente accoppiate, sia meccanicamente che elettricamente.

La suddetta strumentazione consente quindi di effettuare indagini di:

- Sismica passiva (dati HVSr e misure vibrazionali);
- Sismica attiva (rilievi M.A.S.W. e dati Holisurface).

Collegata a computer tramite l'interfaccia USB, la Gemini consente la memorizzazione e la successiva analisi dei dati direttamente su PC tramite il software dedicato in dotazione. I tre geofoni interni sono orientati secondo una terna di assi cartesiani, assumendo la convenzione descritta nelle linee guida del Progetto "SESAME":

- asse Z = geofono verticale = direzione Up-Down;
- asse X = geofono orizzontale = direzione East-West;
- asse Y = geofono orizzontale = direzione North-South.

L'etichetta sul contenitore di Gemini riporta le informazioni per il corretto orientamento; ricordiamo inoltre che la terna deve essere livellata prima dell'acquisizione, operazione facilitata con l'ausilio della livella a bolla montata sul corpo dello strumento. Le operazioni di livellamento su pavimentazioni rigide sono possibili montando sulla terna gli appositi piedini regolabili in dotazione; per l'utilizzo su terreno, si consiglia l'utilizzo con gli appositi puntali.

Caratteristiche tecniche nominali della terna di geofoni Gemini-2 (temperatura di riferimento = 20° C):

- **Frequenza Naturale: 2Hz \pm 10%**
- **Sensibilità: 2V/cm*s-1 \pm 10%**
- **Resistenza interna: 5.8 K Ω \pm 5%**
- **Smorzamento (dumping): 0.7 \pm 10%**
- **Distorsione armonica: \leq 0.2%**
- **Impedenza di ingresso: \geq 10M Ω**
- **Temperatura d'utilizzo: -25°C ~ +55°C**
- **Dimensioni: \varnothing 128 x 80mm (piedini esclusi)**

- **Peso: 2.10 kg**

LOCALIZZAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

INDIRIZZO: Ponte sul T. Ceno, Loc. Case Contini

COMUNE: Varano De' Melegari (PR)

Subsurface model

Vsh (m/s):

105 / 230 / 245 / 430 / 510 / 615 / 750 / 800 / 885 / 1185 / 1450

Thickness (m):

0.3 / 0.7 / 2.0 / 4.3 / 4.2 / 11.3 / 12.2 / 32.0 / 30.0 / 40.0

Density (gr/cm³) (approximate values):

1.66 / 1.88 / 1.89 / 2.05 / 2.09 / 2.14 / 2.20 / 2.22 / 2.24 / 2.32 / 2.38

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approx val.):

18 / 99 / 114 / 378 / 544 / 811 / 1236 / 1418 / 1756 / 3261 / 4999

Poisson:

0.36 / 0.39 / 0.36 / 0.45 / 0.44 / 0.33 / 0.31 / 0.30 / 0.27 / 0.26 / 0.19

Vs, eq = Vs30 (m/s): 498

CATEGORIA 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.

Picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20 Hz:

F0 → 1 - 2 Hz

F1 → 5-10 Hz

Tabella A - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica attiva

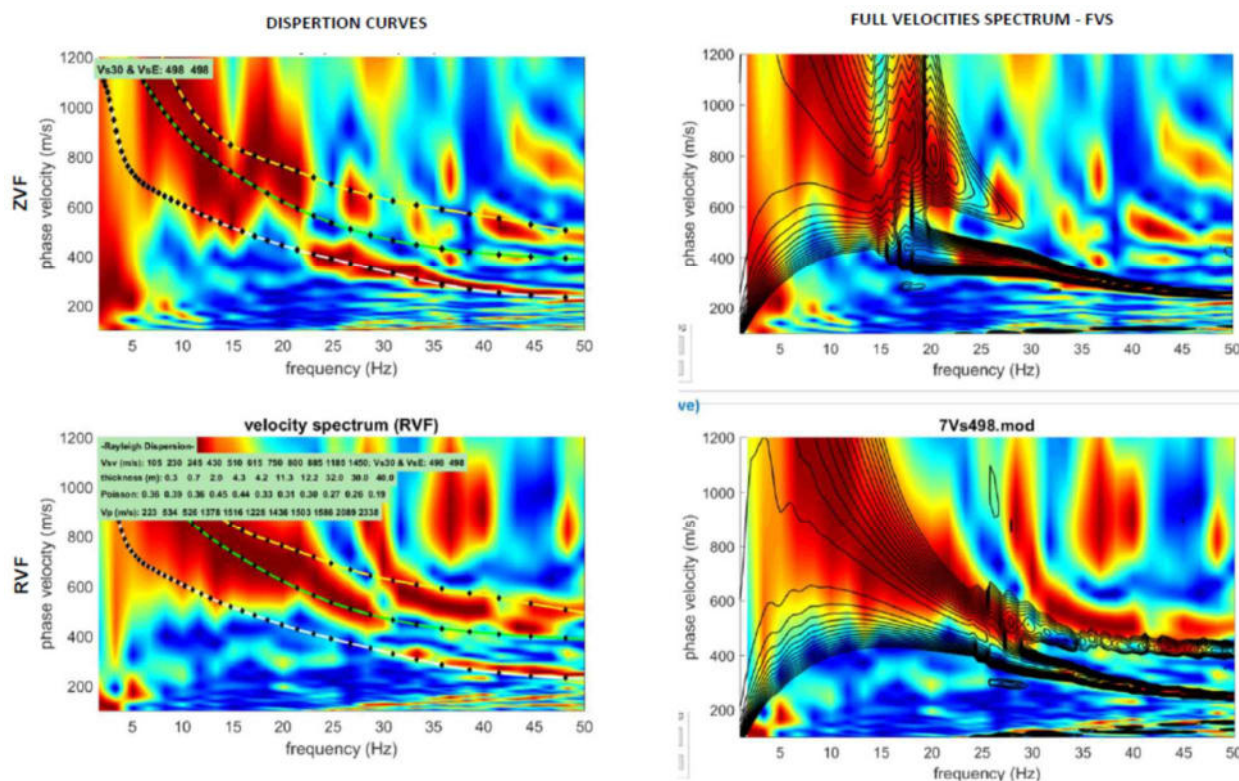
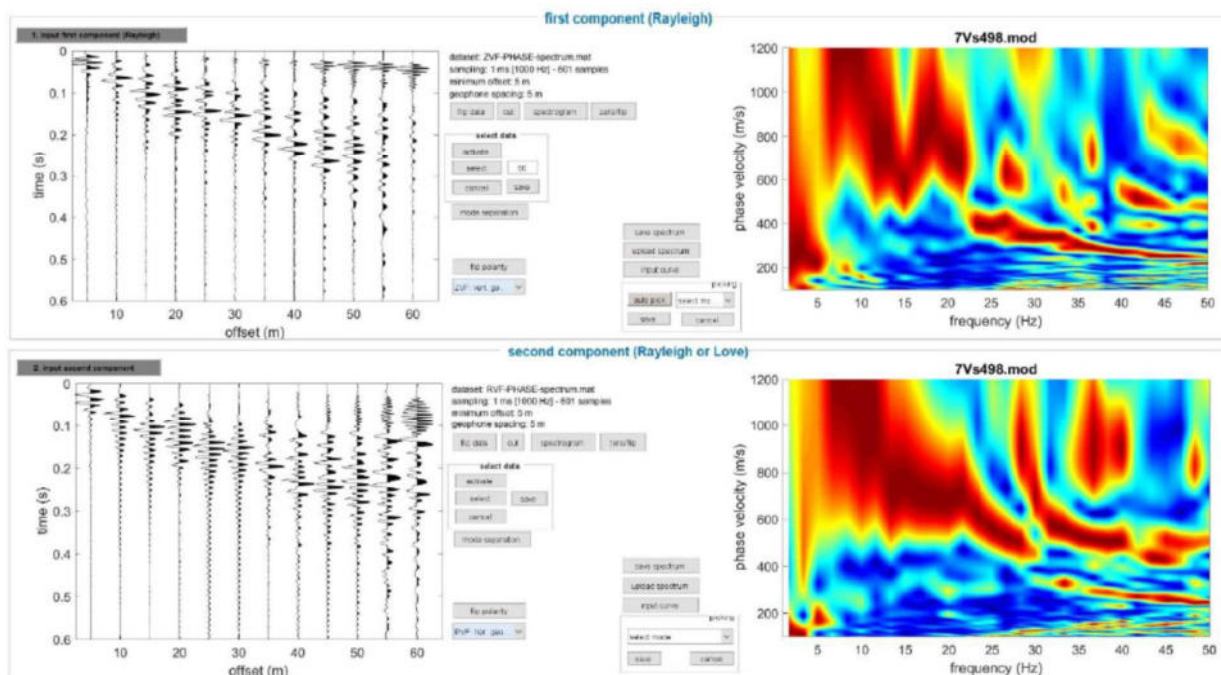
DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA M.A.S.W.	
<i>Operatore in campagna</i>	
<i>Lunghezza Stendimento</i>	60 metri
<i>Offset Minimo</i>	5 metri
<i>Incremento</i>	5 metri
<i>N° tracce</i>	12
<i>Tipo di Onda</i>	Rayleigh: n.3 battute Forza Verticale: - battuta su piattello in alluminio
	Love: n.0 battute Forza Trasversale: - battuta di taglio su traversina in legno
<i>Lunghezza dell'acquisizione</i>	2 secondi
<i>Intervallo di Campionamento</i>	0.001 secondi
<i>Stacking</i>	3 battute per punto sorgente: 3 Verticali

Tabella B - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica attiva

DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA H.S.	
<i>Operatore in campagna</i>	
<i>Lunghezza Stendimento</i>	35; 40; 45 metri
<i>Offset Minimo</i>	- metri
<i>Incremento</i>	- metri
<i>N° tracce</i>	1
<i>Tipo di Onda</i>	Rayleigh: n.3 battute Forza Verticale: - battuta su piattello in alluminio
	Love: n.0 battute Forza Trasversale: - battuta di taglio su traversina in legno
<i>Lunghezza dell'acquisizione</i>	2 secondi
<i>Intervallo di Campionamento</i>	0.001 secondi
<i>Stacking</i>	3 battute per punto sorgente: 3 Verticali

ACQUISIZIONE MASW

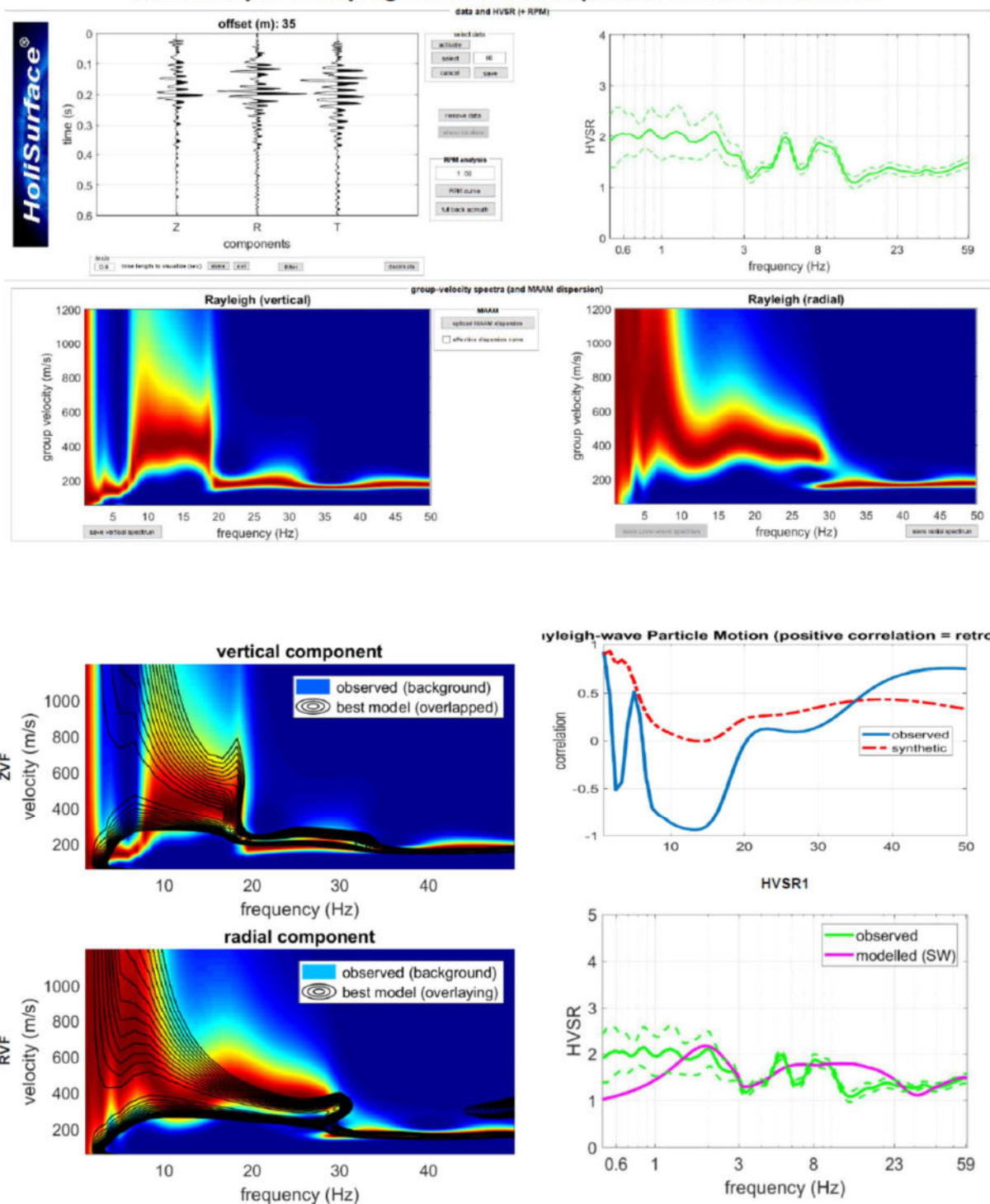
Joint Analysis of Rayleigh-Love Wave Dispersion in ZFV-RVF & HVSR



I colori in sottofondo sono relativi agli spettri di velocità dei dati di campagna, le linee colorate in primo piano rappresentano le curve di dispersione del modello elaborato mentre le curve di contour nere si riferiscono al dato sintetico analizzato in FVS.

ACQUISIZIONE HS a 35m

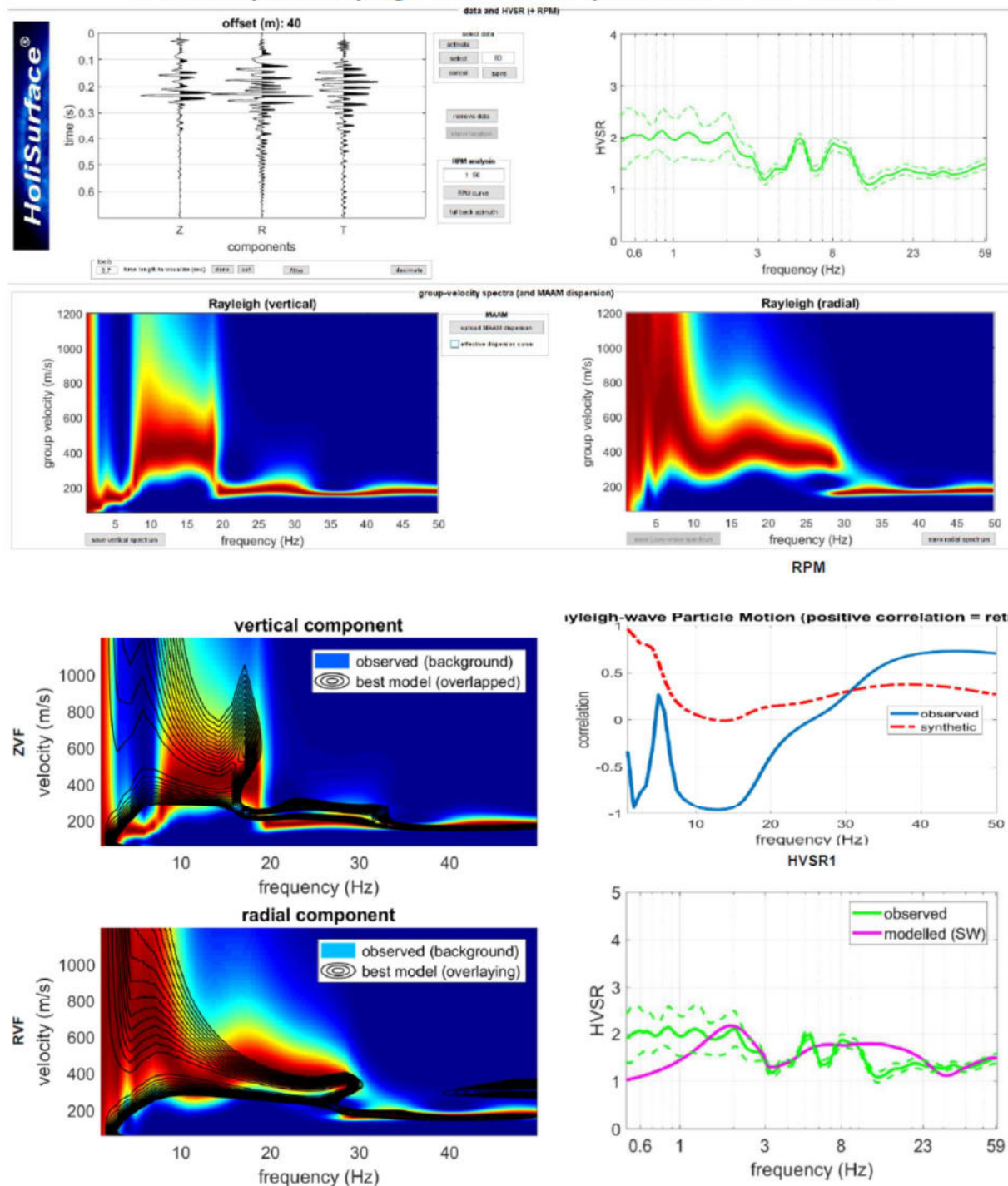
Joint Analysis of Rayleigh-Love Wave Dispersion in ZVF-RVF & HVSR



Il modello elaborato deriva dall'analisi congiunta del dato in sismica attiva MASW-HS, a cui è stato associato il dato in sismica passiva HVSR.

ACQUISIZIONE HS a 40m

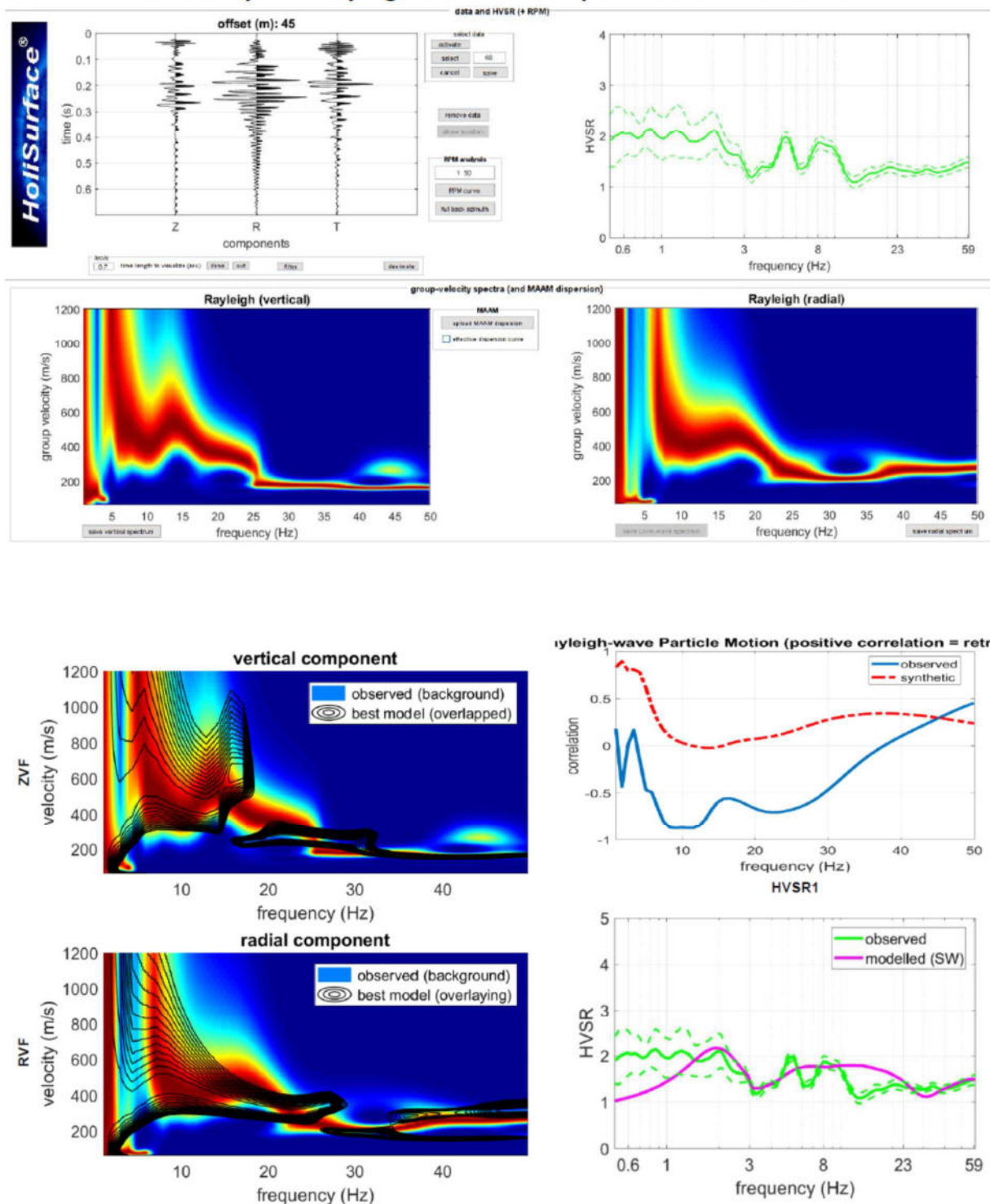
Joint Analysis of Rayleigh-Love Wave Dispersion in ZVF-RVF & HVSR



Il modello elaborato deriva dall'analisi congiunta del dato in sismica attiva MASW-HS, a cui è stato associato il dato in sismica passiva HVSR.

ACQUISIZIONE HS a 45m

Joint Analysis of Rayleigh-Love Wave Dispersion in ZVF-RVF & HVSR



Il modello elaborato deriva dall'analisi congiunta del dato in sismica attiva MASW-HS, a cui è stato associato il dato in sismica passiva HVSR.

ACQUISIZIONE HVSR1

CLASSE DI QUALITÀ DELLA MISURA	A	B1	B2	C
Descrizione delle Classi	CLASSE A: Prova affidabile ed interpretabile	CLASSE B1: Prova da interpretare che presenta almeno un picco chiaro	CLASSE B2: Prova da interpretare che non presenta picchi chiari nell'intervallo di frequenze considerato	CLASSE C: Prova scadente difficile da interpretare

SESAME HVSR MEASUREMENT FIELD SHEET		
Comune: Varano De' Melegari (PR)	Indirizzo: Ponte sul T. Ceno, Loc. Case Contini	
Attività da svolgere: Indagine HVSR	Data: 12/09/2023	Ora: 19.33
DATI TECNICI		
	Indagine n° HVSR1	Codice file /
Strumento: Geofono triassiale da 2 Hz "GEMINI 2" PASI Instruments	Freq. Campionamento: 200 Hz	Durata (min): 20 min

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderato	<input type="checkbox"/> forte
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderata	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input type="checkbox"/> argilloso limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso limoso duro	<input type="checkbox"/> con erba	<input checked="" type="checkbox"/> senza erba
	<input checked="" type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> sabbia e ghiaia	<input type="checkbox"/> roccia
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> sabbia
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> altro
	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento			

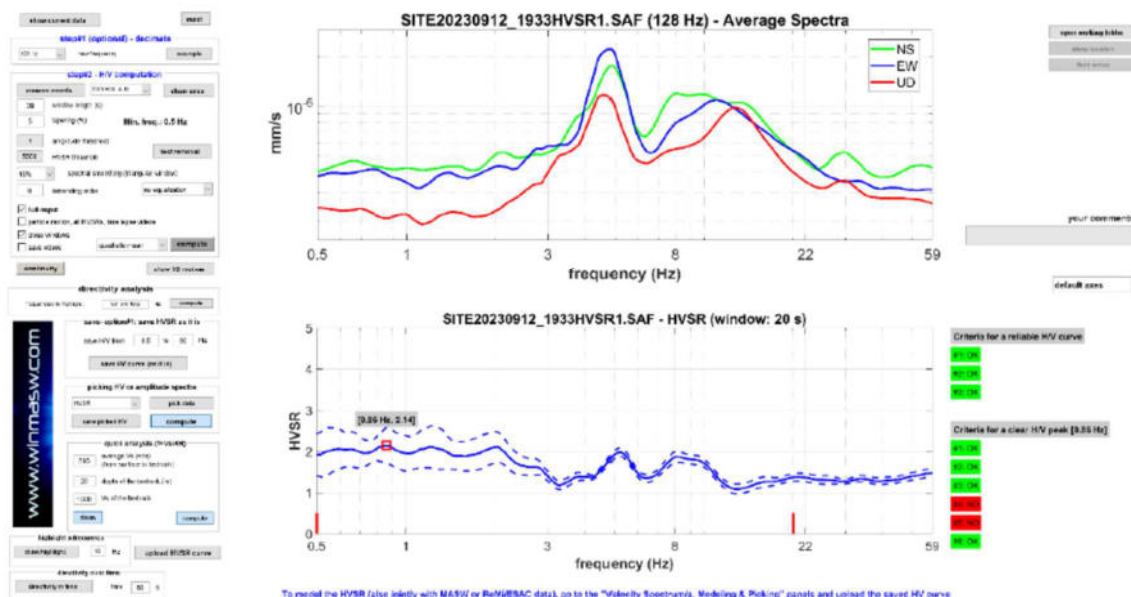
STRUTTURE CIRCONSTANTI

Abitazioni	<input checked="" type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input checked="" type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	
Strutt.sotterr.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	

SORGENTI DI RUMORE

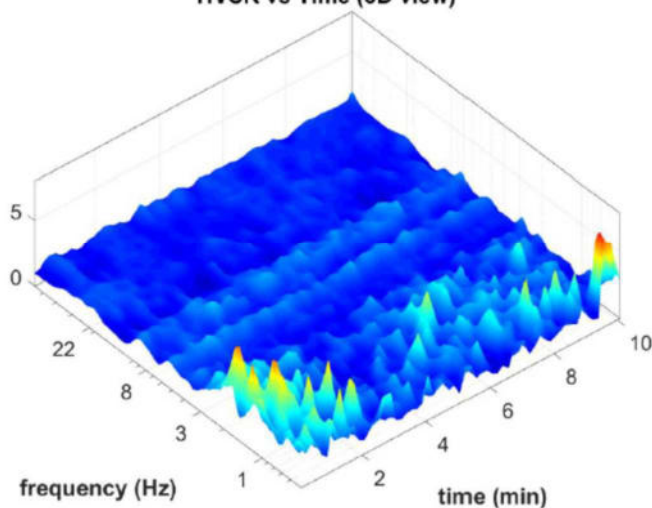
Disturbo discontinuo	Assente	Raro	Moderato	Forte	Molto forte	Distanza (m)
	auto	<input checked="" type="checkbox"/>				
	mezzi pesanti	<input checked="" type="checkbox"/>				
	passanti	<input checked="" type="checkbox"/>				
	altro	<input checked="" type="checkbox"/>				
Disturbo continuo	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti			<input type="checkbox"/> Presenti		

ACQUISIZIONE HVSR1



To record the HVSR (also jointly with MASW or ReMiBAC data), go to the "Velocity Spectrometry, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

HVSR vs Time (3D view)



HVSR: directivity

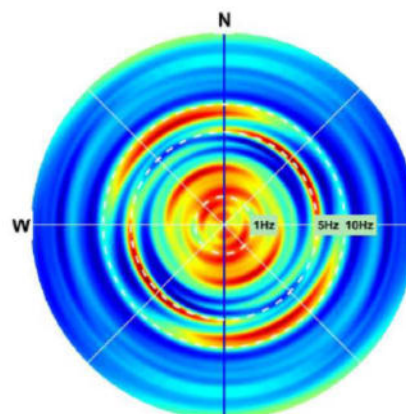
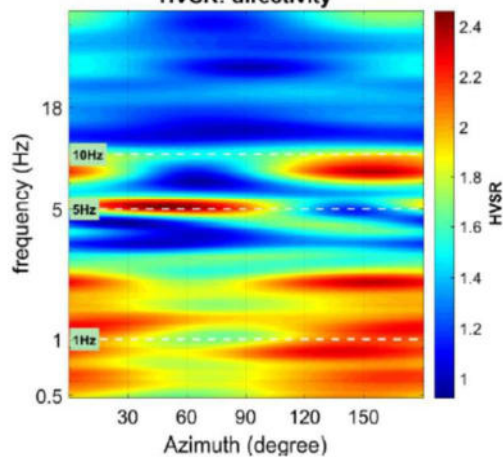
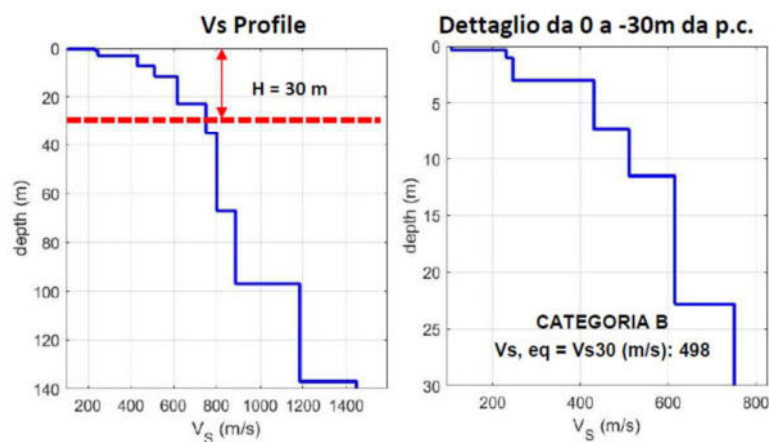


Tabella D - Stratigrafia sismica e parametri determinati.

Strato	Velocità onde di taglio Vs [m/s]	Spessore [m]	Profondità [m]
1	105	0.3	0
2	230	0.7	0.3
3	245	2.0	1.0
4	430	4.3	3.0
5	510	4.2	7.3
6	615	11.3	11.5
7	750	12.2	22.8
8	800	32.0	35.0
9	885	30.0	67.0
10	1185	40.0	97.0
11	1450	Inf.	137.0



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.

Calcolo $V_{s, eq} = V_{s30}$ per i primi 3,0 m dalla profondità di appoggio della fondazione

DETERMINAZIONE $V_{s, eq} = V_{s30}$		
Profondità appoggio	$V_{s, eq} = V_{s30}$ [m/s]	Categoria di sottosuolo
P.C.	498	B
-0,5m	524	B
-1m	539	B
-1,5m	552	B
-2,0m	566	B
-2,5m	582	B

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, iti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
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 tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<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>
D	<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>
E	<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>

10. PARAMETRI GEOTECNICI

L'eurocodice 7 prevede per la definizione del grado di sicurezza di una struttura relativamente alla possibilità di rottura del terreno di fondazione, un approccio di tipo semiprobabilistico, o di livello 1, adottando il concetto di stato limite ultimo. Per stato limite s'intende una particolare condizione raggiunta la quale l'opera non è più in grado di svolgere la funzione per la quale è stata progettata. Si parla di stato limite ultimo nel caso si prenda in considerazione il verificarsi di una situazione di collasso per esempio quando il carico applicato supera la portanza del terreno di fondazione.

Il termine stato limite di esercizio viene utilizzato nel caso in cui si esamini una situazione in cui pur non avendosi il collasso, l'opera subisca lesioni tali da renderla inutilizzabile. Nel caso di una fondazione superficiale, ciò può verificarsi, quando i cedimenti del terreno superano una soglia critica, provocando delle distorsioni angolari non accettabili negli elementi della sovrastruttura. Si parla di criterio semiprobabilistico in quanto, a differenza dell'approccio rigorosamente probabilistico compare

il concetto di coefficiente di sicurezza anche se di tipo differenziato a seconda del parametro preso in esame.

I valori caratteristici di c , ϕ e γ sono stati determinati con le relazioni:

$$\phi_k = \phi_m (1 + \chi V\phi)$$

$$C_{uk} = C_{um} (1 + \chi VC_u)$$

$$c'_k = c'_m (1 + \chi VC')$$

$$\gamma_k = \phi_m (1 + \chi V\gamma)$$

$$E'_k = E'_m (1 + \chi VE)$$

$$E_{edk} = E_{edm} (1 + \chi VE_{ed})$$

ϕ_k valore caratteristico angolo di attrito interno

C_{uk} valore caratteristico coesione

C_{um} valore medio coesione

γ_k valore caratteristico peso di volume ϕ_m valore medio angolo attrito

γ_m valore medio peso di volume

E'_m valore medio modulo elastico

$V\phi$, VC_u , $V\gamma$, VE' , VE_{ed} coefficienti di variazione definiti come rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori relativi ai vari parametri.

<u>Orizzonte</u>	<u>Litologia</u>	<u>Profondità</u>
<u>0</u>	Ghiaia	<u>Da mt 0.00 a mt 4.50/9.20</u>
<u>1</u>	Arenarie alterate	<u>Da mt 4.50/9.20 a mt 6.00/10.00</u>
<u>2</u>	Arenarie e marne	<u>Da mt 6.00/10.00 a fine sondaggi</u>

Parametri geotecnici desunti dai sondaggi eseguiti S.1 e S.2.

0.00 – 4.50/9.20						media
Orizzonte 1	ϕ	36°	37°			36.5°
t/m³	γ	2.00	2.10			2.05 t/m ³
kg/cm²	C_u	0.34	0.36			0.35 kg/cm ²
kg/cm²	Mod ed	426	436			431 kg/cm ²
4.50/9.20 – 6.00/10.00						
Orizzonte 2	ϕ	37°	38°			37.5°
t/m³	γ	2.18	2.20			2.19 t/m ³
kg/cm²	C_u	> 2.5	> 2.5			>2.5 kg/cm ²
6.00/10.00 – fine sondaggi						

Orizzonte 3	Ø	39°	40°			39.5°
t/m³	Y	2.28	2.30			2.29 t/m³
kg/cm²	Cu	> 2.5	> 2.5			>2.5 kg/cm²

Parametri geotecnici desunti dal sondaggio S.3.

0.00 – 4.50						media
Orizzonte 1	Alternanza di livelli ben cementati e altri scarsamente cementati					
4.50/9.20 – 6.00/10.00						
Orizzonte 2	Elementi lapidei con tracce di lapidei					
6.00/10.00 – fine sondaggi						
Orizzonte 3	Arenarie a tratti parzialmente fratturate					
	Ø	39°	40°			39.5°
t/m ³	Y	2.28	2.30			2.29 t/m ³
kg/cm ²	Cu	> 2.5	> 2.5			>2.5 kg/cm ²

La formula per ricavare lo scarto quadratico medio altro non è che la somma degli scarti fra i valori ottenuti e la media dei valori stessi al quadrato, diviso il numero dei valori, il tutto sotto radice quadrata ed è di seguito riportata.

$$s = \sqrt{\frac{(X_1 - M)^2 + (X_2 - M)^2 + \dots + (X_n - M)^2}{n}}$$

M = media aritmetica dei valori ottenuti dalle prove

n = numero dei valori ottenuti dalle prove

X = valori ottenuti dalle prove

Una volta ottenuto il valore dello scarto quadratico medio si divide per la media aritmetica dei valori ottenuti dalle prove, ricavando così i valori di VØ, VCu, VY, VE', VEed. L'Eurocodice 7, per i parametri della resistenza al taglio fornisce una probabilità di non superamento del 5% alla quale corrisponde per una distribuzione di tipo

gaussiana, un valore di χ uguale a $-1,645$. Da cui $\sigma_k = \sigma_m(1 - 1,645V\sigma)$ $Cu_k = Cu_m(1 - 1,645VCu)$ $g_k = g_m(1 - 1,645Vg)$

Esempio:

Prendiamo i valori dell'angolo di attrito dell'orizzonte 1,

$$\sigma = 36^\circ - 37^\circ$$

$$\text{Media aritmetica} = 36.5^\circ = \sigma_m$$

$$n \text{ (numero dei valori)} = 2$$

$$\text{Scarto quadratico medio} \quad \sqrt{\frac{(|36-36.5|)^2 + (|37-36.5|)^2}{2}} = 0.5$$

$$V\sigma = 1/36.5 = 0.02$$

$$\sigma_k = \sigma_m(1 - 1,645V\sigma)$$

$$\sigma_k = 36.5 \times (1 - 1.645 \times 0.02) = 35.6^\circ$$

valore caratteristico angolo d'attrito

VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

		media	scarto quadratico	valore caratteristico	
0.00 – 4.80/9.20					
Orizzonte 1	σ	36.5°	0.8	<u>35.6°</u>	
	γ	2.05	0.05	<u>1.96 t/m³</u>	<u>19.2 KN/m³</u>
	Cu	0.35	0.01	<u>0.33 kg/cm²</u>	<u>88.3 KPa</u>
	Mod ed	431	5	<u>422 kg/cm²</u>	<u>5962 KPa</u>
4.80/9.20 – 6.00/10.00					
Orizzonte 2	σ	37.5°	0.5	<u>36.6°</u>	
	γ	2.19	0.01	<u>2.17 t/m³</u>	<u>22.0 KN/m³</u>
	Cu	>2.5		<u>>2.5 kg/cm²</u>	<u>>250 KPa</u>
6.00/10.00 – fine sondaggi					
Orizzonte 3	σ	39.5°	0.5	<u>38.6°</u>	
	γ	2.29	0.01	<u>2.27 t/m³</u>	<u>22.0 KN/m³</u>
	Cu	>2.5		<u>>2.5 kg/cm²</u>	<u>>250 KPa</u>

Orizzonte 1		media	scarto quadratico	valore caratteristico	
0.00 – 4.00					
<u>Alternanza di livelli ben cementati e altri scarsamente cementati</u>					
Orizzonte 2					
4.00 – 5.00					
<u>Elementi lapidei con tracce di cemento</u>					
6.00/10.00 – fine sondaggi					
<u>Arenarie a tratti parzialmente fratturate</u>					
Orizzonte 3	Ø	39.5°	0.5	38.6°	
	Y	2.29	0.01	2.27 t/m ³	22.0 KN/m ³
	Cu	>2.5		>2.5 kg/cm ²	>250 KPa

11. CONCLUSIONI E CONSIGLI OPERATIVI

L'indagine svolta, supportata anche da lavori eseguiti in aree limitrofe che confermano le risultanze del presente elaborato, hanno consentito di definire l'assetto geologico s.l. dell'area di studio e dei suoi immediati dintorni, oltre alle principali problematiche di carattere geologico-tecnico relative ai terreni interessati dalle indagini eseguite.

Le indagini svolte hanno evidenziato la presenza, di uno strato di ghiaia più o meno grossolana a tratti in matrice, sovrastante a bancate arenacee e marnose inizialmente parzialmente alterate.

L'andamento del substrato, è per quanto si è potuto riscontrare durante la perforazione, disomogeneo, infatti sotto la pila n° 2 (vedi schema), si presenta alla quota di circa 9.00 metri dall'attuale piano campagna.

Mentre sotto la pila n° 3 è presente alla quota di circa 4.50 metri.

Il carotaggio inclinato di circa 10°, eseguito sulla pila n° 3, ha evidenziato un calcestruzzo alquanto alterato, gli spezzoni più lunghi di carota sono di circa 20 centimetri, e buona parte della carota, nonostante l'utilizzo di carotieri doppi con corona diamantata, si presenta dilavata sintomo di un cemento ammalorato, all'interno del calcestruzzo non è stato rinvenuto alcun ferro di armatura.

Per la progettazione degli interventi di consolidamento, si ritiene inoltre necessario attenersi alle seguenti precisazioni tecniche:

- Categoria topografica = **T1**;
- Classe d'uso = **II**;
- Coefficiente d'uso: **Cu = 1.0**;
- Coefficiente d'amplificazione topografica: **St = 1.0**;

- Osservanza della normativa sismica di appartenenza e delle considerazioni fornite nei paragrafi precedenti;
- Categoria di suolo B con $V_{s,eq} = 498$;


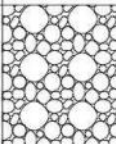

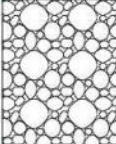

Solignano, Settembre 2023

**IL GEOLOGO
GIUMELLI Dr. FRANCO**




STRATIGRAFIE

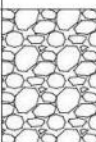




NOTA BENE:
IL SONDAGGIO S.1 INIZIA A -1.10 DALLA QUOTA SUPERIORE DEL DENTE PRESENTE NELLA PILA

			<div>CommittenteCOMUNE DI VARANO DE MELEGARI</div> <div>CantierePONTE DELLA FOPLA</div> <div>LocalitàCASE CONTINI</div> <div>Data Inizio05/09/2023Data Fine06/09/2023</div>		<div>SONDAGGIO</div> <div>S. 1</div> <div>2° pila a monte</div> <div>Il geologoMolinari V.</div>						
Scala 1:100	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	Manovre	N° colpi SPT	Prof. SPT	Rivestimento	POCKET			
								1	2	3	4
1			Ghiaia eteromerica eterogenea diametro max > 10 cm, ciottoli di varia natura prevalentemente arenacei, in matrice limosa argillosa di colore marrone talora scarsa.		12 14	1.50					
2					19						
3	2.50					13 16	3.00				
4			Ghiaia eteromerica eterogenea diametro max < 10 cm, ciottoli di varia natura prevalentemente calcarei, a tratti abbondante matrice limosa argillosa di colore marrone.		18 27	4.50					
5					26						
6						15 14	6.50				
7	7.80				19						
8			Ghiaia eteromerica eterogenea diametro max > 10 cm, ciottoli di varia natura prevalentemente arenacei, in matrice limosa argillosa di colore marrone talora scarsa.		19 22	8.30					
9					26						
10	9.20			Arenarie grigie alternate a marne grigie, alterate con patine di ossidazione	9.20						
11	10.00			9.80	33 99	9.80					
12				11.00							
13					12.00						
14					13.20						
15				Arenarie grigie alternate a marne grigie.	14.30						
16					15.00						
17					16.20						
18					17.60						
19					19.00						
20					20.00						

N° 4 casse; N° 6 S.P.T.; rivestimento mt 19.00; utilizzo corona diamantata mt 19.00.

NOTA BENE:
IL SONDAGGIO S.2 INIZIA A -1.40 DALLA QUOTA SUPERIORE DEL DENTE PRESENTE NELLA PILA

<div></div>		Committente	COMUNE DI VARANO DE MELEGARI		SONDAGGIO S. 2 3° pila a valle	
		Cantiere	PONTE DELLA FOPLA			
		Località	CASE CONTINI		Il geologo Molinari V.	
		Data Inizio	07/09/2023	Data Fine		

Scala 1:100	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	Manovre	N° colpi SPT	Prof. SPT	Rivestimento	POCKET
								1 2 3 4
1	2.80		Ghiaia eteromerica eterogenea diametro max > 10 cm, ciottoli di varia natura prevalentemente arenacei, in matrice limosa argillosa di colore marrone talora scarsa.		15 16 17 17	1.50	24.00	
2								
3		Ghiaia eteromerica eterogenea diametro max < 10 cm, ciottoli di varia natura prevalentemente calcarei, a tratti abbondante matrice limosa argillosa di colore marrone.		19 15 21 21	3.00			
4								
5		Arenarie grigie alternate a marne grigie, alterate con patine di ossidazione	5.00	28 20 32 32	4.50			
6			6.00	33 28 99 99	5.50			
7		Arenarie grigie alternate a marne grigie a tratti parzialmente fratturate	7.20					
8			8.60					
9			10.00					
10			11.40					
11			12.80					
12			14.00					
13			15.00					
14			16.40					
15			18.00					
16			19.30					
17			20.80					
18			22.20					
19			23.00					
20			24.00					
21								
22								
23								
24								
25								

N° 5 casse; N° 4 S.P.T.; rivestimento mt 24.00; utilizzo corona diamantata mt 23.00.

N° 5 casse; N° 4 S.P.T.; rivestimento mt 24.00; utilizzo corona diamantata mt 23.00

INDAGINE GEOGNOSTICA

NUMERAZIONE PILE

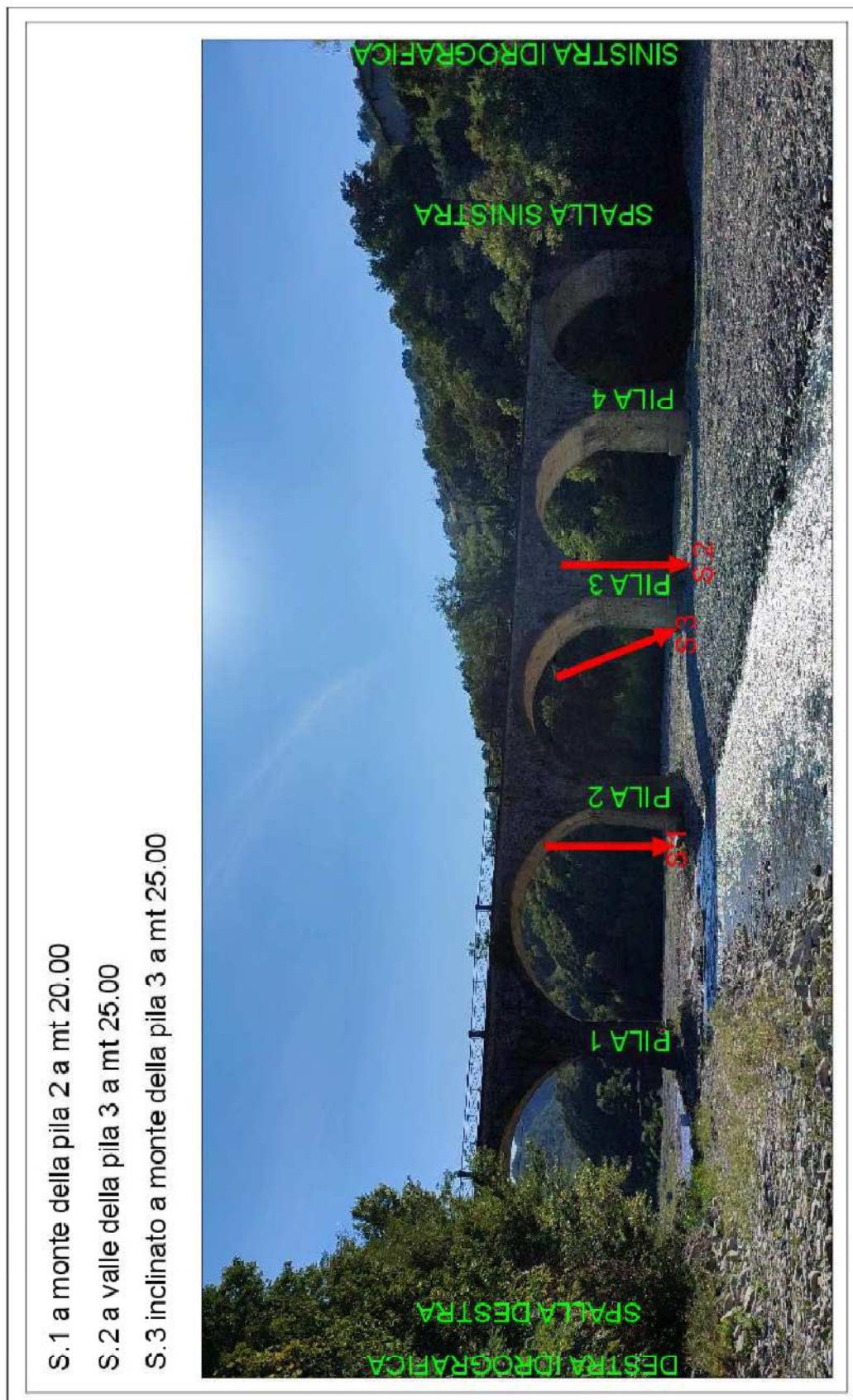


FOTO CASSE



COMUNE DI VARANO DE MELEGARI
SONDAGGIO GEOGNOSTICO A
CAROTAGGIO CONTINUO
SONDAGGIO 1



CASSA 1

CASSA 2



CASSA 3



COMUNE DI VARANO DE MELEGARI
SONDAGGIO GEOGNOSTICO A
CAROTAGGIO CONTINUO
SONDAGGIO 1



CASSA 4



COMUNE DI VARANO DE MELEGARI
SONDAGGIO GEOGNOSTICO A
CAROTAGGIO CONTINUO
SONDAGGIO 2



CASSA 1

CASSA 2



CASSA 3



COMUNE DI VARANO DE MELEGARI
SONDAGGIO GEOGNOSTICO A
CAROTAGGIO CONTINUO

SONDAGGIO 2



CASSA 4

CASSA 5





COMUNE DI VARANO DE MELEGARI
SONDAGGIO GEOGNOSTICO A
CAROTAGGIO CONTINUO
SONDAGGIO 3 - INCLINATO



CASSA 1

CASSA 2



CASSA 3



COMUNE DI VARANO DE MELEGARI
SONDAGGIO GEOGNOSTICO A
CAROTAGGIO CONTINUO
SONDAGGIO 3 - INCLINATO



CASSA 4

CASSA 5





S.1



S.2



S.3