

Regione Emilia Romagna

Provincia di Modena

Comune di Montecreto

## MICRO-CENTRALINA IDROELETTRICA SUL TORRENTE SCOLTENNA

Località: Traversa idraulica Fosso Camoscio

F.9 MAPP. 334-336-DEMANIO Fluviale-stradale

General Contractor: Consult A srl Via Umberto I° n.7 41026 Pavullo n/F P.I. Giuseppe (Fabio) Bianchi



Proponente: San Lucano idroelettrica srl Sig. Franco Pastore

Via Frattini 7 Mantova (MN)

**Variante in corso d'opera al pdc n.08 del 30/08/2016**

PROCEDIMENTO ASSOGGETTATO A V.I.A. L.R. 4 20/04/2018  
D.LGS 387/2003

Coordinamento tecnico: Dott. Arch. Massimo Calzolari  
Consulente Idraulico: Dott. Ing. Alberto Biondini  
Progettista e D.L. Strutture: Dott. Ing. Alberto Biondini  
Consulente Paesaggista: Dott. Arch. Massimo Calzolari  
Geologia e Rumore: Geogroup srl Dott. Geol. Luigi Dallari  
Dott. Ing. Francesco Bonacini (Geogroup)  
Rilievi Topografici: Geom Vittorio Di Iorio  
Grafica e Rappresentazione: Studio Geom Cesare Ferraresi  
Progettazione e D.L. Elettrico: Studiومانarane P.I. Andrea Tagliazucchi  
Consulenza Archeologica Dott. Gianpaolo Amadori

Organizzazione Amministrativa: Rag. Martina Ancora  
con sede in Sestola Via Fondovalle Scoltenna 059/7869861

ELABORATO 2023

Relazione Geologico Sismica

DATA DI PROTOCOLLO: 26/10/2023

DATA PROTOCOLLO INTEGRAZIONI: .../.../.....

## SOMMARIO

<b>1.</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
1.1.	SCOPO DELL'ELABORATO .....	3
1.2.	TIPOLOGIA DI INTERVENTO.....	3
1.3.	DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE.....	5
<b>2.</b>	<b>INQUADRAMENTO .....</b>	<b>6</b>
2.1.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	6
2.1.1.	Assetto fluviale .....	7
2.2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	9
2.2.1.	Geologia del substrato .....	9
2.2.2.	Depositi quaternari.....	9
2.3.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E DEL DISSESTO.....	11
2.4.	INQUADRAMENTO DI SISMICITÀ DELL'AREA .....	13
<b>3.</b>	<b>CONSIDERAZIONI TECNICHE E PROGETTO LEGITTIMATO.....</b>	<b>15</b>
3.1.	VALUTAZIONI DI STABILITÀ GLOBALE DEL VERSANTE.....	15
3.2.	INDICAZIONI ESECUTIVE (VOLUME SIGNIFICATIVO DI INTERVENTO).....	15
3.2.1.	Indagine sismica a rifrazione tipo "MASW" .....	18
3.3.	CONCLUSIONI - RELAZIONE GEOLOGICA DI PROGETTO LEGITTIMATO .....	19
<b>4.</b>	<b>VALUTAZIONE DELL'ATTUALE STATO DI FATTO.....</b>	<b>20</b>
4.1.	AVANZAMENTO DEI LAVORI .....	20
4.2.	VALUTAZIONI TECNICHE RELATIVE ALLO STATO DI FATTO.....	24
4.2.1.	Mutazioni dell'alveo fluviale .....	24
4.2.2.	Evoluzione morfologica dell'area .....	28
4.2.3.	Cambiamenti morfologici legati ai lavori svolti.....	30
4.3.	VALUTAZIONI TECNICHE SULLE ALTERNATIVE PROGETTUALI .....	31
<b>5.</b>	<b>INTEGRAZIONI.....</b>	<b>33</b>
5.1.	ADEGUAMENTO NORMATIVO.....	33
5.2.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....	33
5.2.1.	Indagine sismica HVSr .....	33
5.3.	ANALISI DI STABILITÀ AI SENSI DELLE VIGENTI N.T.C. 2018.....	47
5.3.1.	Normativa di riferimento .....	47
5.3.2.	Modello del terreno e sezione di riferimento.....	47
5.3.3.	Parametri geotecnici caratteristici e di progetto.....	49
5.3.4.	Verifica di stabilità – Metodologia di calcolo (LEM) .....	49
5.3.5.	Verifica di stabilità – Scenario 0 (stato di fatto).....	52
5.3.6.	Verifica di stabilità – Scenario 1 (Briglia bassa).....	53
5.3.7.	Verifica di stabilità – Scenario 2 (Briglia alta) .....	54
5.4.	NUOVE INDICAZIONI ESECUTIVE.....	55
5.4.1.	Ricostruzione della briglia di regimazione oggetto di intervento .....	55
5.4.2.	Monitoraggio del corpo di frana a monte dell'opera.....	55
<b>6.</b>	<b>VALUTAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>57</b>

## ELABORATI ALLEGATI

### Allegato n°1 - Tavole

- Tavola 1 - Carta Corografica
- Tavola 2 - Carta Topografica
- Tavola 3 - Ripresa Fotografica Aerea
- Tavola 4 - Carta Geologica
- Tavola 5 - Carta del Dissesto
- Tavola 6 - Ubicazione delle Indagini

### Allegato n°2 - Indagini sismiche

# 1. PREMESSA

## 1.1. SCOPO DELL'ELABORATO

La presente relazione geologica, geotecnica e sismica, redatta in conformità alle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018, costituisce un elemento di adeguamento e aggiornamento della valutazione geologica, geotecnica e geomorfologica per l'installazione di un Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna, nel comune di Montecreto (MO), in corrispondenza della briglia esistente immediatamente a monte della confluenza del "Fosso di Camoscio". Tale aggiornamento si rende necessario a fronte dei diversi anni passati dall'esecuzione della Relazione Geologica a cura del Dott. Geol. Roberto Manfredini (risalente al 14 novembre 2016) e della conseguente scadenza delle procedure amministrative inerenti al progetto, anni durante i quali il parziale avanzamento dei lavori e la naturale evoluzione geomorfologica di un ambiente di versante e fluviale-torrentizio potrebbe aver modificato le condizioni di intorno nell'area di progetto e nel volume significativo dell'opera.

Il presente studio mira pertanto, in primo luogo, all'analisi delle attuali condizioni dell'area di indagine e al confronto di queste con i dati e le valutazioni precedentemente svolte, con il fine ultimo di confermare la persistenza delle condizioni necessarie alla realizzazione del progetto o a identificare, se necessario, nuove potenziali criticità che potrebbero interferire con la sua esecuzione. Il presente elaborato tiene altresì conto dei nuovi scenari progettuali proposti in considerazioni dell'attuale stato di fatto e delle nuove condizioni e necessità.

## 1.2. TIPOLOGIA DI INTERVENTO

Rimandando alle specifiche tavole grafiche allegate alle precedenti progettazioni per i dettagli esecutivi, il progetto in analisi è riassumibile nella realizzazione di una micro-centrale idroelettrica ad acqua fluente lungo e in destra idrografica al T. Scoltenna, in corrispondenza della già esistente briglia a monte della confluenza, nello stesso T. Scoltenna, del già citato "Fosso di Camoscio".



L'intervento, da inquadrarsi come opera minore simile ad iniziative già presenti lungo il corso del torrente, è costituito da:

- infrastrutture di servizio esistenti e di nuova realizzazione;
- impianto produttivo (opera di presa, vasca di carico, canale di distribuzione, turbina per la produzione di energia elettrica, opere di contenimento della turbina e delle altre apparecchiature e bocca di restituzione dell'acqua in alveo);
- infrastrutture di esercizio finale;
- opere di difesa spondale di presidio al sistema produttivo.

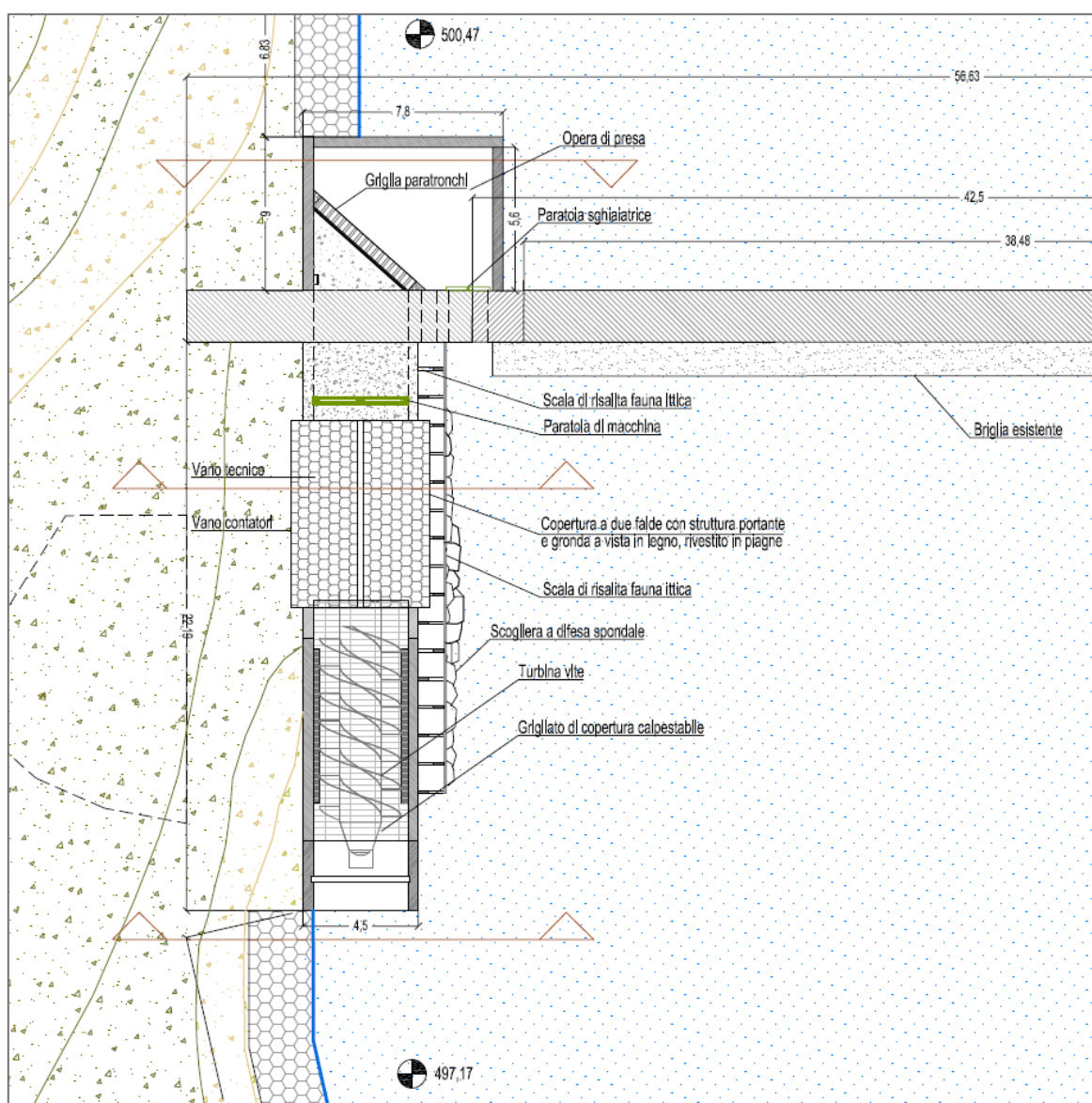


Fig. 1.1: Estratto rappresentativo dei dettagli progettuali di massima (da Tav. 9 - "STATO DI PROGETTO" agg. 11 luglio 2016).

### 1.3. DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE

Come introdotto, il presente elaborato rappresenta un aggiornamento dello stato in essere dell'area di studio da un punto di vista geologico, geotecnico e geomorfologico, e in quanto tale si basa, oltre che sugli elaborati tecnici aggiornati al 2023 e alle relative proposte di modifica progettuale, sugli elaborati tecnici inerenti a tale materia presentati in sede di progetto legittimato risalenti all'anno 2016; nello specifico, le informazioni pregresse che sono state consultate e che saranno citate nei seguenti capitoli fanno fede, in particolar modo ma non limitatamente, ai seguenti elaborati:

- Tav. 1 - Relazione Tecnica (e rel. All.)
- Tav. 2 - Planimetria di inquadramento
- Tav. 2bis - Sovrapposizione progetto – CTR – PTCP
- Tav. 9 – Stato di progetto – Stato finale
- Tav. 15 – Relazione Geologica (e rel. All.)
- Tav. 17 Stato ambientale attuale – planimetria generale
- Tav. 18 Stato ambientale finale – planimetria generale

## 2. INQUADRAMENTO

### 2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Come ampiamente descritto dalla precedente relazione, l'area in esame è situata all'interno del Comune di Montecreto (MO) e lungo il fondovalle del Torrente Scoltenna, nello specifico sulla sponda destra del torrente stesso, in corrispondenza della briglia esistente e immediatamente a monte della confluenza del "Fosso di Camoscio". Dal punto di vista geografico e morfologico, il presente progetto si inserisce in un ambiente montano di fondovalle fluviale, sulla sponda destra di un tipico torrente a regime perenne di ambiente appenninico. La sponda destra della valle, ovvero quella pertinente e che insiste in maniera diretta sull'area di progetto, è costituita da un pendio prevalentemente boscato inclinato in direzione NE. Dalla precedente relazione, le quote di riferimento variano da circa 665 m s.l.m. (media pendice) a 500 m s.l.m. (fondovalle).

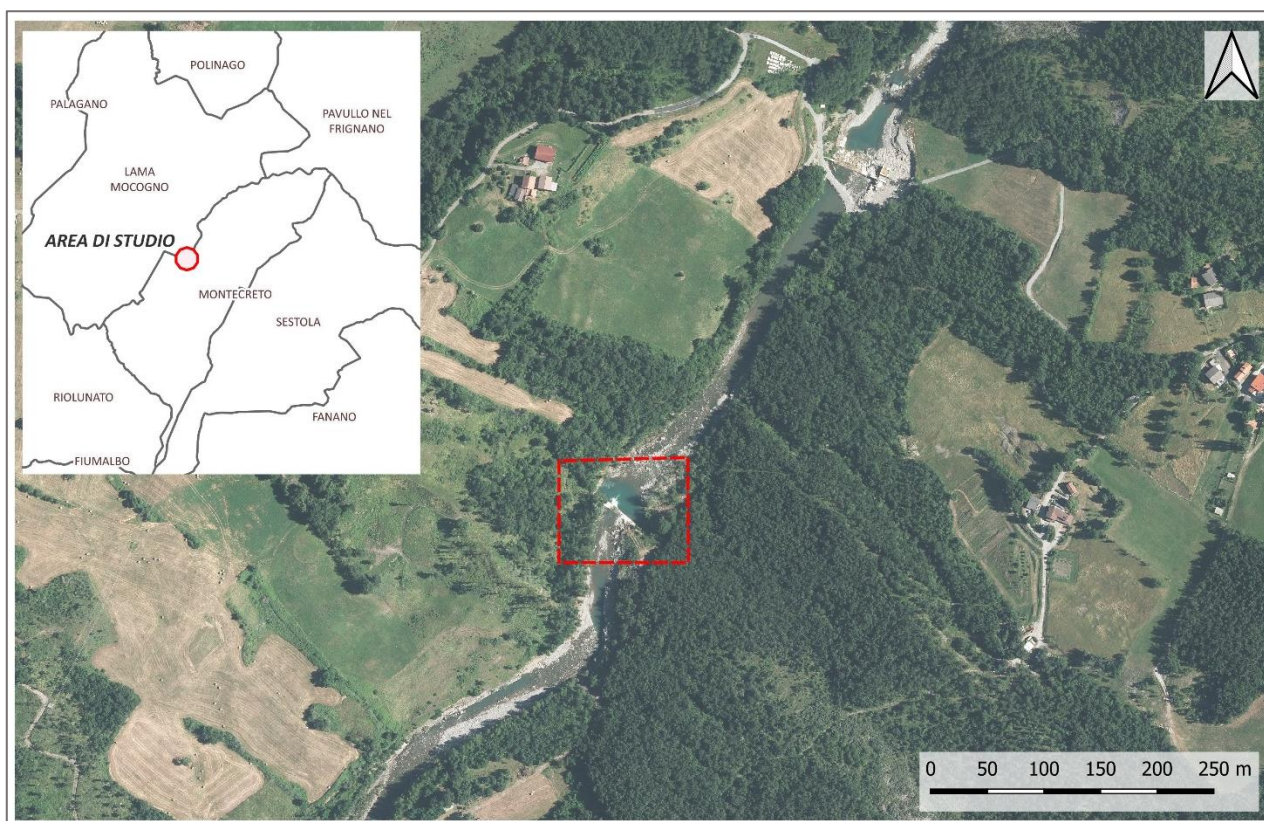


Figura 2.1: Inquadramento geografico dell'area di studio (foto: AGEA 2020).



### 2.1.1. Assetto fluviale

Il presente intervento si innesta all'interno dell'alveo del Torrente Scoltenna, che assieme al T. Leo costituisce il principale tributario del Fiume Panaro. Il T. Scoltenna, a sua volta frutto dell'unione di svariati torrenti minori che hanno sorgente a ridosso dei principali rilievi montuosi dell'appennino modenese, si estende per una lunghezza totale di 26 km (considerando il solo corso d'acqua propriamente detto) e ha una portata media, in regime ordinario, tra 3.00 e 4.00 m<sup>3</sup>/s.

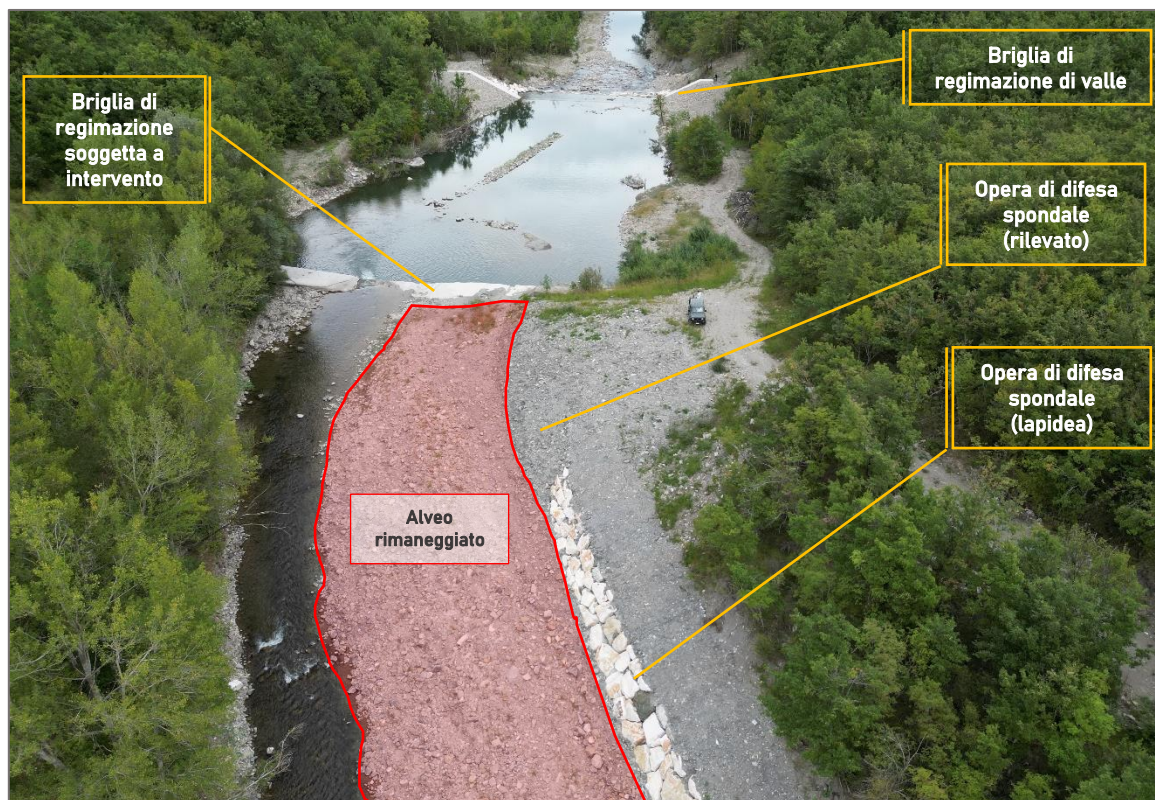


*Figura 2.2: Ripresa panoramica dell'area di interesse eseguita con drone da valle (Settembre 2023)*

Come introdotto pocanzi ed ampiamente esposto nei già esistenti elaborati, il tratto di asta fluviale in oggetto è rappresentato da un tipico contesto di alveo torrentizio montano in ambiente appenninico. La base d'alveo è caratterizzata dalla presenza di sabbie grossolane e ghiaie estremamente eterogenee in termini di dimensioni, senza ordine dimensionale ma caratterizzate da generale embriciatura in direzione del flusso idrografico. Si distinguono chiaramente un corso d'acqua ordinario, dimensionalmente minore, e un alveo fluviale più ampio che lo contiene, il quale è invece interessato dal corso d'acqua solo in regime di piene occasionali.

Per quanto concerne la presenza antropica, attualmente, l'area in oggetto è stata interessata a da operazioni di sistemazione e difesa in sede d'alveo torrentizio e in diretta adiacenza allo stesso, sia a monte che a valle del punto di intervento in progetto; sono attualmente presenti, inoltre:

- Una briglia di regimazione (di larghezza stimata in circa 50 m), in sede progettuale designata ad accogliere il manufatto in progetto ma che risulta attualmente in condizioni di grave danneggiamento a causa del cedimento del tratto centrale della traversa;
- Una briglia di regimazione, di recente fattura, della larghezza di circa 63 m e posizionata circa 110 m a valle della briglia designata all'accoglienza dell'opera in analisi;
- Un'opera di difesa spondale sulla sponda destra del T. Scoltenna a monte della briglia sede di intervento, di recente fattura, costituita in massi lapidei per una lunghezza complessiva di circa 50 m e in rilevato di materiale reperito in loco per i successivi 40 m circa.



*Fig. 2.3: Collocazione degli attuali interventi antropici nell'area di interesse (Settembre 2023)*



## 2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 2.2.1. Geologia del substrato

L'area in analisi è interessata dal punto di vista geologico dall'affioramento delle cosiddette "Unità di base" del Dominio Ligure, in particolare delle Argille a Palombini e, con esse in contatto di tipo strutturale, delle Arenarie di Scabiazza. La descrizione geo-litologica delle due formazioni presente nella cartografia ufficiale è riportata in seguito:

***APA – Argille a Palombini:*** Argille intensamente tettonizzate, argilliti - unità costituite in prevalenza da argille che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione ("argille scagliose").

***SCB – Arenarie di Scabiazza:*** Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli pelitici prevalenti: rapporto  $L/P < 1/3$ .

La provenienza delle cosiddette "Unità di base" del dominio ligure è da attribuirsi al tardo Mesozoico, e in termini di facies a un ambiente deposizionale prevalentemente oceanico profondo; la litologia è composta, nel caso delle Argille a Palombini, da argille grigie fini e finissime, con presenza sporadica di calcilutiti in blocchi di dimensioni variabili attribuibili a eventi di torbida in ambiente distale e di ofioliti (principalmente gabbri) di dimensioni estremamente variabili (da plurimetriche a ettometriche), probabilmente recise dalla crosta oceanica sottostante i complessi basali liguri e inglobate nelle liguri stesse durante i processi tettonici di subduzione; le Arenarie di Scabiazza, cronostratigraficamente più recenti e direttamente successive alle prime, sono invece caratterizzate da una litologia più eterogenea, nello specifico dall'alternanza di orizzonti pelitici scarsamente litificati e di orizzonti a granulometria più grossolana, dalle sabbie fini e finissime a medie, di maggiore competenza e grado di litificazione.

### 2.2.2. Depositi quaternari

Lungo il tratto di fondovalle l'intera area è interessata, al tetto delle unità di substrato, dalla presenza di coperture di età quaternaria. In particolare:

- Il tratto di alveo fluviale preso in analisi è caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali in evoluzione, principalmente ghiaie grossolane di dimensioni variabili, da centimetrici a pluridecimetrici, con grado di arrotondamento medio e alto;
- in diretta adiacenza al tratto attivo dell'alveo fluviale, alcune decine di metri a monte e a valle dell'area di intervento e sulla destra idrografica del T. Scoltenna, è riportata la presenza di un terrazzo fluviale litologicamente attribuito all'Unità di Modena (AES8a), descritta in letteratura come segue:

***AES8a - Unità di Modena: Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro.***

I versanti che convergono nel T. Scoltenna sono in questa zona sistematicamente interessati da coperture riferibili a depositi di frana, per lo più complessi, sia attivi che in stato di quiescenza; per quanto concerne la natura di tali depositi, litologicamente e per comportamento geologico e geomorfologico coerenti con le formazioni geologiche di provenienza delle stesse, si rimanda alle considerazioni presenti nel precedente elaborato e riportate e approfondite nel seguente Capitolo 2.3.

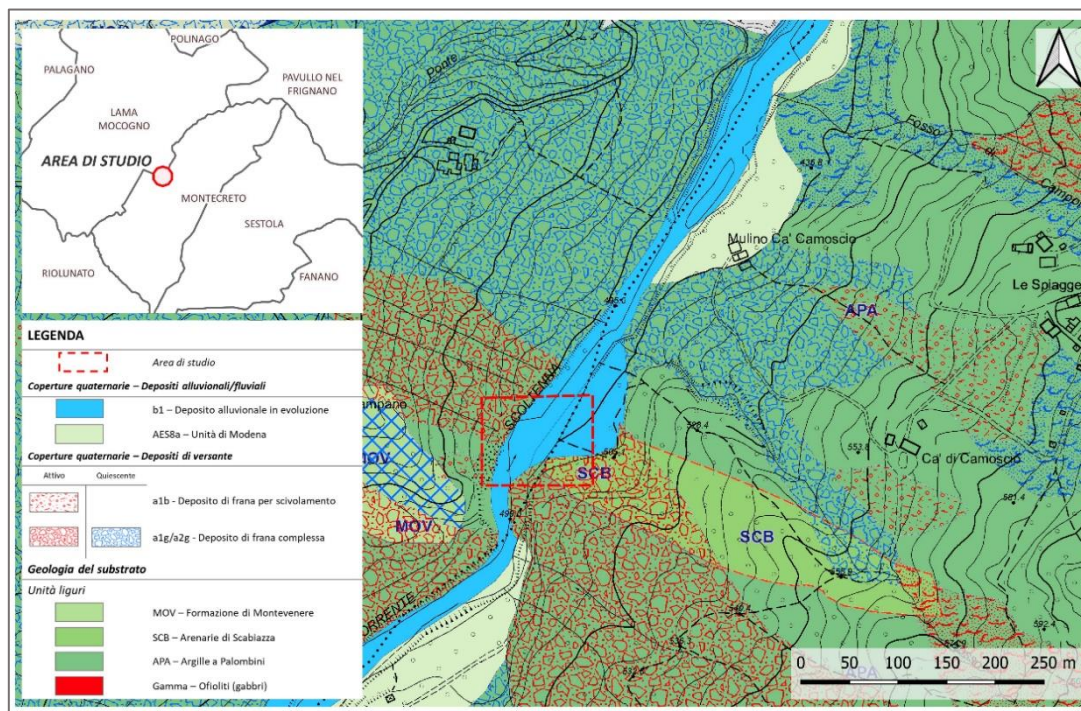


Figura 2.4: Inquadramento geologico dell'area di studio (fonte: Regione Emilia-Romagna)

## 2.3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E DEL DISSESTO

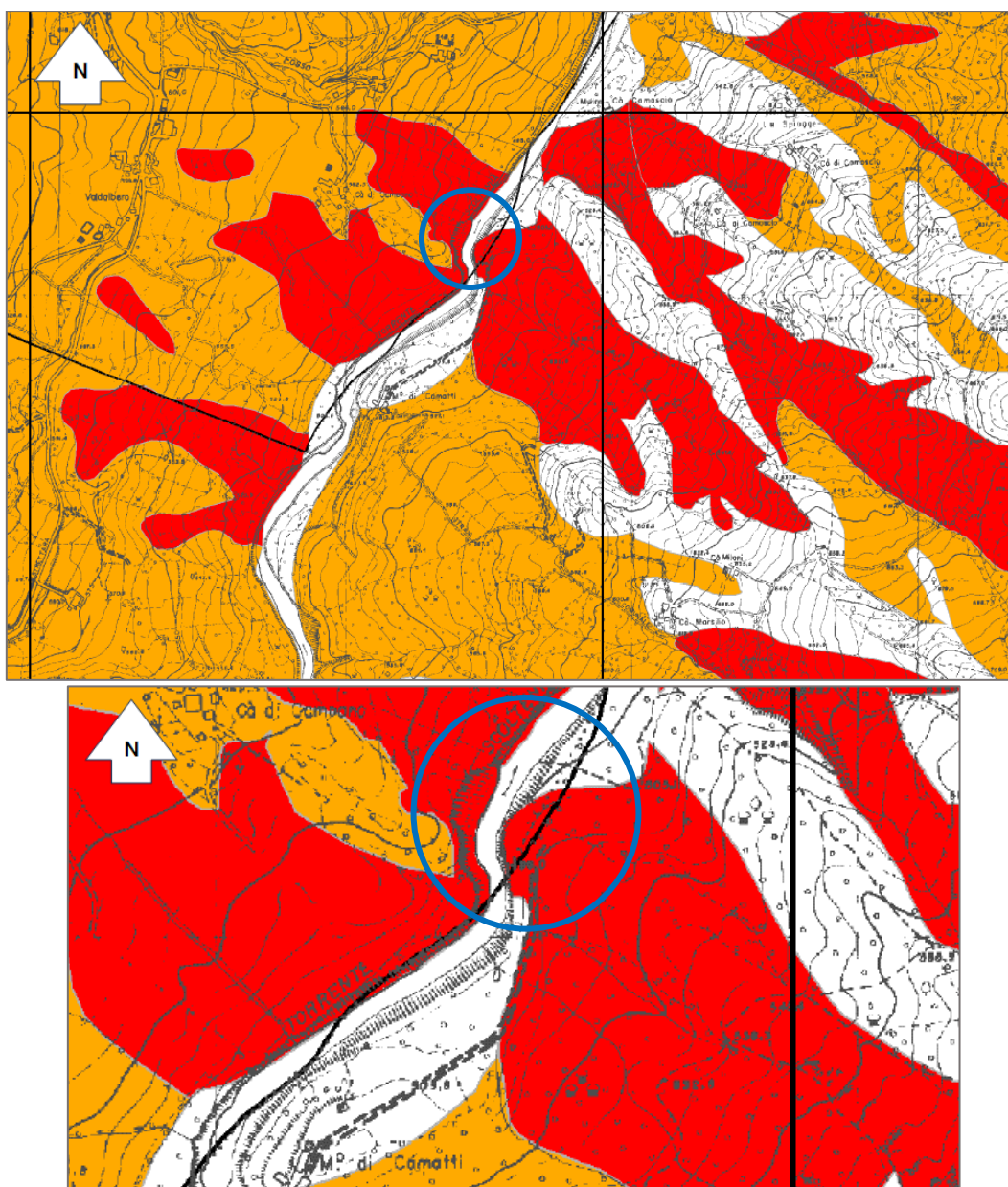
Per quanto concerne gli aspetti geomorfologici e lo stato di dissesto dell'area di interesse, il sito in analisi si colloca alla base di un pendio geologicamente costituito da un substrato prevalentemente argilloso; tale configurazione, anche e non solo nella fattispecie dell'ambiente appenninico modenese, è nota per essere ampiamente suscettibile a eventi di dissesto idrogeologico, in particolare di fenomeni di frana per scivolamento e/o colata innescati dall'azione erosiva e di scalzamento al piede da parte delle acque fluviali unita ai processi geomorfologici di versante ad opera delle acque meteoriche.

Come è già stato evidenziato dalla cartografia geologica e come è possibile osservare consultando la cartografia del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP 2009) inerente alla Sicurezza del Territorio – Rischio da Frana (Carta del Dissesto 1: 10.000), da cui l'estratto in Fig. 2.5, l'area di fondovalle interessata dal presente lavoro è caratterizzata dalla sostanziale e generalizzata presenza di fenomeni di dissesto, per l'intera estensione della suddetta area di interesse e su entrambe le sponde del T. Scoltenna.

In particolare, si evidenzia:

- La presenza, sulla sponda sinistra del T. Scoltenna, di un fenomeno di dissesto di grandi dimensioni, esteso per buona parte del versante, attualmente in stato di quiescenza, al cui piede sono presenti riattivazioni minori attualmente registrate come frane attive; due tra queste, nello specifico, incombono sull'alveo fluviale in prossimità dell'area di interesse;
- L'esistenza, sulla sponda destra del T. Scoltenna e in diretta corrispondenza dell'area in analisi, di un esteso fenomeno di dissesto attualmente in stato di attività, il cui piede si colloca in corrispondenza dell'area di studio; ulteriori eventi di frana attivi di dimensioni minori sono inoltre presenti a valle dell'area di intervento, ma a distanze tali da non suggerire alcuna possibilità di interazione con l'opera di interesse.

















VOCI DI LEGENDA				
Zone ed elementi caratterizzati da fenomeni di dissesto e instabilità				
			Aree interessate da frane attive	Art.26
			Aree interessate da frane quiescenti	
Zone ed elementi caratterizzati da potenziale instabilità				
			Aree potenzialmente instabili	Art.27
Aree a rischio idrogeologico elevato e molto elevato				
	Codice scheda Elab. 4 NR	Abitati da consolidare o da trasferire (perimetrazione approvata ai sensi dell'art.29 comma 2 del PTPR)		Art.29
		Aree a rischio idrogeologico molto elevato		Art.29A
		Aree a rischio da frana perimetrate e zonizzate a rischio molto elevato (R4) ed elevato (R3)		Art.29B

Figura 2.5: Stralcio della "Carta del Dissesto" dell'area di interesse

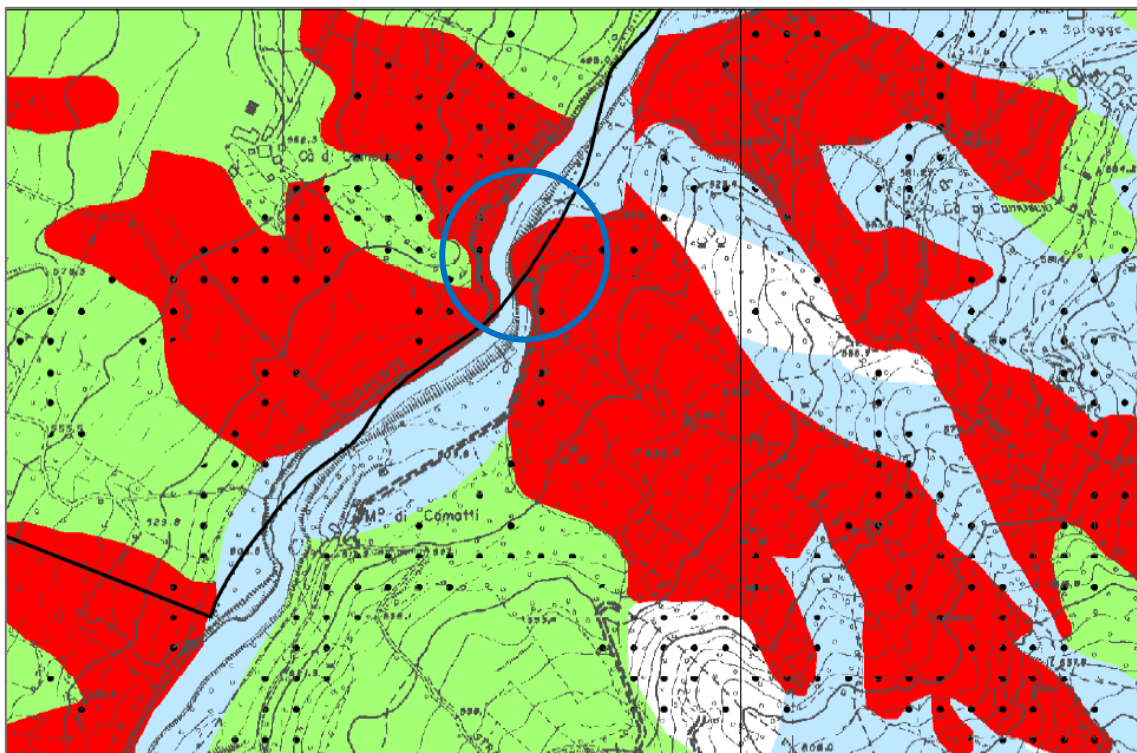
(fonte: PTCP 2009 - Carte delle Sicurezze del Territorio - Rischio da frana: carta del dissesto - Tav. 2.1 17 scala 1: 10.000)

## 2.4. INQUADRAMENTO DI SISMICITÀ DELL'AREA

In riferimento al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP 2009), l'area di studio è stata inquadrata anche dal punto di vista della sismicità. In particolare, stando alla cartografia allegata al suddetto PTCP "Carte per la Sicurezza del Territorio - Rischio sismico - Carta delle aree suscettibili di effetti locali alla scala 1. 10.000", l'area di intervento viene classificata come segue:

- L'area di versante insistente sul tratto d'alveo fluviale di interesse viene classificata come **Zona 1 - Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche** (nella porzione più a monte) e come **Zona 2 - Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche** (in alcune porzioni più a valle);
- L'area di fondovalle corrispondente all'alveo fluviale viene invece classificata come **Zona 5 - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche**.

Stando a tali direttive, il sito di interesse ricade al confine tra la Zona 1 e la Zona 5; si riporta in seguito lo stralcio della tavola n°17 della sopracitata cartografia.





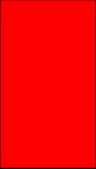
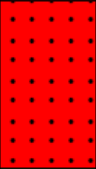
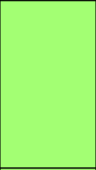
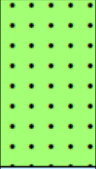


VOCI DI LEGENDA	
Effetti attesi	
	<b>1</b> <b>Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b> <u>studi*</u> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche (nei casi in cui siano ammessi interventi); <u>microzonazione sismica*</u> : approfondimenti di III livello.
	<b>2</b> <b>Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b> <u>studi*</u> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico e del grado di stabilità in condizioni dinamiche o pseudostatiche (nei casi in cui siano ammessi interventi); <u>microzonazione sismica*</u> : approfondimenti di III livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.
	<b>3</b> <b>Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b> <u>studi*</u> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche; <u>microzonazione sismica*</u> : approfondimenti di III livello.
	<b>4</b> <b>Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b> <u>studi*</u> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche; <u>microzonazione sismica*</u> : approfondimenti di III livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.
	<b>5</b> <b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b> <u>studi*</u> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico; <u>microzonazione sismica*</u> : approfondimenti di II livello.
	<b>6</b> <b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b> <u>studi*</u> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico; <u>microzonazione sismica*</u> : approfondimenti di II livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.

Figura 2.6: Stralcio della "Carta delle aree suscettibili di effetti locali" dell'area di interesse  
(fonte: PTCP 2009 - Carte delle Sicurezze del Territorio - Rischio sismico (Tav. 2.1 17 scala 1: 10.000))

## 3. CONSIDERAZIONI TECNICHE E PROGETTO LEGITTIMATO

### 3.1. VALUTAZIONI DI STABILITÀ GLOBALE DEL VERSANTE

In sede di caratterizzazione geologica espletata nell'anno 2015 e aggiornata il giorno 14 novembre 2016, in seguito a rilievi specifici, la configurazione geomorfologica del versante insistente sul punto di interesse del presente lavoro viene considerata sostanzialmente *“compatibile con la proposta di modificazione dello stato dei luoghi a condizione che la nuova opera sia migliorativa del grado di stabilità rilevato”*. A riprova di ciò si riporta in seguito, per esteso, il paragrafo “Stabilità territoriale” presente alle pp. 7-8 della sopracitata Relazione Geologica:

*«I caratteri indicati nei capitoli che precedono sono rappresentativi di una condizione territoriale relativamente comune ove le aree stabili si alternano ad aree instabili. Con riferimento alla cartografia di PTCP “Carta delle sicurezze del territorio: Rischio da frana: Carta del dissesto” (Cfr. All. n° 5) l'area in esame si colloca al limite fra terreni interessati a fenomeni gravitativi in atto e aree stabili. Dai rilievi specifici emerge un quadro differenziato:*

- *a monte della briglia le aree classificate a stabilità precaria hanno grado di equilibrio sufficiente (si confrontino le verifiche specifiche ed i relativi coefficienti di sicurezza ottenuti mediante utilizzo di parametri geomeccanici decisamente prudenziali);*
- *a valle della briglia su ampio e consolidato terrazzo fluviale, il grado di equilibrio è elevato.*

*Da quanto sopra si ritiene che il territorio in esame, nel suo insieme, inteso come “nastro” territoriale di fondovalle, con prevalente sviluppo da sud-est verso nord-ovest, sia compatibile con la proposta di modificazione dello stato dei luoghi a condizione che la nuova opera sia migliorativa del grado di stabilità rilevato.»*

### 3.2. INDICAZIONI ESECUTIVE (VOLUME SIGNIFICATIVO DI INTERVENTO)

La relazione geologica eseguita nel 2016 fornisce valutazioni e indicazioni circa le fasi esecutive di progetto di seguito elencate:

- Rimodellamento e livellamento dell'alveo fluviale a valle e a monte dell'opera, con conseguente movimentazione di materiale ghiaioso e sabbioso di deposito fluviale;
- Scavo, e movimentazione di ghiaie e sabbie di deposito fluviale e argille in loco sottostanti, per l'esecuzione dell'opera di presa e per le opere di difesa spondale;
- Ripristino, attraverso operazioni di reinterro, risagomatura ed esecuzione di opere accessorie, comportante il riutilizzo del materiale movimentato.

Si rimanda alle pagine 12 e 13 (*e rel. All.*) della relazione geologica del progetto legittimato per il bilancio completo dei volumi di materiale movimentato e le specifiche destinazioni d'uso. Stando alle informazioni pregresse fornite dallo stesso elaborato, l'esecuzione dell'opera non prevede l'apertura di fronti di scavo significativi; sono comunque state predisposte le opportune analisi di stabilità (vedasi All.8 della precedente relazione) a supporto delle operazioni di messa in posto dell'opera di presa e per il pendio naturale nell'intorno significativo dell'intervento, le quali hanno dimostrato la sostanziale stabilità sia dell'eventuale scavo per l'opera di presa (entro il mantenimento del dimensionamento e delle indicazioni esecutive prescritte), sia dei rilievi ipotizzati in sede progettuale. I dettagli delle suddette analisi sono debitamente approfonditi a p.11 della relazione geologica del progetto legittimato (*e rel. All.*).

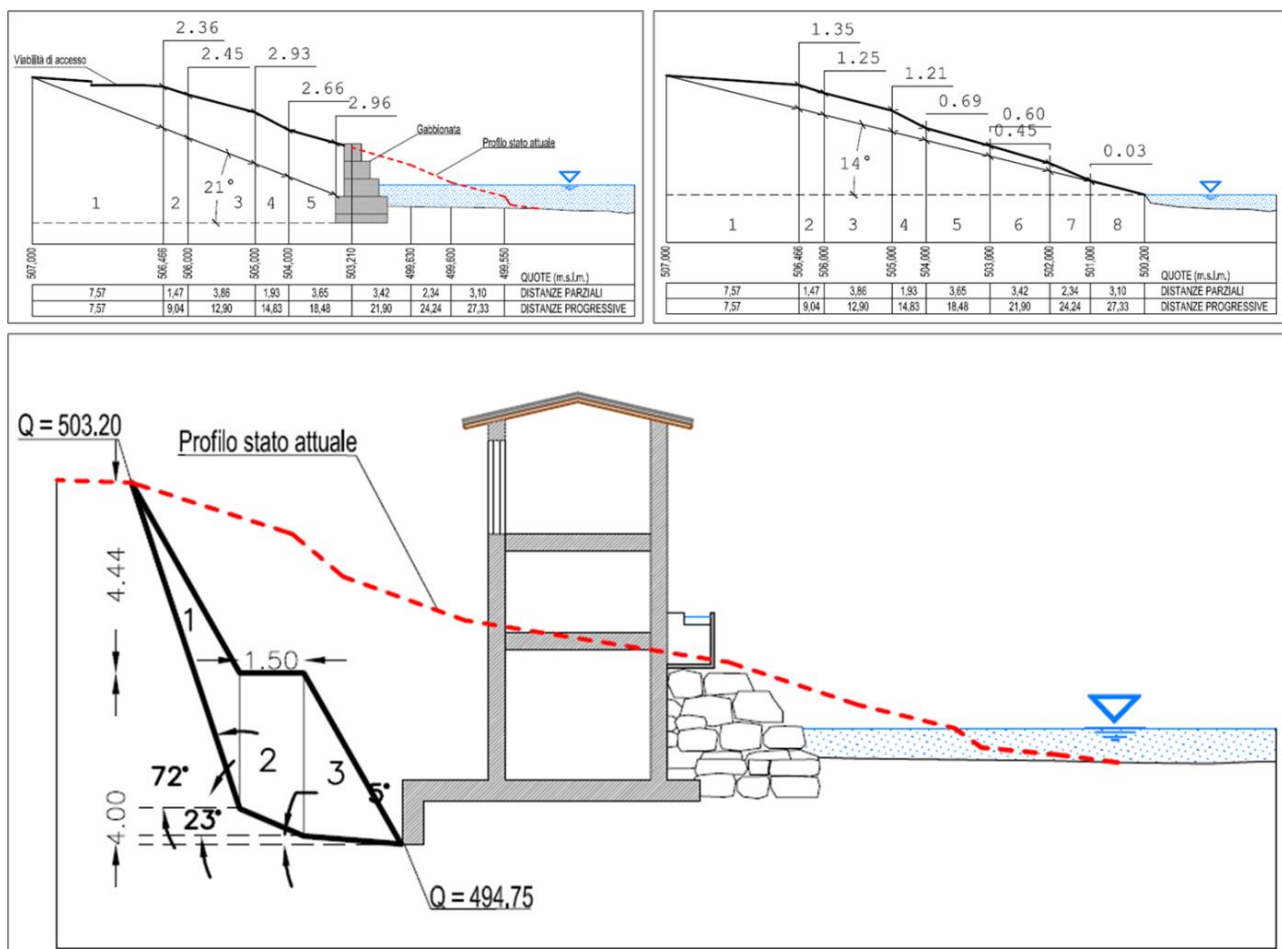


Fig. 3.1: Estratti delle analisi di stabilità eseguite nella Relazione Geologica 2016 (da All. n°8, Relazione Geologica 2016)

L'esecuzione tali analisi è stata svolta a monte della definizione degli opportuni modelli di riferimento (geologico, geotecnico e idrogeologico), desunti sulla base delle seguenti indagini:

- Ricerca dati storici del territorio;
- Approfondimento di dettaglio mediante
  - rilevamento diretto
  - stendimento sismico, metodo Masw

Nell'immagine seguente (da pp. 10 della precedente relazione) si riassumono i modelli e i relativi parametri utilizzati per l'esecuzione di tali analisi:

Modello geologico

-

Litologia argillosa. Formazione a potenza molto elevata

( > 30 m )

con ricoprimento superficiale localizzato in ghiaia ( APA – Argille a Palombini ).

Modello idrogeologico

-

terreno superficiale insaturo oltre quota d'alveo m 500 slm e superiori ;

-

terreno saturo a quota d'alveo, m 500, e inferiori.

Modello e caratterizzazione geotecnica

Litotipo argilloso con spessore > 30 m

Cu =

:

0.30

÷

0.50 Kg/cmq

valore indicativo di coesione n.d.

C<sub>1</sub> =

:

0.10

÷

0.15 Kg/cmq

valore indicativo di coesione c.d.

φ

:

10°

angolo di attrito interno argille superficiali

φ<sub>1</sub>

:

18°

angolo di attrito interno sub-strato argilloso

γ<sub>t</sub>

:

1.85 t/mc

peso specifico terreno argilloso

Valori caratteristici

I valori che seguono sono riferiti alle argille rilevate al di sotto del livello superficiale ghiaioso, costituenti strato geologico di riferimento:

C<sub>1</sub>

:

0.10

valore minimo rilevato ;

Cu

:

0.30

valore minimo rilevato ;

φ

:

10°

angolo di attrito nullo ;

γ<sub>t</sub> / γ<sub>t1</sub>

:

1.85

Le elaborazioni conseguenti devono essere considerate come prudenziali ed a favore della massima sicurezza.

Figura 3.2: Modelli e parametri geotecnici indicati nella Relazione Geologica del 2016



### 3.2.1. Indagine sismica a rifrazione tipo "MASW"

Al fine di caratterizzare il sottosuolo in maniera conforme ai riferimenti normativi in materia, è stata eseguita un'indagine sismica delle onde di taglio con metodo MASW, i cui risultati, ampiamente esposti nell'all.7 della precedente relazione, si riportano per esteso di seguito:

*"L'analisi delle onde di taglio ( $V_s$ ) tramite metodo MASW, ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore  $V_{s30}$  per la sezione indagata. Il valore di  $V_{s30}$  è riferito ai primi 30 m a partire dal piano campagna risulta pari a **433 m/sec.**"*



Fig. 3.3: Ubicazione dell'indagine MASW svolta nella precedente relazione.



### 3.3. CONCLUSIONI - RELAZIONE GEOLOGICA DI PROGETTO LEGITTIMATO

A fronte delle indagini e dei rilievi svolti in sede della precedente Relazione Geologica, sono state desunte le seguenti considerazioni conclusive, presenti a p.15 della suddetta Relazione e che si riportano, per esteso, di seguito:

#### *CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE*

Gli aspetti trattati consentono nel loro insieme di considerare l'intervento proposto come fattibile nel rispetto dello stato attuale.

La nuova opera si inquadra infatti come intervento di :

- 1°) manutenzione sostanziale sulla briglia di regimazione esistente e pertanto di aiuto al deflusso delle acque ;
- 2°) regimazione protettiva della sponda destra dell'alveo fluviale, con opera a sviluppo prevalentemente longitudinale, a cavaliere della briglia;
- 3°) consolidamento del ciglio di pendice, mediante realizzazione di gabbionata, a monte della briglia;
- 4°) presidio pressoché continuo del tratto interessato per la manutenzione ordinaria da intendersi duratura nel medio periodo ( tempo di previsione operativa ).

Per contro non si ravvedono aspetti negativi a che l'iniziativa possa trovare attuazione.

Per quanto di competenza si attesta che la costruzione della " nuova opera ", così come evidenziata nelle unite tavole progettuali, non produrrà interferenza negativa alcuna sugli esistenti equilibri.

Nel rispetto di corretta sensibilità ambientale, a presidio territoriale ed a ulteriore garanzia per la nuova opera, lungo la direttrice principale della porzione di pendice interessata da movimento franoso, si indica infine :

- a) di realizzare una scolina in sede parallela alla viabilità , di raccolta e regimazione delle acque meteoriche con direttrice di deflusso verso nord, entro la piana alluvionale e, verso sud, in prossimità della scogliera;
- b) di realizzare due graticci in serie parallela, trasversali al pendio, di tutela della stabilità del terreno superficiale atti a favorire la ripiantumazione della sponda ripariale con essenze tipiche ( pioppo, salice );
- c) di realizzare una serie ( n°5 ) di attraversamenti della sede stradale con direzione secondo la massima pendenza, costituiti da inerti aridi grossolani, atti a facilitare il deflusso delle acque ed evitare ristagni in prossimità del ciglio stradale.
- d) di procedere in fase di ultimazione dei lavori, ad accurato livellamento del terreno, arricchimento organico, erpicatura e semina di miscuglio prativo a radice fittonata, protettivo contro la erosione superficiale.

Fig. 3.4: Stralcio della Relazione Geologica 2016 (pp. 13-14) relativa alle considerazioni conclusive

## 4. VALUTAZIONE DELL'ATTUALE STATO DI FATTO

Preso atto del quadro esposto pocanzi, nonché dell'interruzione per diversi anni dei lavori di esecuzione, nel mese di settembre 2023 è stato svolto un sopralluogo finalizzato alla valutazione dell'attuale stato di fatto dell'area, durante il quale sono state svolte le seguenti attività:

- Acquisizione di punti GPS ad alta precisione;
- Rilevamento geologico e geomorfologico dell'area;
- Acquisizione di opportuna documentazione fotografica da terra;
- Acquisizione di documentazione fotografica da drone finalizzata allo studio dello stato del versante e dell'alveo fluviale e alla ricostruzione di Ortomosaico e DEM (Digital Elevation Model) ad alta precisione per l'area di interesse.

Sulla base di tali sopralluoghi sono svolte le considerazioni e valutazioni che verranno esposte nei sotto-capitoli che seguono.

### 4.1. AVANZAMENTO DEI LAVORI

I sopralluoghi svolti nel mese di settembre 2023 hanno permesso di valutare l'attuale stato di avanzamento dei lavori che ha visto finora l'esecuzione delle seguenti fasi:

- Rimodellamento iniziale della sede d'alveo torrentizio a valle e a monte della briglia esistente, e conseguente movimentazione di materiale ghiaioso e sabbioso di deposito fluviale;
- Pulizia e rimodellamento della sponda arginale destra con finalità di rafforzamento e difesa spondale;
- Messa in opera muro in massi ciclopici, di lunghezza pari a 50 m e posizionato circa 40 metri a monte dell'area di intervento, finalizzato a contenimento e difesa spondale.

Si illustrano di seguito due confronti fotografici relativi allo stato dell'area di interesse in fase antecedente all'inizio dei lavori (tratte dall'All. n°10 della Relazione geologica 2016) e in corrispondenza dell'attuale stato in essere:





*Fig. 4.1: Confronto tra documentazione fotografica presente nella  
Relazione Geologica 2016 (sopra) e l'attuale stato dei luoghi – settembre 2023 (sotto).*





*Fig. 4.2: Confronto tra documentazione fotografica presente nella  
Relazione Geologica 2016 (sopra) e l'attuale stato dei luoghi – settembre 2023 (sotto).*

Si riporta in seguito, per approfondimento, ulteriore documentazione fotografica raccolta durante i sopralluoghi svolti:





*Fig. 4.3: Panoramica del tratto d'alveo sede di intervento visto da valle verso monte (settembre 2023)*



*Fig. 4.4: Dettagli da diverse angolazioni della briglia preesistente e sede di intervento (settembre 2023).*



## 4.2. VALUTAZIONI TECNICHE RELATIVE ALLO STATO DI FATTO

In aggiornamento alle conoscenze pregresse fornite dalla Relazione Geologica 2016, che convengono nella sostanziale fattibilità dell'opera in oggetto, è obiettivo del presente elaborato valutare le possibili variazioni nel tempo delle condizioni al contorno sulle quali sono basate le valutazioni di fattibilità stesse. Gli aspetti considerati significativi in questa prospettiva sono i seguenti:

- Eventuali mutazioni significative dell'alveo fluviale nel tratto di interesse;
- Eventuali evoluzioni (o segni di evoluzione) della stabilità morfologica generale del versante;
- Eventuali variazioni, rispetto alle caratteristiche iniziali, nel diretto intorno dell'area di intervento dovuti all'avanzamento dei lavori sinora svolto.

### 4.2.1. Mutazioni dell'alveo fluviale

Si è ritenuto opportuno, in primo luogo, valutare possibili variazioni subite dall'alveo torrentizio, ambiente notoriamente dinamico e soggetto a variazioni anche sostanziali che si possono manifestare in tempi anche molto brevi. La valutazione è stata svolta attraverso:

- Confronto tra le immagini satellitari risalenti al 2014 (le prime antecedenti alla precedente relazione) e le più recenti disponibili, risalenti al 2021, per un intorno di circa 400 metri (lineari relativi all'alveo fluviale), a monte e a valle dell'opera;
- Esecuzione di fotogrammetria di dettaglio con drone, calibrato attraverso acquisizione di n°4 GCP (Ground Control Point) nella sezione d'alveo ritenuta più significativa.

L'osservazione di tali fonti, che si riportano in seguito nelle Figure 4.5 e 4.6, unitamente a rilievi specifici effettuati sul luogo, non ha evidenziato variazioni degne di nota nell'assetto dell'alveo fluviale (al netto del rimodellamento previsto in sede del presente lavoro, visibile nelle riprese tra 2019 e 2021), all'interno del quale il T. Scoltenna ha mantenuto negli anni il suo corso preferenziale e modificando – comunque in maniera poco significativa – soltanto le aree interne all'alveo stesso che rimangono asciutte in regime di portata ordinaria.

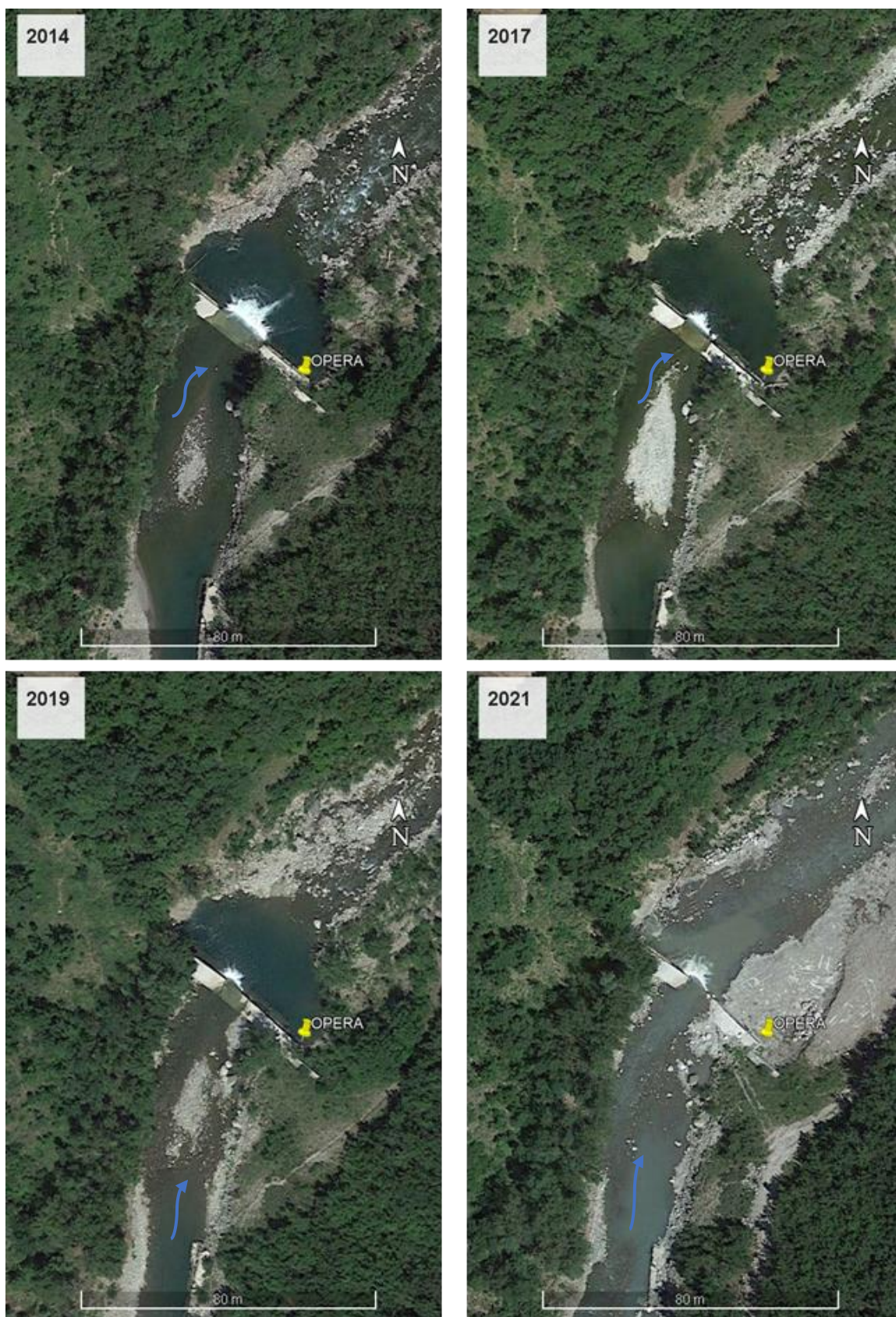


Fig. 4.5: Ricostruzione multi-temporale del tratto di alveo del T. Scoltenna interessato dall'opera. (fonte: Google Earth)  
La freccia blu indica la direzione del flusso d'acqua.





Fig. 4.6: Ortomosaico elaborato dagli scatti acquisiti con drone (sovrapposto a Ortofoto AGEA 2020 in trasparenza).



Per quanto concerne invece lo stato di mantenimento delle opere interne all'alveo, si riscontra e si è posta l'attenzione sullo stato di danneggiamento particolarmente accentuato della briglia di regimazione nella quale avrebbe dovuto avere sede il manufatto. Come è già stato possibile notare nelle immagini riportate nelle pagine precedenti (in particolare si rimanda alla Fig. 4.4) e come rappresentato dalla seguente ricostruzione 3D tratta dall'elaborazione di dati acquisiti con drone, la briglia ha subito infatti un danno estremamente importante, generato da un cedimento nella parte centrale e dalla successiva rottura e sfondamento per rotazione nella parte centrale stessa. Sulla base di tali evidenze e tenendo conto che l'estensione del danno non permette un recupero e/o ripristino dell'opera in essere, la nuova progettazione considera necessario, per l'esecuzione dell'intervento, la demolizione e ricostruzione della briglia stessa, unitamente a interventi di sostegno e di difesa dall'erosione che non permettano il sopraggiungere di nuove rotture. In merito a quanto descritto, una specifica valutazione dello stato di fatto è stata redatta nel 2021 dall' Arch. Massimo Calzolari: si rimanda a quest'ultima relazione, dal titolo **"Rideterminazione del quadro idrogeologico e idraulico dell'intervento riguardante la centralina idroelettrica ad acqua fluente denominata Fosso di Camoscio"** per opportuni approfondimenti. Oltre agli evidenti danni subiti dalla briglia, la sopracitata relazione riferisce inoltre di danneggiamenti a carico dell'opera di difesa spondale presente a monte della sede di intervento, danni per i quali si è ritenuto opportuno, in sede delle analisi di stabilità che saranno esposte in seguito, non considerare il contributo di sostegno da parte della struttura stessa alla scarpata analizzata.

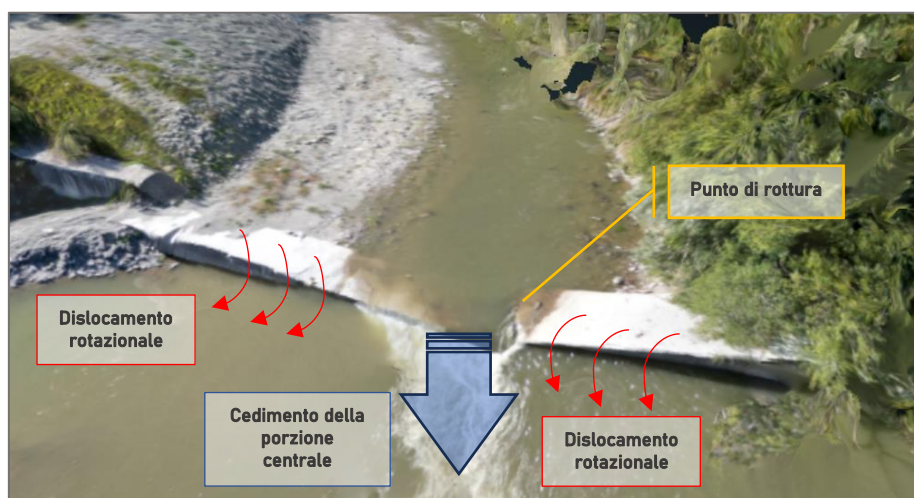


Fig. 4.7: Ricostruzione 3D della briglia con dinamica di danneggiamento.



## 4.2.2. Evoluzione morfologica dell'area

In merito alla stabilità globale del versante insistente sul tratto di torrente in analisi, si è ritenuto opportuno verificare il mantenimento nel tempo delle condizioni di generale stabilità illustrato nella Relazione Geologica del 2016.

Da tale verifica, messa in atto attraverso rilievo geomorfologico in sito, osservazione di fotogrammetria satellitare e acquisizioni panoramiche del versante ottenute con l'utilizzo di drone, sono emerse evidenze di nuove riattivazioni soltanto in porzioni minori, sempre parziali e localizzate, nel settore di coronamento e di medio corpo della frana attiva incombente sull'area oggetto di intervento già menzionata nel Cap. 3.2. Dalle stesse indagini non sono invece emersi indizi che inducano a ipotizzare il coinvolgimento, da parte di tali episodi di riattivazione, del settore di piede della frana. Sebbene queste riattivazioni minori, comunque molto contenute e superficiali, non siano associabili o indiziarie di riattivazioni dell'intero corpo di dissesto, costituiscono comunque un punto di attenzione che induce a mantenere coscienza del comportamento di questa porzione di versante, nonché a confermare lo stato di sostanziale attività – sebbene molto bassa e arealmente limitata – del corpo di frana in oggetto. Di seguito il confronto multi-temporale e la documentazione fotografica acquisita con drone.

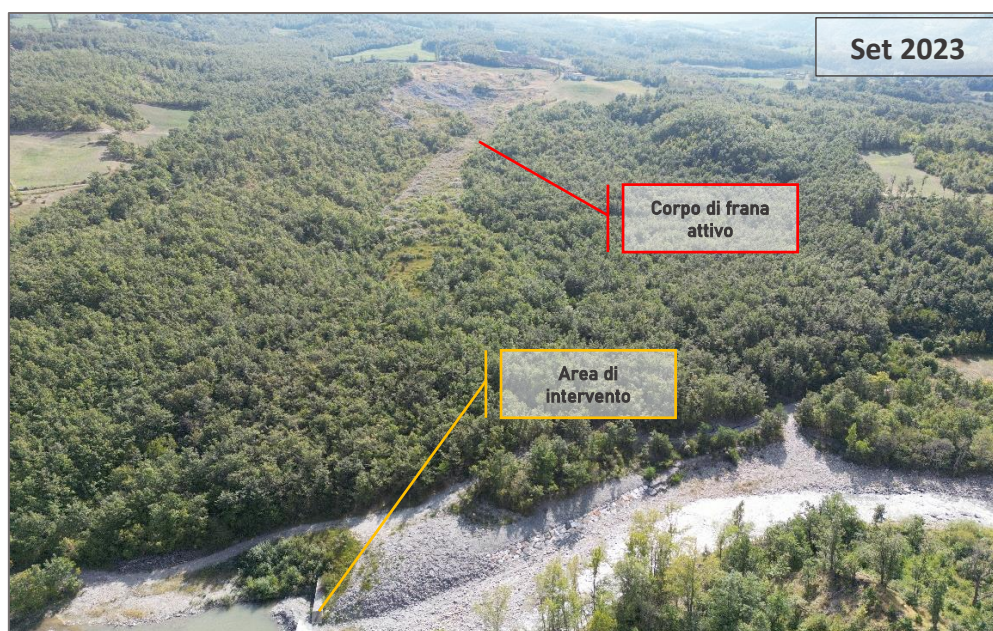


Fig. 4.8: Visuale panoramica aerea del versante incidente sulla sponda destra del T. Scoltenna.

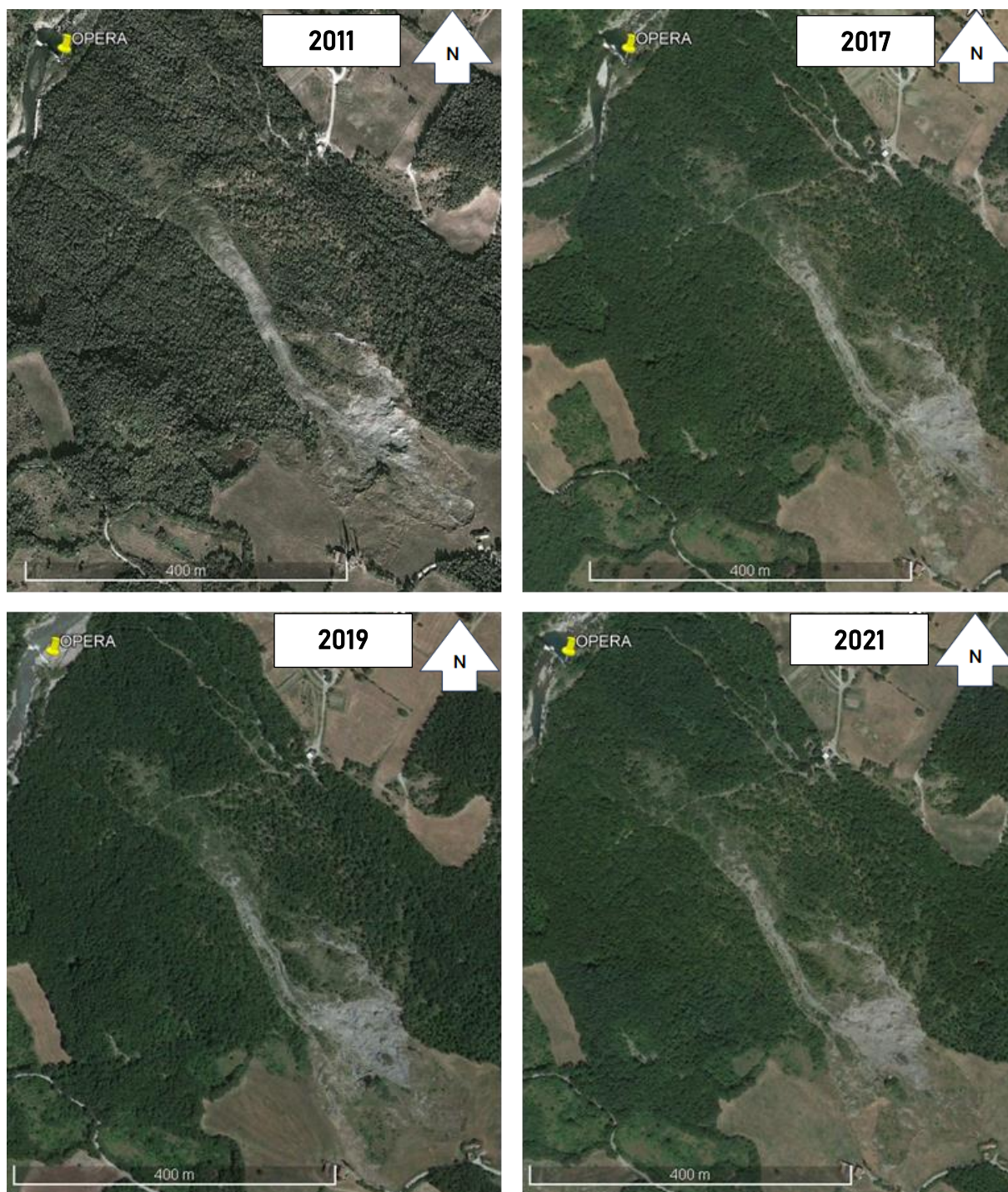


Fig. 4.9: Ricostruzione multi-temporale del tratto di alveo del T. Scoltenna interessato dall'opera. (fonte: Google Earth)

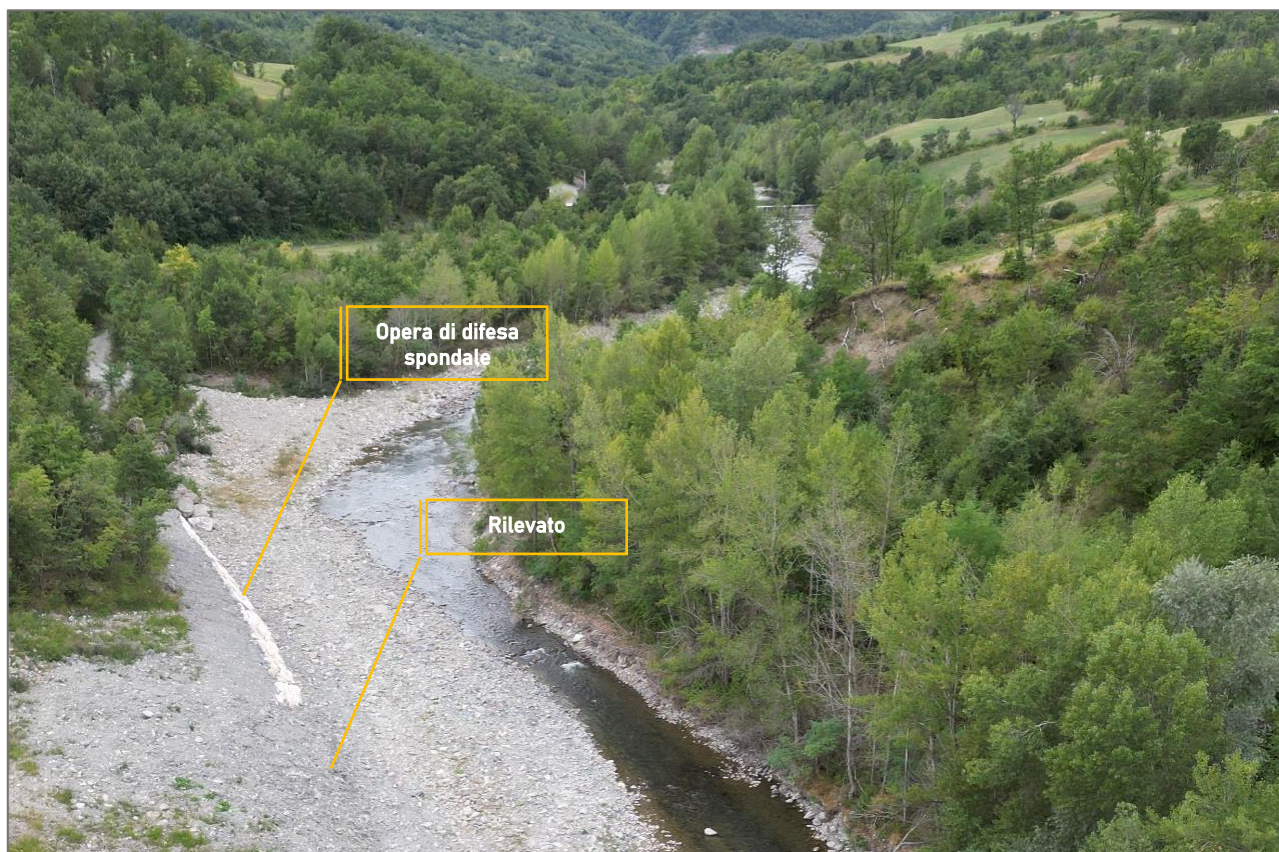
Sulla base di quanto esposto pocanzi e considerando il tipo di cinematismo coinvolto si ritiene necessario, per l'esecuzione del presente progetto, introdurre un adeguato programma di monitoraggio dell'area interessata da dissesto, volto a controllare l'eventuale evoluzione nel tempo del fenomeno franoso in difesa dell'opera oggetto del presente studio. Tale programma sarà debitamente trattato nel Cap. 5.4.



### 4.2.3. Cambiamenti morfologici legati ai lavori svolti

Ai fini di cui sopra, si è infine reso necessario valutare le possibili variazioni morfologiche di dettaglio dovute all'avanzamento dei lavori e alla conseguente movimentazione di materiale internamente al perimetro dell'area di intervento. Nel particolare, i lavori sinora svolti hanno riguardato essenzialmente operazioni di rimodellamento e ripristino della sede d'alveo fluviale e introduzione di misure di difesa spondale, interventi in ogni caso migliorativi e che non hanno portato alla luce particolari nuove criticità.

Si è ritenuto opportuno, a fini di aggiornamento e nel rispetto delle nuove normative vigenti, ripetere le analisi di stabilità sul pendio naturale rimodellato e con l'aggiunta dell'opera di difesa spondale ora esistente, tenendo conto della nuova morfologia in essere (comunque già ipotizzata in sede del precedente progetto legittimato). Tali analisi saranno esposte nel capitolo successivo.



*Fig. 4.10: Panoramica degli interventi sinora svolti.*



### 4.3. VALUTAZIONI TECNICHE SULLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

Considerando quanto emerso dal quadro conoscitivo relativo all'attuale stato di fatto, sono state avanzate in occasione del presente aggiornamento nuove possibili varianti di progetto, finalizzate all'adattamento e ottimizzazione del manufatto oggetto di studio soprattutto in considerazione dei cambiamenti avvenuti al contorno e dell'attuale stato di avanzamento dei lavori. Tali varianti progettuali si rendono necessarie, in primo luogo, a fronte dello stato di criticità dell'esistente briglia sede di intervento già esposto nei paragrafi precedenti, nonché alle variazioni al contorno generate dall'inserimento a valle di una briglia aggiuntiva di nuova costruzione, la cui presenza ha alterato la sezione altimetrica d'alveo e, con essa, gli equilibri di flusso e le velocità delle acque considerate nelle precedenti progettazioni (vedasi Studio di Impatto Ambientale e Relazione Idraulica per informazioni più approfondite).

Rimandando alla specifica documentazione per i dettagli (vedasi Studio di Impatto Ambientale, Relazione Tecnica, Relazione Idraulica e Relazione Paesaggistica), è oggetto delle varianti progettuali citate pocanzi la sostituzione della briglia attualmente esistente con una nuova briglia, delineando tre possibili scenari:

- 0) Scenario 0 – Stato di Fatto:** Non intervento, mantenimento della situazione attuale con la Briglia Fosso Camoscio collassata
- 1) Scenario 1 – Briglia Bassa:** Ripristino della Briglia Fosso Camoscio alla quota dello stato autorizzato (500.47 m)
- 2) Scenario 2 – Briglia Alta:** Ripristino della Briglia Fosso Camoscio ad una quota più alta (502.27 m)

È in questa sede ritenuto opportuno valutare gli effetti di tali scenari dal punto di vista della stabilità locale (alla scala dell'opera) e globale (alla scala di versante), anche e soprattutto in considerazione della presenza di corpi di dissesto attivi incombenti a monte dell'opera. Mentre per quanto riguarda la stabilità locale si rimanda alle analisi di stabilità svolte e riportate nel successivo Capitolo 5 della presente relazione, per quanto concerne l'interazione tra gli scenari ipotizzati e la stabilità alla scala di versante si può certamente affermare che qualsiasi intervento volto a diminuire l'energia del corso d'acqua – e di

conseguenza il potere erosivo e di trasporto – attraverso rimodellazione altimetrica e/o opere di controllo della velocità dell'acqua, possa costituire un apporto migliorativo in termini di stabilità. Nella fattispecie degli scenari previsti, il miglioramento per la stabilità di versante è crescente passando dallo scenario 0 allo scenario 1, e ancor più risulta migliorativo nel caso dello scenario 2: in ciascuno dei casi, infatti, è maggiore la diminuzione della pendenza della sezione d'alveo, riduzione alla quale consegue una diminuzione della velocità e del potere erosivo al piede delle frane incombenti sull'alveo torrentizio.



Fig. 4.11: Ubicazione dell'opera, comprensiva di briglia ricostruita, secondo il progetto 2023.

## 5. INTEGRAZIONI

### 5.1. ADEGUAMENTO NORMATIVO

La Relazione Geologica del progetto legittimato è stata svolta in ottemperanza al quadro normativo allora vigente (classificazione sismica territoriale di cui all'Ordinanza del PCM n° 3274/2003 e Norme Tecniche per le Costruzioni da D.M. 14.01.2008). L'introduzione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018) rende necessario l'adeguamento della progettazione alle NTC 2018 attualmente in vigore, introducendo in particolare:

- Per quanto concerne l'analisi di sismicità, un adeguato approfondimento dello studio della risposta sismica locale;
- Per quanto concerne l'analisi di stabilità sul fronte di scavo aperto per l'esecuzione dell'opera di presa della centrale, l'utilizzo dei cosiddetti "Design Approach" e lo svolgimento delle suddette analisi con l'adeguata parametrizzazione di progetto.

### 5.2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

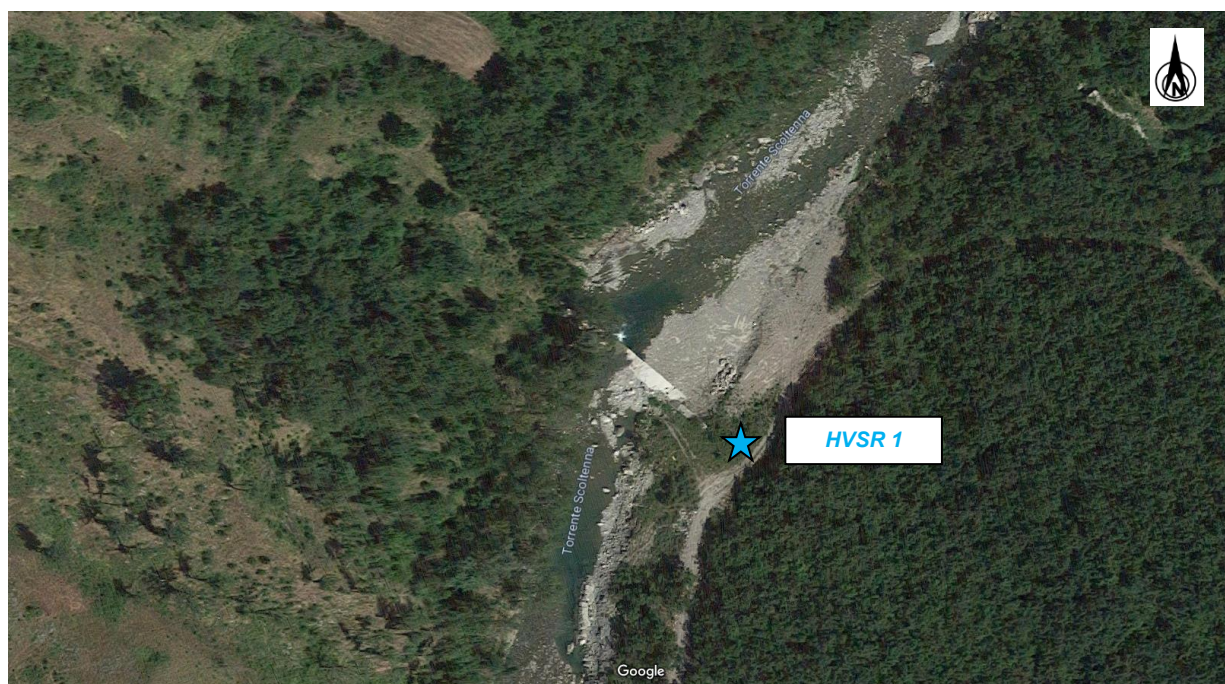
#### 5.2.1. Indagine sismica HVSR

Per la caratterizzazione sismica dell'area di studio sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- n. 1 indagine sismica HVSR (eseguita in data 26/09/2023)

L'ubicazione dell'indagine sismica è riportata nella **Tav. 6** e in Fig. 5.1, mentre il risultato è riportato integralmente nell'**Allegato n. 2**.





*Fig. 5.1: Ubicazione delle indagini sismiche eseguite nell'area di interesse in data 26/09/2023.*

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di **indagine sismica passiva HVSr** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura*) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato. Tramite l'elaborazione di moti superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai moti superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSr) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. Negli ultimi anni si è affermata anche per la sua versatilità poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

La tecnica **HVSr** è totalmente **non invasiva**, **molto rapida**, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni

esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un "velocimetro triassiale" conforme alle norme SESAME.

I risultati che si possono ottenere da indagini sismiche HVSR sono:

- La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto **dimensionamento degli edifici antisismici**. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- La **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se, in caso di sisma, la costruzione potrà essere o meno a rischio.
- La **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica **HVSR**, in termini di **stratigrafia del sottosuolo**, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto d'impedenza**, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Dall'analisi HVSR eseguita in sito, e riportata integralmente nell'**Allegato n.2**, è stato individuato un picco H/V di probabile origine stratigrafica alla frequenza **4.71 ± 1.18 Hz** (nell'intervallo 0.0 – 30.0 Hz) che però non rispetta i criteri SESAME.

#### **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC 2018)**

Per determinare il parametro Vs30 e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche descritte nel precedente paragrafo. L'elaborazione delle indagini sismiche sopra citate restituisce un grafico che riporta la curva di dispersione attraverso un'immagine a colori che mostra il profilo delle velocità delle onde di Rayleigh come velocità di fase e frequenza. Analizzando tale grafico si ottiene un modello teorico dell'andamento delle Vs con la profondità fino ad una quota di -30.00 m dal piano di posa delle fondazioni, attraverso la formula:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Dall'elaborazione dell'indagine sismica HVSR eseguita presso il lotto in oggetto, si è ottenuto il valore di VS30 pari a:  **$V_{s,30} = 462 \text{ m/s}$** .

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il terreno dell'area studiata come appartenente alla **categoria B**, corrispondente a:

**ROCCE TENERE E DEPOSITI A GRANA GROSSA MOLTO ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINE MOLTO CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30M, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETA' MECCANICHE CON LA PROFONDITA' DA VALORI DI Vs 30 COMPRESI TRA 360 m/s E 800 m/s.**

#### AZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA DEL SITO

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Montecreto (MO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3 (Fig. 5.2)**.

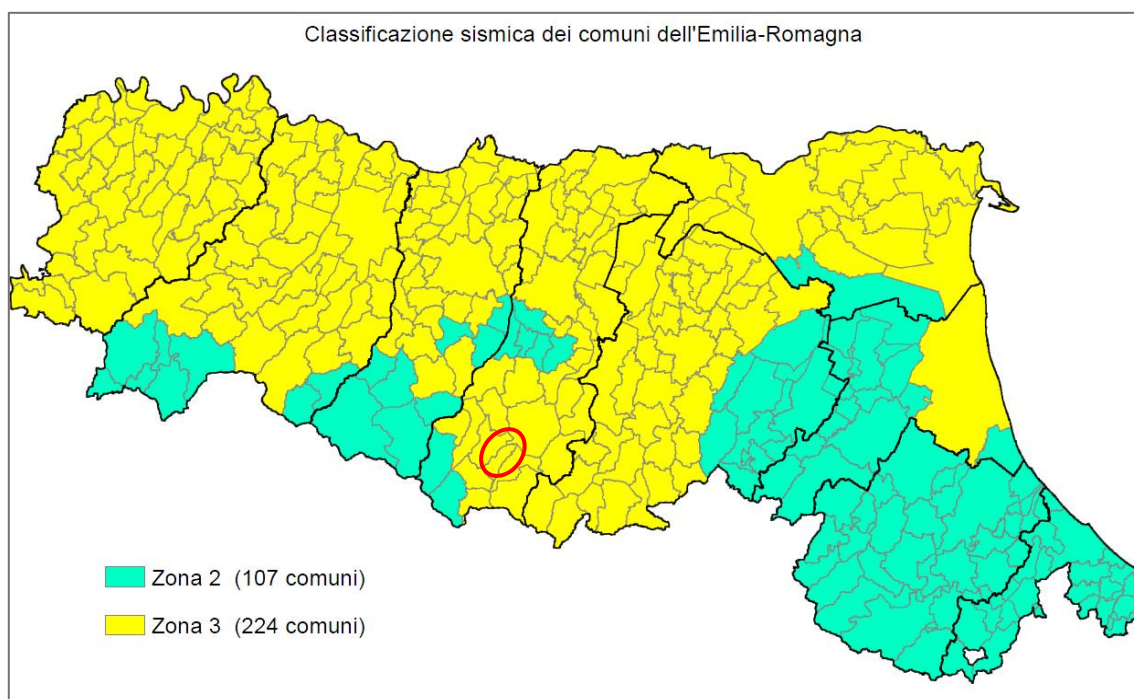


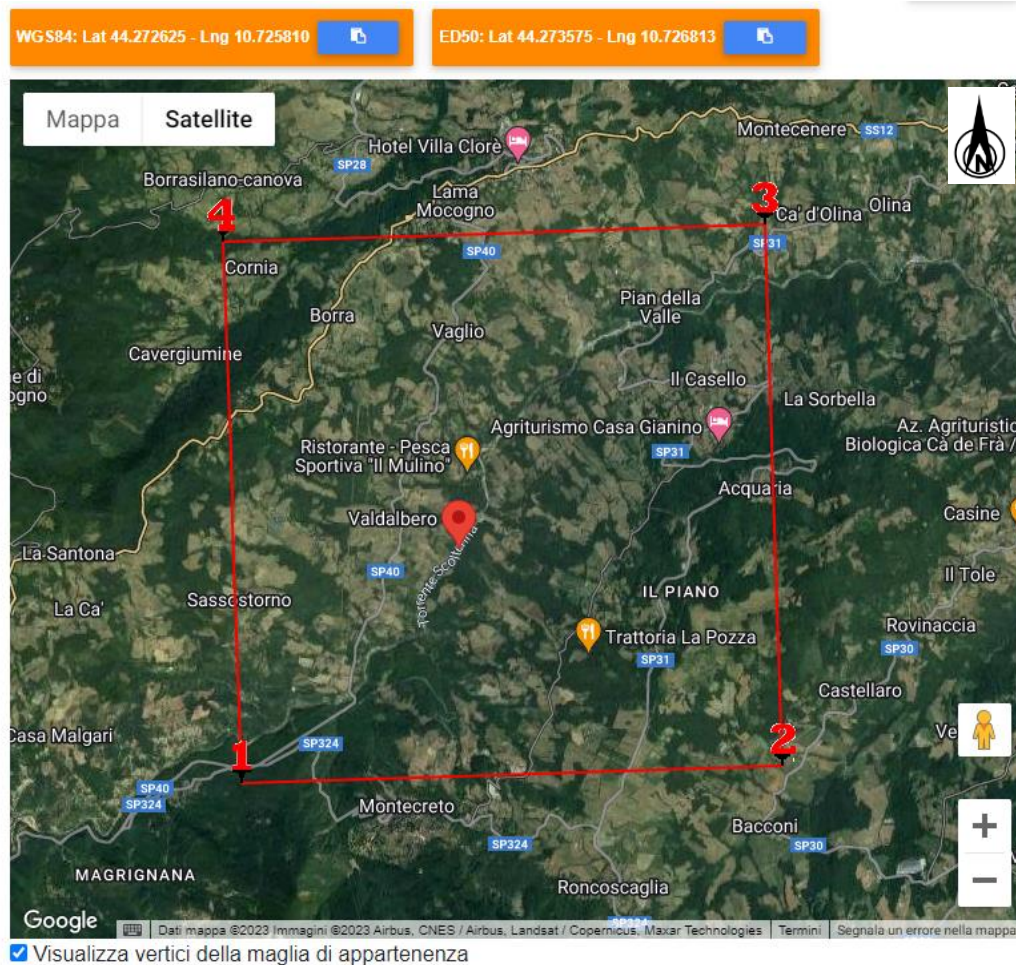
Fig. 5.2: Classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna (DGR 1164/2018).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M.



14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.273575°, Longitudine: 10.726813°, in relazione a un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  pari a:  **$a_{g \text{ attesa}} = 0.167$**



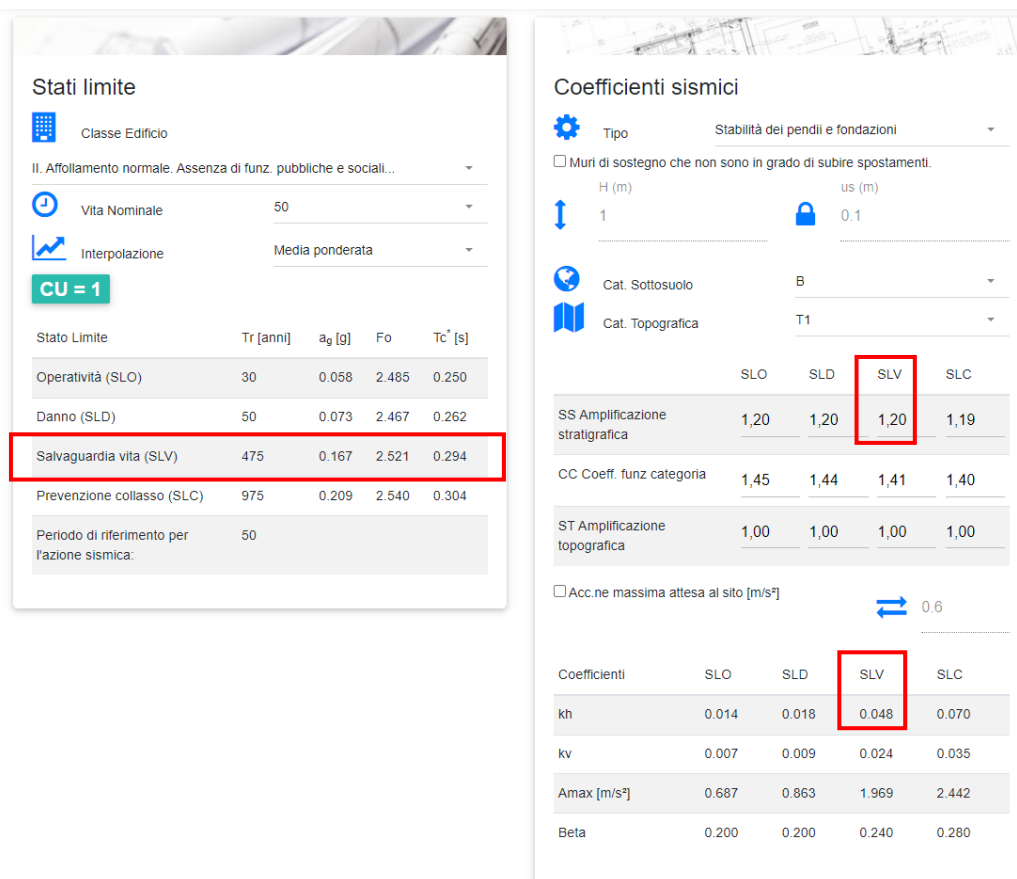


Fig. 5.3: Parametri sismici caratteristici della maglia di punti riportata in figura, in cui ricade l'area oggetto del presente studio (da [www.geostru.com/us/parametri-sismici/](http://www.geostru.com/us/parametri-sismici/))

L'accelerazione orizzontale di picco attesa  $a_g$  è definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione  $a_g$  rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri  $F_0$  e  $T_c^*$  dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sopra. Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **Categoria B**.



Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale  $a_g$  si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di  $a_g$  in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico  $S_s$ , essendo in classe B, si avrà:

$$0.0 \leq S_s = 1.40 - (0.40 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1.20$$

dove:

- $F_o$  = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.521**;
- $a_g/g$  = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **475** anni/accelerazione di gravità;
- $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1; per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.20**.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si calcola il fattore topografico  $S_T$  dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	<b>1.0</b>
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	<b>1.2</b>
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	<b>1.2</b>
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	<b>1.4</b>

Per l'area studiata, sita, come suddetto in una zona con inclinazione media modesta e appartenente, quindi alla categoria topografica **T1**, si ottiene un fattore topografico  $S_T$  pari a **1.0**.

In base a tali valori del fattore stratigrafico  $S_s$  e del fattore topografico  $S_T$  si procede al calcolo dell'accelerazione massima orizzontale  $A_{max}$ :

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.0 \cdot 0.167g = 0.200g$$

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Fosso di Camoscio	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO Numero Doc / Doc. Number	Pag. 40 a 59

### *ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE – III livello di approfondimento*

Dato che l'area in studio ricade in un'area interessata da depositi di frana quiescente, è stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno studio di **risposta sismica locale**, secondo III livello di approfondimento.

Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato al § 7.11.3 delle NTC 2018, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas – Austin).

Ai fini della restituzione degli spettri di accelerazione, relativi allo stato limite SLV, è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo lineare equivalente.

Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di **rigidezza** e **smorzamento** che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. Attraverso un'iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore  $H$ , del modulo di taglio massimo  $G_{\max}$  o dalla corrispondente velocità massima  $V_{\max}$ , dal valore dello smorzamento  $D$ , dal peso dell'unità di volume  $\gamma$  e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ( $G/G_0-\gamma$ ) e le corrispondenti curve dello smorzamento ( $D-\gamma$ ) con la deformazione di taglio  $\gamma$ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza ( $G$ ) e dallo smorzamento ( $D$ ). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato ( $u$ ) è funzione della profondità ( $z$ ) e del tempo ( $t$ ):



$$u(z,t) = A \exp[i(\omega t + k^* z)] + B \exp[i(\omega t - k^* z)]$$

Nell'equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore  $k^*$  risulta dipendente dal modulo di taglio ( $G$ ), dal grado di smorzamento ( $D$ ) e dalla densità del terreno ( $\rho$ ). Le relazioni sono le seguenti:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}$$

$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}}$$

$$G^* = G(1 - 2D^2 + i2D\sqrt{1 - D^2}) \simeq G(1 + i2D)$$

Dove  $G^*$  e  $v_s^*$  rappresentano il modulo di taglio e la velocità di taglio.

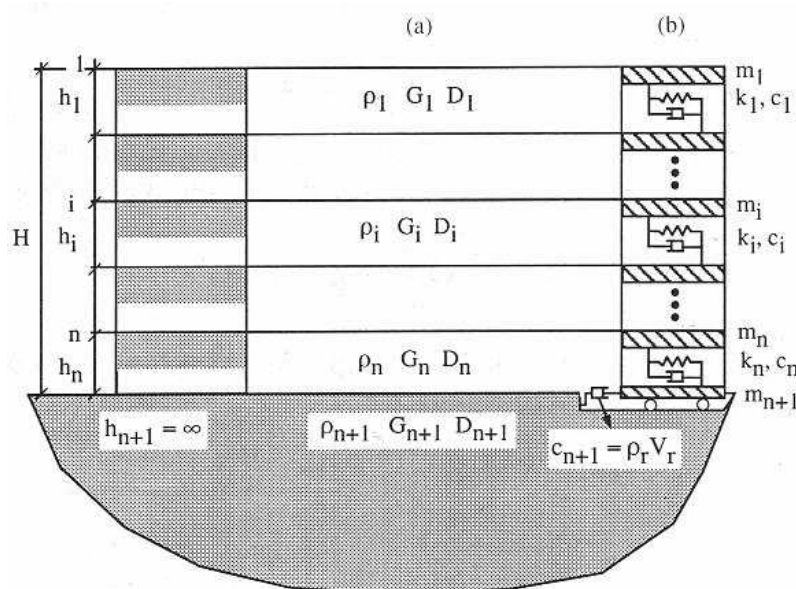


Fig.5.4: Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

## MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalle prove che compongono la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite, e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione dell'indagine HVSR eseguita in sito, integrato con dati bibliografici. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

Modello geofisico medio			
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
10.00	10.00	350	0.45
30.00	20.00	550	0.45
inf.	Inf.	800	0.45

### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

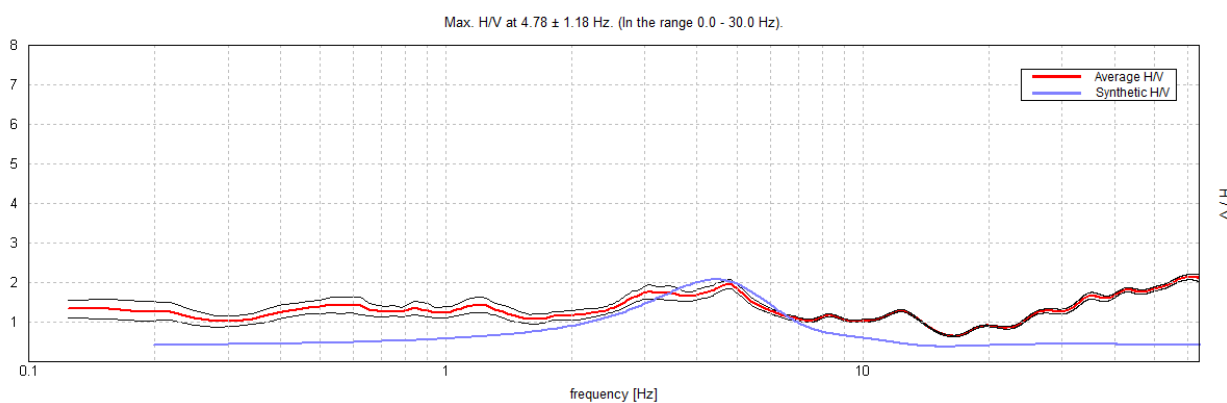


Fig.5.5: Elaborazione HVSR.

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidità e smorzamento, al variare della deformazione percentuale  $\gamma(\%)$ . Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:

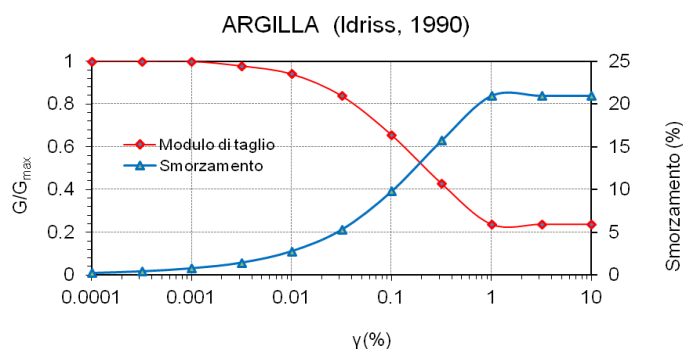


Fig.5.6: Curva di decadimento dei moduli  $G/G_{max}$  e  $D$ , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

Trattandosi di una verifica diretta ai fini progettuali, in accordo con quanto esposto nel § 7.3 delle NTC 2018, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 30



accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi reali e misurati, sono stati individuati mediante l'utilizzo del software REXEL v. 3.5 (Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures) realizzato dal Dipartimento di Strutture per l'ingegneria e l'architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Utilizzando le coordinate relative al sito di riferimento, considerando una categoria di sottosuolo A e una classe d'uso pari a II e una vita nominale pari a 50 anni, sono stati definiti n. 30 accelerogrammi per lo stato limite SLV. Gli accelerogrammi sono stati prelevati dal "European Strong-motion Database".

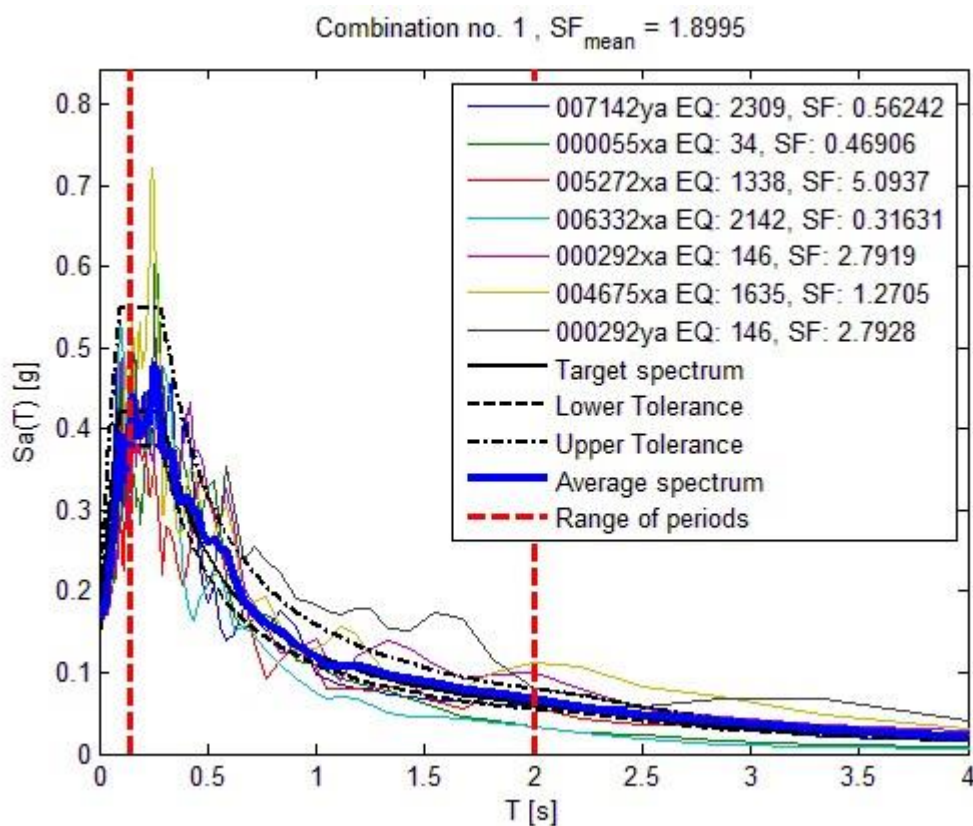
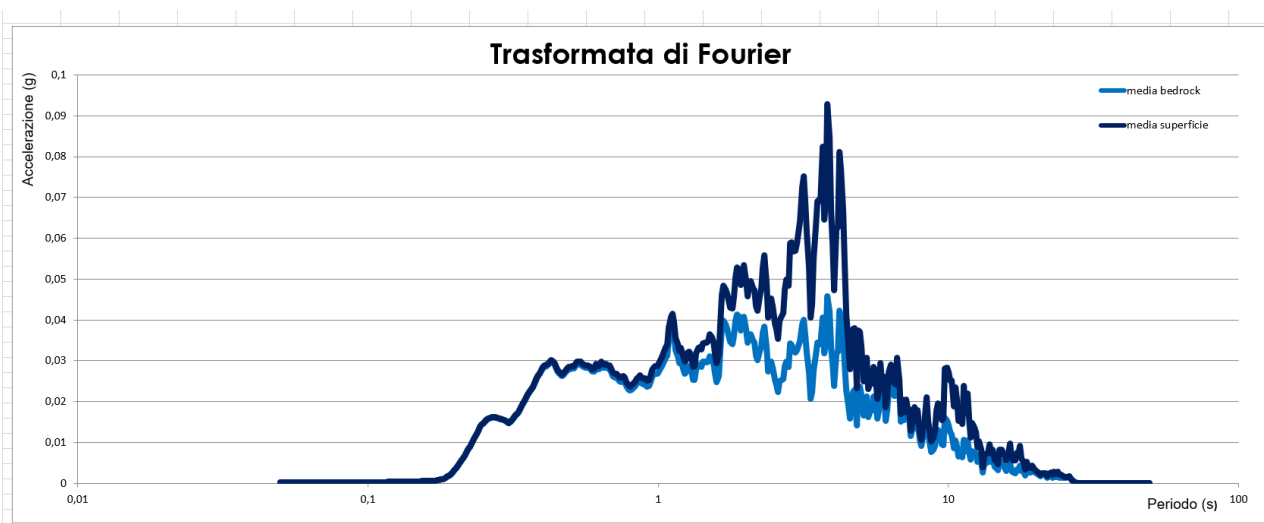
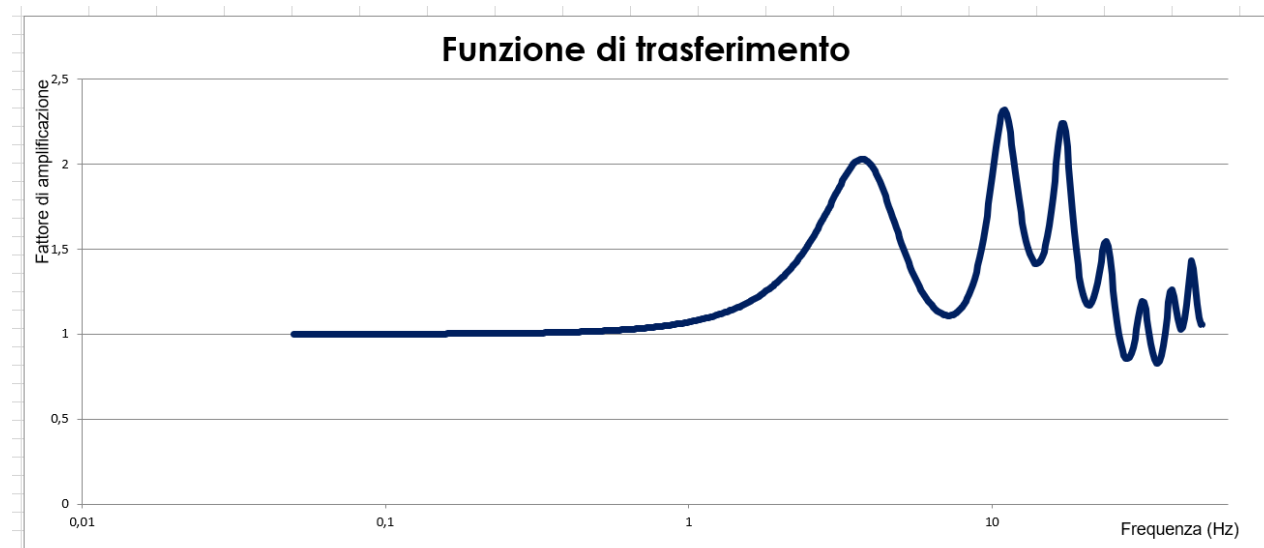


Fig.5.7: Forme spettrali relative agli accelerogrammi considerati.

## RISULTATI OTTENUTI

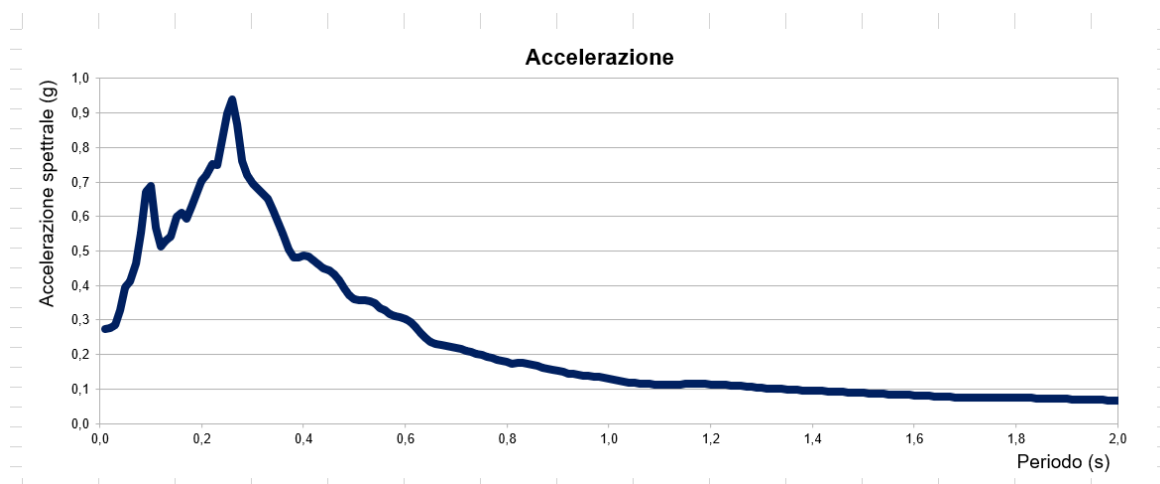
Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, è stato possibile definire, nel dominio delle frequenze, la funzione TF (Funzione di trasferimento) e rapporto spettrale di amplificazione associato. Per via grafica si inserisce successivamente la funzione di trasferimento TF ottenuta a seguito dell'analisi RSL in oggetto. Attraverso tale funzione è possibile definire il campo di frequenze entro il

quale il sottosuolo, in corrispondenza del sito in oggetto, amplifica il segnale sismico, oltre che a quantificare l'amplificazione stessa.

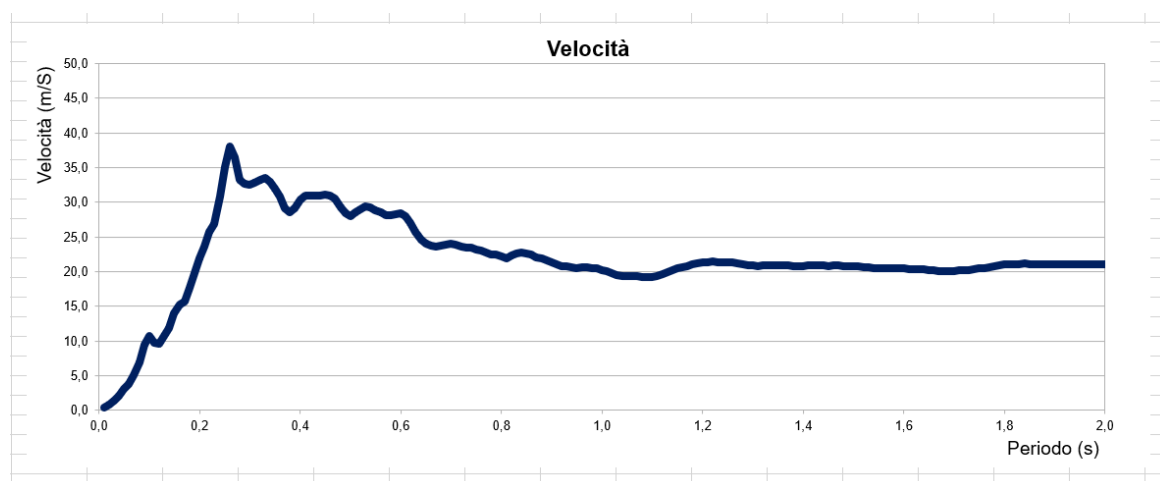


*In alto Funzione di Trasferimento e in basso funzione FT.*

Definiti i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare equivalente e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il sito in oggetto, attraverso il software STRATA sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:



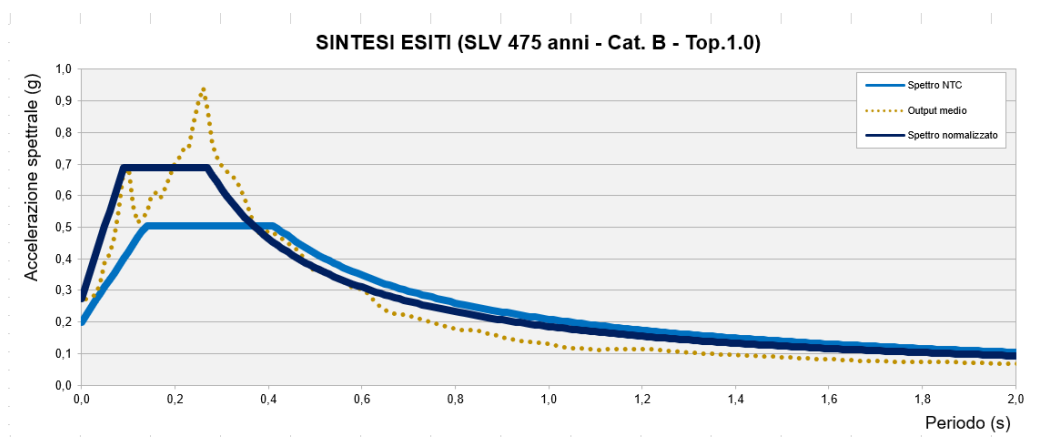
*Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)*



*Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV).*

Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il software STRATA. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".





*Sintesi esiti RSL e confronto con spettro NTC2018 (SLV) derivato secondo approccio semplificato*

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 30 simulazioni definisce un'azione sismica **superiore** rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 (per l'area in esame pari a  $A_{max}=0.200$  g) per una categoria di sottosuolo di tipo B. In forza di ciò **risulta ragionevole e cautelativo adottare, ai fini di progettazione, l'azione sismica derivabile secondo RSL**. Si illustra successivamente, in forma tabellare, lo spettro RSL per punti e il suo corrispettivo normalizzato.

SLV – PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO – RSL						
ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.167	2.515	0.294	0.09	0.27	1.64	<b>0.274</b>

## RSL NORMALIZZATO SLV

Per quanto riguarda il calcolo della  $K_h$ , si ottiene (par.7.11.3.5.2 NTC2018):

$$K_h = \beta_s \times a_{max}/g$$

Dove per il sito in esame:

$$\beta_s = 0,24$$

$$\text{Quindi: } K_h = \beta_s \times a_{max} = 0,24 \times 0,274 = 0,066$$

### 5.3. ANALISI DI STABILITÀ AI SENSI DELLE VIGENTI N.T.C. 2018

A integrazione e aggiornamento della precedente relazione si è ritenuto necessario ripetere le analisi di stabilità relative al pendio adiacente alla sponda destra del T. Scoltenna, rispettando i criteri di analisi previsti dalle ora vigenti Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018). Le analisi sono state condotte considerando l'attuale stato dei luoghi e tenendo conto dei possibili scenari progettuali introdotti nel precedente Capitolo 4.3, prendendo dunque in analisi le possibili soluzioni di intervento per di rifacimento alla briglia di regimazione ospitante l'opera in oggetto.

#### 5.3.1. Normativa di riferimento

Le verifiche di stabilità sono state eseguite in riferimento a condizioni a **lungo termine** e tenendo **considerando l'azione sismica in modalità pseudo-statica** definita nel Capitolo 5.1 della presente relazione. Per la suddetta verifica si è considerato l'approccio 1 combinazione 2 (A2+M2+R2) secondo quanto esposto nella normativa tecnica nazionale NTC 2018 al par. 6.8.2, che nel caso di approccio sismico in modalità pseudo-statica prevede un fattore di sicurezza minimo pari a 1.2. In ottemperanza alle suddette norme (rif. Cap. 7.11.4 NTC 2018) le analisi sono state svolte in riferimento allo Stato Limite Ultimo per la Salvaguardia della Vita (SLV) e considerando un terreno di categoria B e una categoria topografica T1 ( $k_n=0.066$  considerando un  $\beta_s$  pari a 0.24).

#### 5.3.2. Modello del terreno e sezione di riferimento

La modellazione topografica dell'area di interesse è stata ricavata attraverso l'utilizzo del Digital Terrain Model della Regione Emilia-Romagna con risoluzione a 5 m, integrato nella zona d'alveo e fino alla strada sterrata parallela al corso del torrente con l'elaborazione di modelli di elevazione ad alta precisione acquisiti con drone, opportunamente calibrati con l'utilizzo di N°4 GCP (Ground Control Point) rilevati attraverso antenna GNSS. Tale procedura ha permesso di ottenere un modello digitale di elevazione ad alta precisione, dal quale è stata ricavata la sezione topografica di riferimento per l'analisi di stabilità esposta nell'immagine seguente, ritenuta la più rappresentativa e cautelativa.

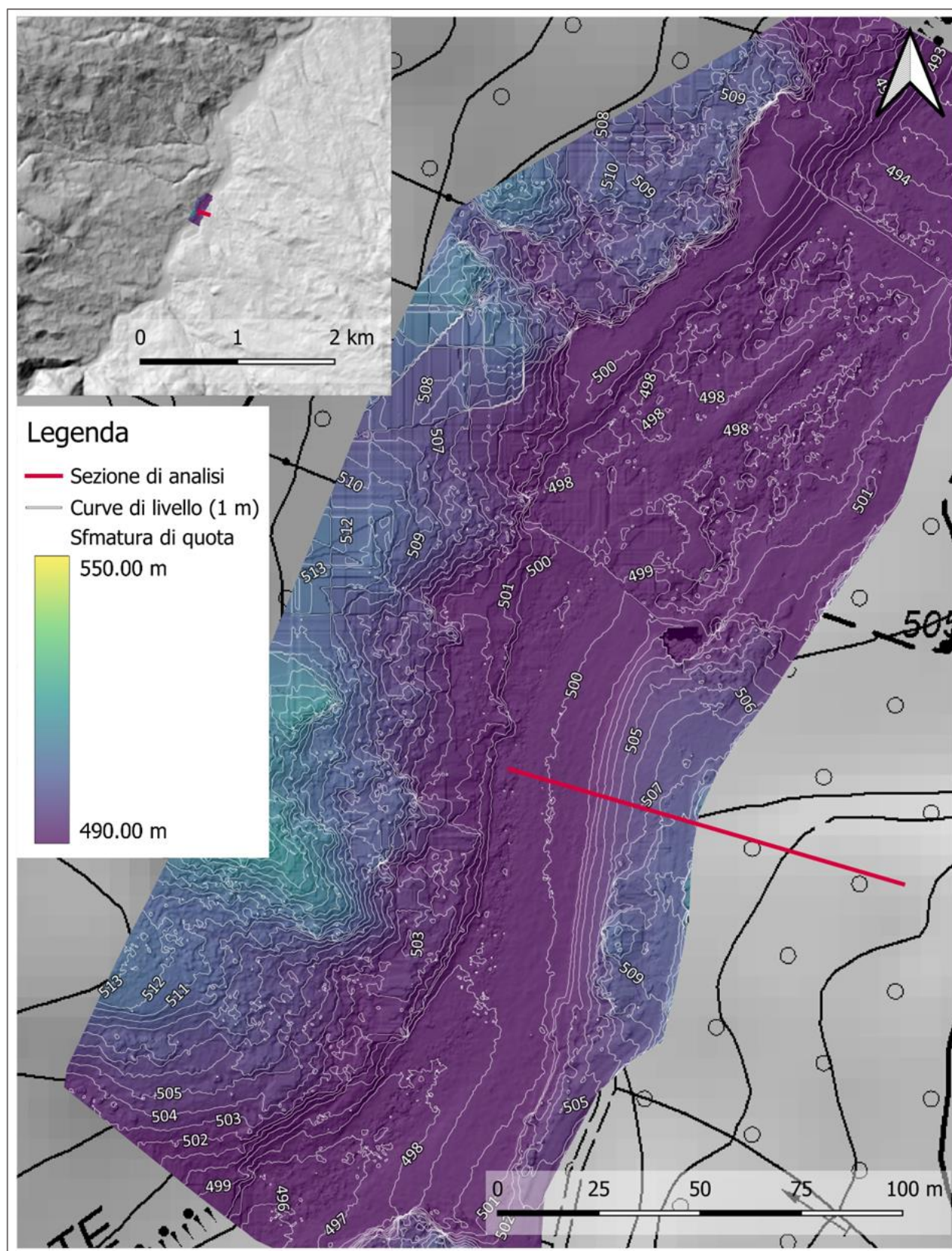


Fig. 5.8: Modello digitale del terreno (DTM) e ubicazione della sezione per l'analisi di stabilità.



### 5.3.3. Parametri geotecnici caratteristici e di progetto

Sulla base dei modelli di riferimento definiti nella precedente Relazione Geologica di progetto legittimato, sono stati definiti i parametri geotecnici associabili ai terreni componenti la porzione di pendio in analisi. Tali valori, inizialmente attribuiti a materiali riconducibili alla Formazione delle Argille a Palombini, risultano, alla luce delle nuove osservazioni, associabili a detriti più eterogenei, rimaneggiati e degradati dai movimenti di versante che li hanno portati nell'attuale posizione, e di derivazione non unicamente riconducibile alle Argille a Palombini, ma anche alla formazione delle Arenarie di Scabiazza.

Considerando comunque il carattere ampiamente cautelativo dei parametri associati a tale materiale, si è ritenuto sufficiente mantenere gli stessi valori adottati nella relazione precedente. I parametri utilizzati per le analisi di stabilità sono riportati nella tabella seguente:

Parametro	Valore caratteristico	Coeff. riduzione	Valore di progetto	Unità di misura
Peso di volume $\gamma$	18.5	1.0	18.5	kN/m <sup>3</sup>
Angolo d'attrito interno $\phi'$	10	1.25	8	°
Coesione efficace $c'$	15	1.25	12	kPa
Coesione non drenata $C_u$	29.4	1.4	21	kPa

### 5.3.4. Verifica di stabilità – Metodologia di calcolo (LEM)

Il metodo LEM (Metodo equilibrio limite) analizza l'equilibrio di una massa potenzialmente instabile e consiste nel calcolare, lungo una determinata superficie di rottura, il rapporto tra le forze resistenti e quelle destabilizzanti. Tale metodo si basa sulla selezione di una superficie di scivolamento teorica, sul criterio di rottura Mohr-Coulomb e nella definizione di un fattore di sicurezza. Il fattore di sicurezza viene definito dalla seguente relazione:

$$\frac{\text{Forze stabilizzanti (Tensioni tangenziali di resistenza)}}{\text{Forze destabilizzanti (Tensioni tangenziali di scivolamento)}} = \text{Fattore di sicurezza}$$

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Fosso di Camoscio	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO Numero Doc / Doc. Number	Pag. <b>50 a 59</b>

I metodi all'equilibrio limite si suddividono in metodi che classificano lo scivolamento in blocco o della massa totale e metodi che considerano la massa divisa in conci verticali. La seconda metodologia, adottata nel caso presente, permette di considerare materiali non omogenei e comporta una serie di ipotesi sulla posizione e sulla distribuzione delle forze che agisce sui conci; il calcolo delle forze agenti si effettua per ciascuno dei conci nei quali è stata suddivisa la scarpata, con integrazione finale dei risultati ottenuti. Il metodo impiegato, basato sull'analisi dei conci, è quello di Bishop semplificato (1955).

Il metodo di Bishop risulta così articolato:

- I. Si ipotizza una superficie di rottura circolare;
- II. Il terreno viene suddiviso in n conci o fasce verticali;
- III. Si impone l'equilibrio dei momenti delle forze agenti in ciascun concio rispetto al centro del cerchio;
- IV. Dalla condizione di equilibrio delle forze verticali in ciascun concio si ottengono le forze N (normali alla superficie di rottura) e si sostituiscono nell'equazione risultante dell'equilibrio dei momenti;
- V. Il metodo di Bishop semplificato ipotizza che le forze di contatto tra i due conci adiacenti non influiscano, essendo in equilibrio;

Dato che il fattore di sicurezza ottenuto F non compare nell'espressione di Bishop in modo esplicito è necessario realizzare varie iterazioni per ottenere il suo valore. Una volta ottenuto il coefficiente di sicurezza F della superficie considerata, si ipotizza un'altra superficie circolare e si determina il nuovo valore di F, e così via fino a ottenere quello minimo. Normalmente con queste espressioni si scelgono e si analizzano cerchi con diversi centri e raggi, fino a trovare quello che fornisce il valore minimo F.

L'analisi secondo metodologia Bishop è stata espletata mediante il software SLIDE (ROCSCIENCE) ver. 5.0. Successivamente si illustra un compendio sintetico riguardo alla metodologia di analisi LEM secondo Bishop (1955).



## Riquadro 9.4

### Il metodo di Bishop semplificato

A partire dalle forze che agiscono su ciascuno dei conci considerati lungo la scarpata, si stabilisce l'equilibrio di momenti:

$$\Sigma S \cdot R = \Sigma W \cdot x = \Sigma W \cdot R \sin \alpha$$

Come:

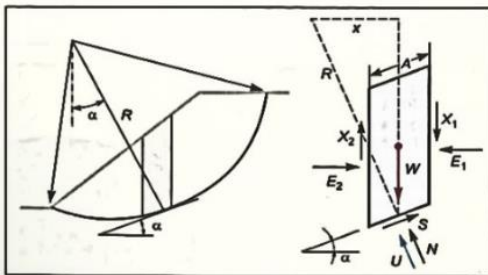
$$F = (cA + N \tan \phi) / S$$

il valore di  $S$  è:

$$S = (cA + N \tan \phi) / F$$

quindi:

$$\Sigma \frac{cA + N \tan \phi}{F} R = \Sigma (WR \sin \alpha)$$



**Figura A** Forze che agiscono in un conio.

$$F = \frac{\Sigma (cA + N \tan \phi)}{\Sigma (W \sin \alpha)}$$

Per ricavare l'incognita  $N$ , si stabilisce l'equilibrio verticale del conio:

$$W + \Delta X = N \cos \alpha + U \cos \alpha + S \sin \alpha$$

sostituendo  $S$  e ricavando  $N$  si ottiene:

$$N = \frac{W + \Delta X - U \cos \alpha - [(cA + N \tan \phi) / F] \sin \alpha}{\cos \alpha}$$

da cui:

$$N = \frac{W + \Delta X - [(cA \sin \alpha) / F] + U \cos \alpha}{\cos \alpha + [(\tan \phi \sin \alpha) / F]}$$

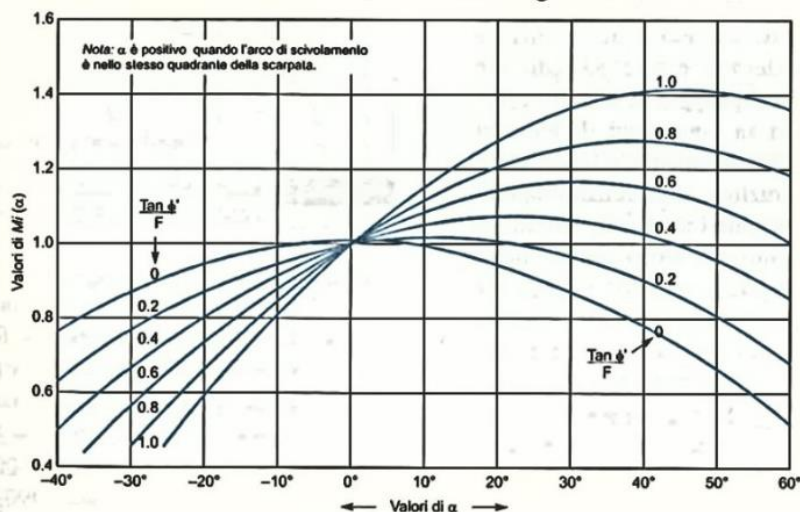
e il coefficiente di sicurezza risulta (considerando  $\Delta X=0$ ):

$$F = \frac{\Sigma [cA \cos \alpha + (W - U \cos \alpha) \tan \phi] [1 / Mi(\alpha)]}{\Sigma W \sin \alpha}$$

dove:

$$Mi(\alpha) = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F} \right)$$

Per il calcolo di  $Mi(\alpha)$  si può utilizzare l'abaco della Figura B.



**Figura B** Abaco per ottenere il valore di  $Mi(\alpha)$  dell'espressione di Bishop.



### 5.3.5. Verifica di stabilità – Scenario 0 (stato di fatto)

Si riportano in seguito le analisi di stabilità relative al cosiddetto “Scenario 0”, corrispondente al “non intervento” e al mantenimento dell’attuale stato di fatto. Come introdotto nel precedente capitolo 4.2.1 si è ritenuto opportuno non considerare il contributo di sostegno da parte della struttura di difesa spondale attualmente presente a tergo della scarpata analizzata, essendo stati in essa riscontrati danni attribuibili agli eventi di piena della scorsa primavera e non potendo quantificare l’entità di tali danni. La scarpata è stata quindi analizzata, in maniera cautelativa, come priva di sostegni strutturali di alcun tipo.

#### RISULTATI

I risultati delle analisi svolte lungo la sezione di verifica relativa al rilevato, esposti nella figura e nella tabella seguente, dimostrano una condizione di stabilità precaria nella scarpata oggetto di intervento, con un punteggio di FS minimo pari a **1.067**.

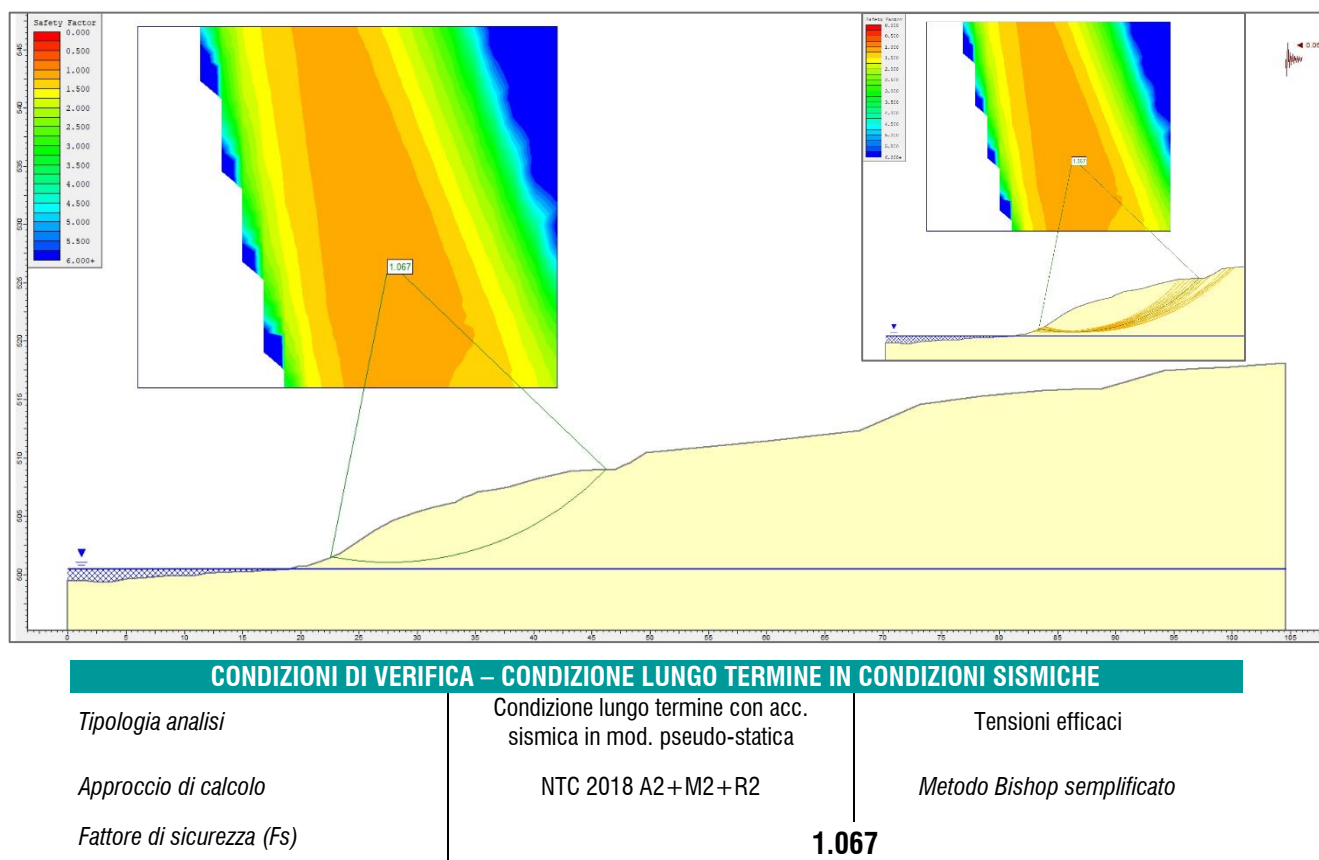


Fig. 5.10: Risultati delle analisi di stabilità svolte (in alto a DX: n°25 superfici a minor FS ottenute)

### 5.3.6. Verifica di stabilità – Scenario 1 (Briglia bassa)

Seguono sotto le analisi di stabilità relative al cosiddetto “Scenario 1”, corrispondente al ripristino della Briglia Fosso Camoscio alla quota dello stato autorizzato (500.47 m). L'intervento prevede la messa in opera di gabbionate per la difesa spondale, estremamente importanti per la difesa dall'erosione e in grado allo stesso tempo di migliorare, come opere di sostegno gravitativo, la stabilità della scarpata in analisi. Considerando trascurabile l'innalzamento del livello dell'acqua dovuto alla briglia bassa prevista nello scenario 1, è stato mantenuto un livello di falda pari al caso precedente.

#### RISULTATI

I risultati delle analisi svolte lungo la sezione di verifica relativa al rilevato, esposti nella figura e nella tabella seguente, dimostrano una condizione di sostanziale stabilità nella scarpata oggetto di intervento, con un punteggio di FS minimo pari a **1.281**, miglioramento certamente dovuto all'inserimento delle gabbionate di sostegno e difesa spondale.

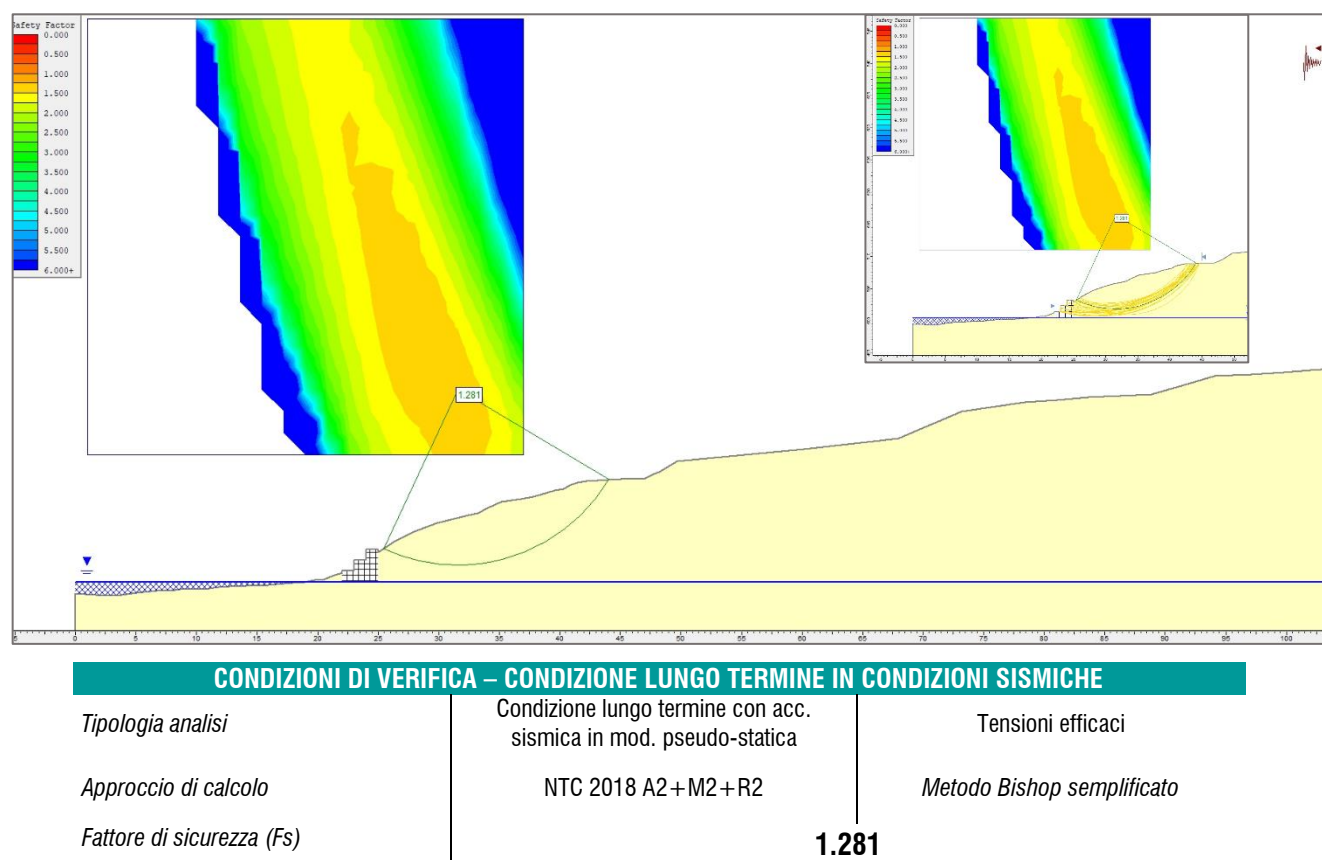


Fig. 5.11: Risultati delle analisi di stabilità svolte (in alto a Dx: n°25 superfici a minor FS ottenute)

### 5.3.7. Verifica di stabilità – Scenario 2 (Briglia alta)

Seguono infine le analisi di stabilità relative al cosiddetto “Scenario 2”, corrispondente al Ripristino della Briglia Fosso Camoscio ad una quota più alta (502.27 m) per recuperare il salto previsto dal progetto precedente e diminuito in seguito all'azione della nuova briglia costruita a valle. L'intervento prevede, analogamente allo scenario 1, la messa in opera di gabbionate per la difesa spondale, e un innalzamento del livello dell'acqua dovuto alla briglia alta pari alla quota di sfioro di quest'ultima, ovvero a 502.27 m.

#### RISULTATI

I risultati delle analisi svolte lungo la sezione di verifica relativa al rilevato, esposti nella figura e nella tabella seguente, dimostrano una condizione di sostanziale stabilità nella scarpata oggetto di intervento, con un punteggio di FS minimo pari a **1.228**, leggermente minore rispetto allo scenario 1 ma certamente soddisfacente e comunque migliorativo rispetto allo scenario 0.

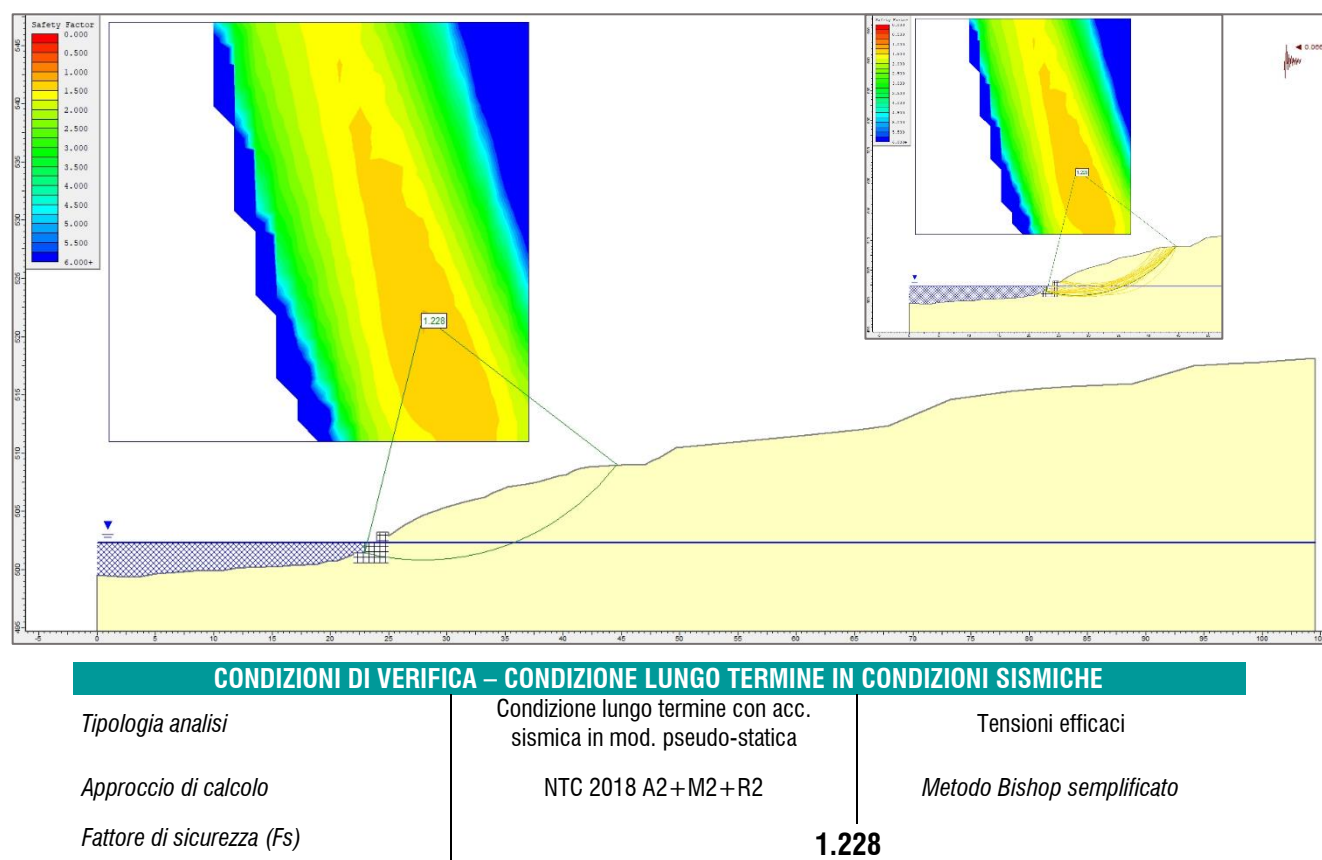


Fig. 5.12: Risultati delle analisi di stabilità svolte (in alto a Dx: n°25 superfici a minor FS ottenute)



## 5.4. NUOVE INDICAZIONI ESECUTIVE

A valle del quadro conoscitivo emerso dalla presente relazione di aggiornamento, si riportano in questo capitolo nuove indicazioni esecutive finalizzate alla realizzazione dell'opera in oggetto in condizioni di sicurezza e al suo mantenimento nel tempo.

Considerando l'attuale stato di fatto, come già approfondito nelle pagine precedenti, non sono state riscontrate nuove criticità in termini di evoluzione dell'alveo fluviale e di stabilità dei rilevati eseguiti in adiacenza all'alveo fluviale stesso; per tali configurazioni si ritiene pertanto opportuno limitarsi ribadire le indicazioni esecutive già esistenti nella precedente relazione geologica. Permangono invece criticità rilevanti circa lo stato di danneggiamento della briglia oggetto di intervento e della condizione di potenziale instabilità esistente nell'area alla scala di versante, problematiche che saranno affrontate singolarmente nei sotto-capitoli che seguono. Rimane chiaro invece, alla luce dei risultati delle analisi di stabilità svolte, il contributo positivo che è possibile ottenere dall'inserimento di gabbionate in difesa spondale e a sostegno delle scarpate adiacenti al torrente.

### 5.4.1. Ricostruzione della briglia di regimazione oggetto di intervento

Per quanto concerne la sopracitata briglia, i danni subiti e lo stato nel quale l'opera attualmente versa hanno reso necessario considerarne la demolizione e ricostruzione. La nuova briglia prevista nelle ipotesi progettuali aggiornate prevede interventi mirati a scongiurare l'erosione e il trasporto al piede nella porzione di valle, fenomeno alla base dei danneggiamenti finora subiti dalla briglia esistente, nello specifico l'introduzione di controbriglia e pavimentazione protettiva dell'alveo in massi ciclopici a valle del manufatto.

### 5.4.2. Monitoraggio del corpo di frana a monte dell'opera

Dal punto di vista della stabilità del versante, preso atto dello stato di attività del corpo di frana imminente sull'area di intervento e tenendo conto del tipo di cinematismo e dell'entità dei movimenti riscontrati negli ultimi anni (sostanzialmente piccole riattivazioni locali e superficiali nel settore di monte), si ritiene opportuno attivare un piano di monitoraggio del

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Fosso di Camoscio	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO Numero Doc / Doc. Number	Pag. 56 a 59

corpo di frana mediante l'utilizzo combinato di monitoraggio profondo e di monitoraggio superficiale. Nello specifico si prevede l'utilizzo delle seguenti metodologie:

- Monitoraggio periodico di Ground Control Point (GCP) permanenti fissati lungo il corpo di frana con l'uso combinato di Drone e GPS RTK, metodologia rapida ed economica per investigare eventuali spostamenti superficiali attraverso il rilievo con drone di target fissati al terreno;
- Esecuzione di fori di sondaggio e installazione di piezometro e tubo inclinometrico, metodi di indagine puntuale che rendono possibile l'identificazione delle superfici di scorrimento del corpo di frana e l'analisi dei relativi spostamenti nel tempo, nonché lo studio dell'interazione tra movimenti e variazioni del livello di falda.

La combinazione di queste tecniche di monitoraggio è da svolgersi, in condizioni ordinarie, **con frequenza stagionale** (misurazioni e rilievi ogni 3 mesi). Oltre al monitoraggio ordinario, è consigliabile eseguire rilievi e misurazioni aggiuntivi all'occorrenza di:

- Eventi di precipitazione eccezionali;
- Eventi di precipitazione ordinaria particolarmente prolungati nel tempo;
- Eventi di piena nel T. Scoltenna con superamento del livello di guardia.

## 6. VALUTAZIONI CONCLUSIVE

Il presente elaborato è stato eseguito con l'obiettivo di aggiornare la Relazione Geologica per l'installazione di un Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna, in corrispondenza della confluenza di Fosso di Camoscio all'interno del Torrente Scoltenna stesso, nel comune di Montecreto (MO), resa necessaria a fronte dei diversi anni passati dall'esecuzione della Relazione Geologica del progetto legittimato a cura del Dott. Geol. Roberto Manfredini (risalente al 14 novembre 2016).

Alla luce degli studi svolti e di quanto esposto nel presente elaborato, si considerino le seguenti valutazioni conclusive:

- L'osservazione dell'evoluzione dell'alveo torrentizio nell'area di interesse, esaminata attraverso lo studio di ricostruzioni multi-temporali unitamente a rilievi specifici effettuati sul luogo, non ha evidenziato variazioni degne di nota; permane invece critica la situazione relativa alla briglia di regimazione sede di intervento, per la quale sono state proposte alternative progettuali in tre differenti scenari.
- In merito alla stabilità globale del versante insistente sul tratto di torrente in analisi, sono emerse evidenze di nuove riattivazioni soltanto in porzioni minori, sempre parziali e localizzate, nel settore di coronamento e di medio corpo della frana attiva incombente sull'area oggetto di intervento. Sebbene queste riattivazioni minori, comunque molto contenute e superficiali, non siano associabili o indiziarie di riattivazioni dell'intero corpo di dissesto, costituiscono comunque un punto di attenzione che induce a mantenere coscienza del comportamento di questa porzione di versante, nonché a confermare lo stato di sostanziale attività – sebbene molto bassa e limitata arealmente – del corpo di frana in oggetto.
- Considerando le possibili alternative progettuali proposte, si conviene nell'affermare che l'attuazione dello scenario 2 risulta l'opzione maggiormente migliorativa in termini di stabilità globale del versante, mantenendo un livello di stabilità locale soddisfacente e contemporaneamente agendo meglio delle altre soluzioni nella diminuzione di energia e velocità del flusso d'acqua e diminuendo, pertanto, il potere erosivo e di trasporto nel settore di piede dei corpi di frana insistenti sull'alveo torrentizio;



Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Fosso di Camoscio	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO Numero Doc / Doc. Number	Pag. 58 a 59

- È stata svolta l'opportuna integrazione allo studio di sismicità locale e alle analisi di stabilità sui rilievi in adiacenza all'opera in esecuzione, utilizzando modelli topografici aggiornati e rappresentativi dell'attuale stato di fatto e tenendo conto dei possibili scenari di intervento presi in considerazione in fase progettuale. I risultati di tali analisi confermano una situazione di stabilità precaria nel caso dello scenario 0 (stato di fatto), stabilità che può essere significativamente aumentata con la messa in opera di gabbionate a duplice effetto di sostegno e difesa spondale nella porzione di scarpata analizzata.

In definitiva, alla luce delle conclusioni appena esposte, il presente studio conferma le conclusioni desunte nella precedente relazione e riportate per esteso al Cap. 3.3, riconoscendo la fattibilità dell'intervento se concepito come potenziale miglioramento delle condizioni del versante, ma pone altresì attenzione alla necessità di sistemazione del tratto d'alveo fluviale sede di intervento e dello stato di attività, seppure minima, della frana a monte dell'area di intervento, per la quale un adeguato programma di monitoraggio è stato esposto nel Cap.5.4.

Migliorativo per entrambe le problematiche si dimostra, alla luce di quanto esposto in questo e negli altri elaborati tecnici, l'adozione dello scenario 2 come possibile soluzione di intervento.

Modena, 04/10/2023  
GEOGROUP SRL

## **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

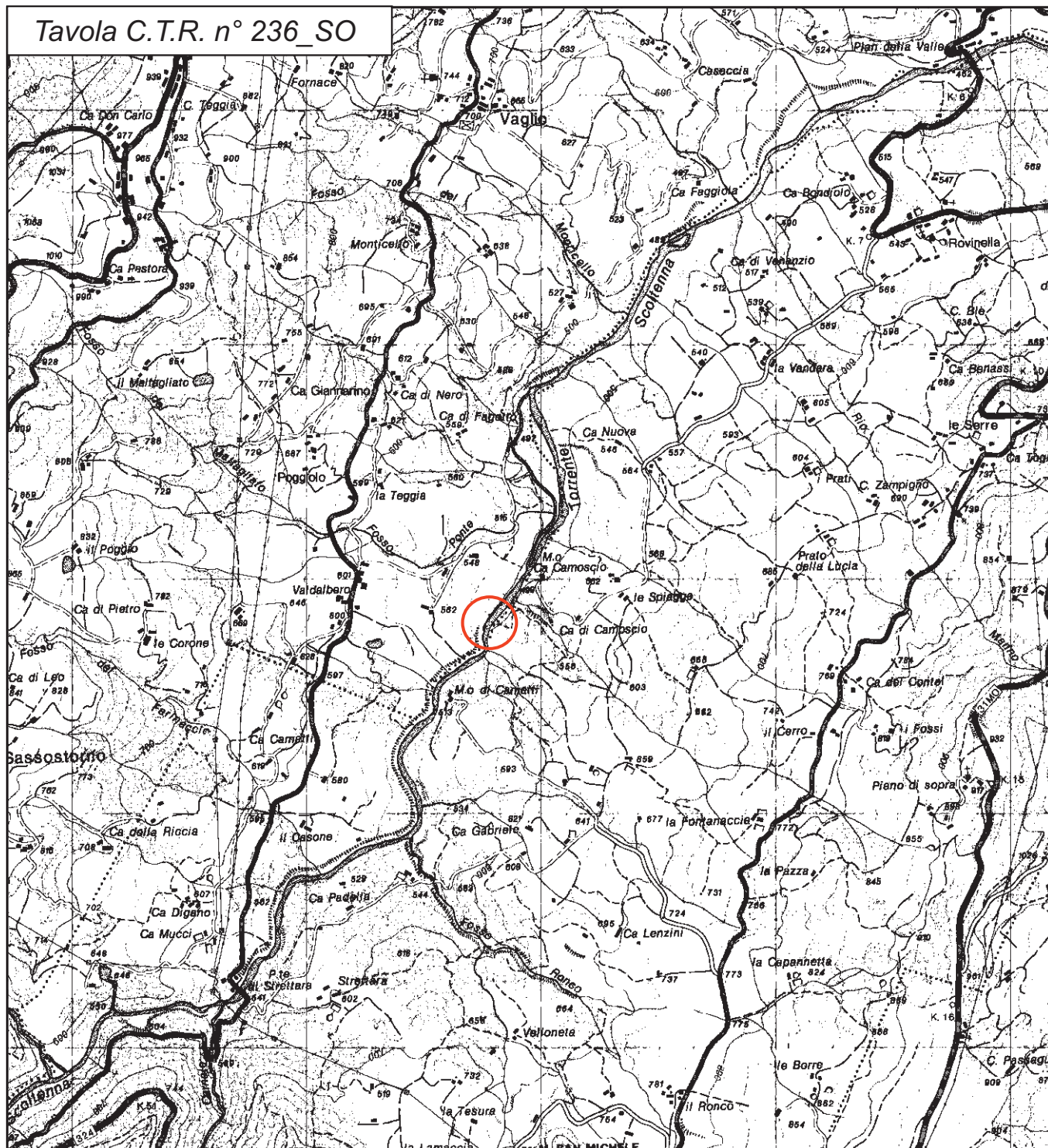
### ***Allegato 1: Tavole***

## GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it

Tavola C.T.R. n° 236\_SO



Tav. n. 1 "Carta corografica"

Scala 1: 25000



Legenda



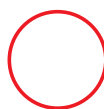
Area di interesse



**Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche**  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

[illegible]

Scala 1: 10000



## Area di interesse



## **GEO GROUP S.r.l.**

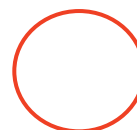
Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it



### **Tav. n. 3 “Ripresa fotografica aerea”** (tratta da Google Maps) **Scala grafica**

#### *Legenda*

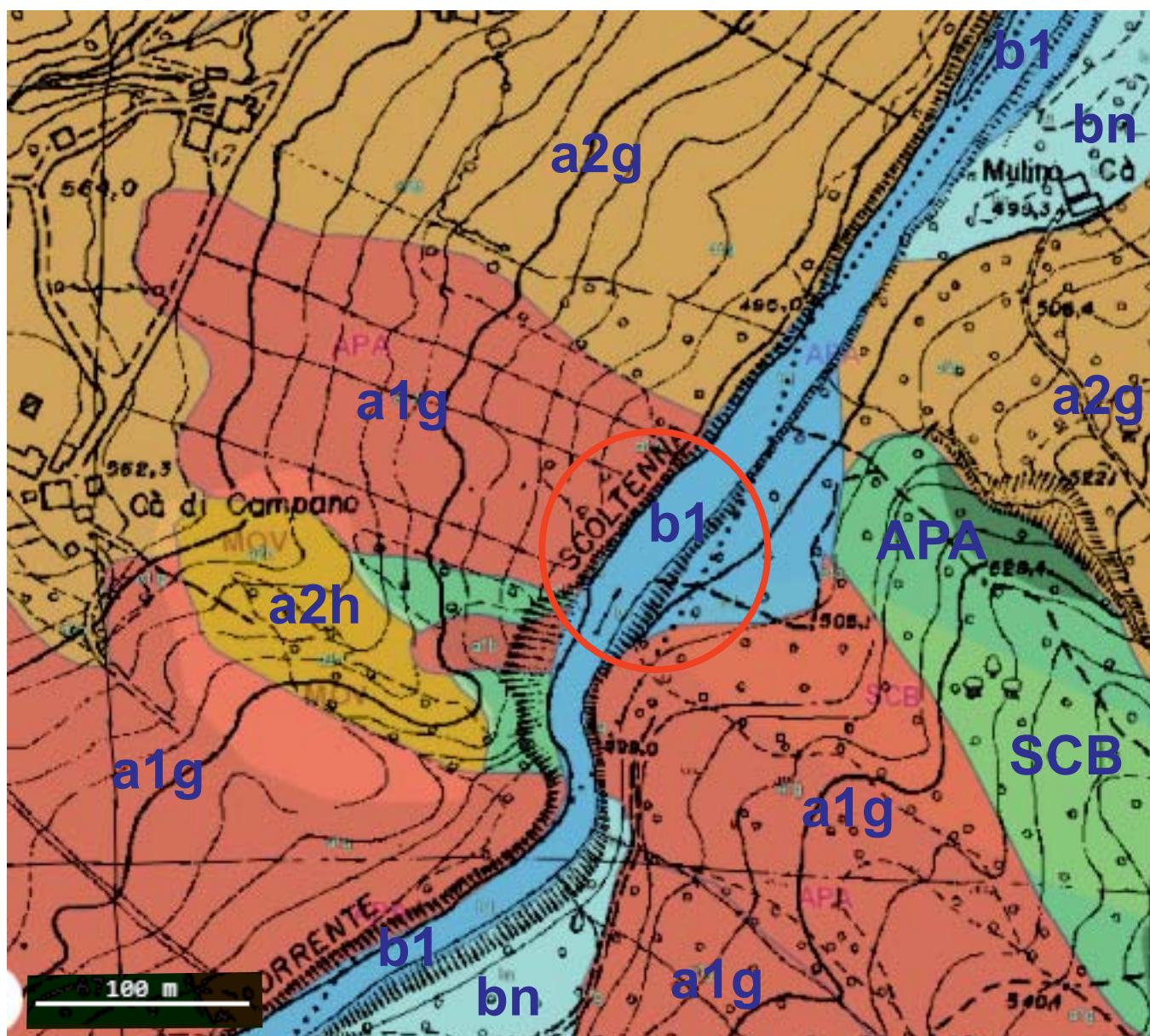
Area di interesse





## GEO GROUP s.r.l.






Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it






### Tav. n. 4 "Carta geologica" Scala grafica


#### Legenda

##### Depositi quaternari

-  a1g - Deposito di frana attiva complessa
-  a2g - Deposito di frana quiescente complessa
-  a2h - Deposito di frana per scivolamento in blocco o DGPV
-  b1 - Depositi alluvionali in evoluzione
-  bn - Depositi alluvionali attualmente non in evoluzione

##### Unità Liguri

-  MOV - Formazione di Monte Venere
-  SCB - Arenarie di Scabiazza
-  APA - Argille a Palombini

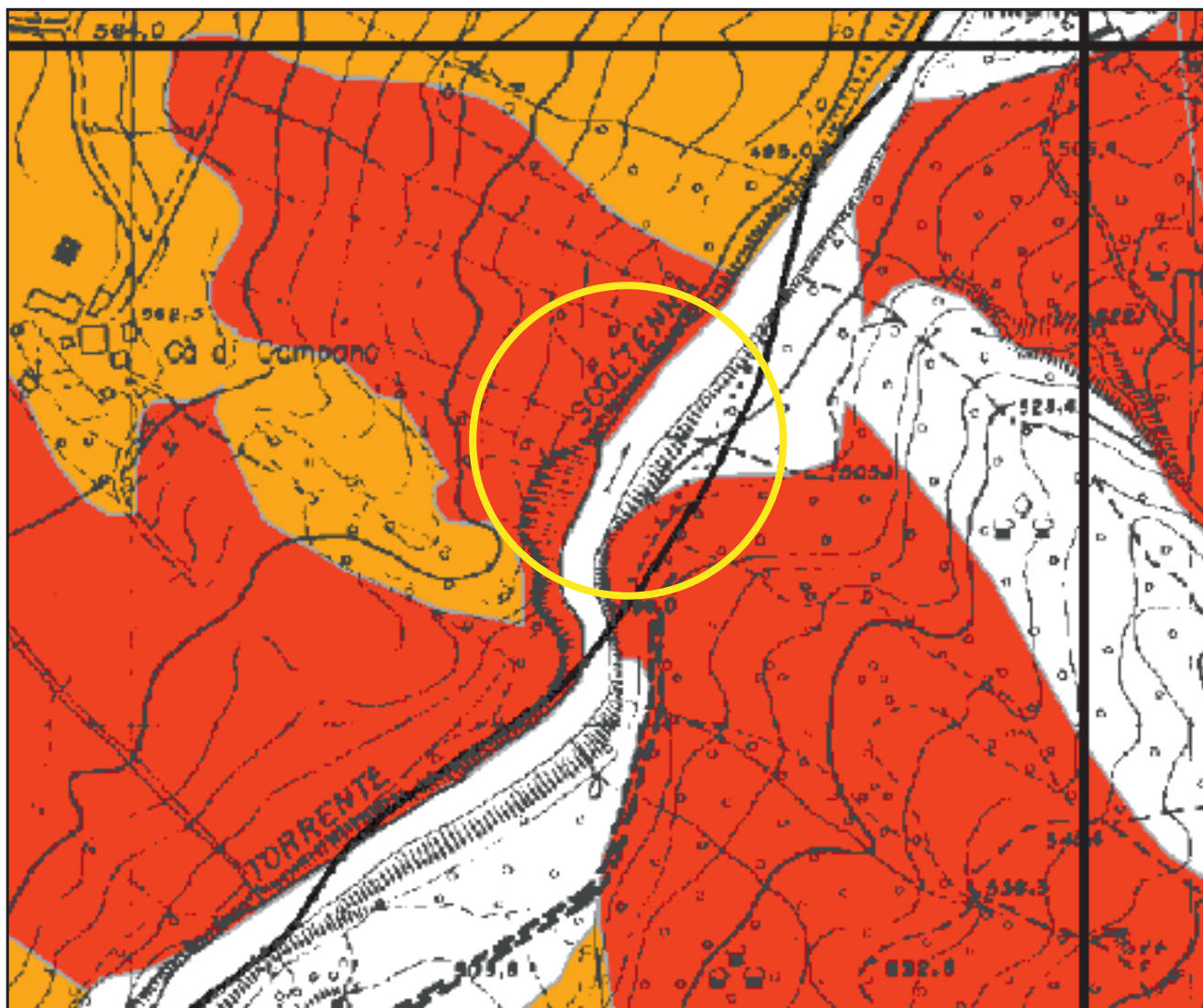
 Area di interesse





## GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



### Tav. n. 5 “Carta del dissesto”







Scala grafica

#### Legenda



Area di interesse



Zone ed elementi caratterizzati da fenomeni di dissesto e instabilità				
			Aree interessate da frane attive	Art.15
			Aree interessate da frane quiescenti	
Zone ed elementi caratterizzati da potenziale instabilità				
			Aree potenzialmente instabili	Art.16
Aree a rischio idrogeologico elevato e molto elevato				
	Codice scheda 2.1.1 NR	Abitati da consolidare o da trasferire (perimetrazione approvata ai sensi dell'art.29 comma 2 del PTPR)		Art.17
		Aree a rischio idrogeologico molto elevato		Art.18A
		Aree a rischio da frana perimetrate e zonizzate a rischio molto elevato (R4) ed elevato (R3)		Art.18B

#### LIMITI AMMINISTRATIVI

----- Limite di Regione    E-E-E-E-E-E Limite di Provincia    ——— Limite di Comune

Estratto da PTCP - Portale territorio - Rischio da frana: *Carta del dissesto*  
Da: <http://www.territorio.provincia.modena.it>

## GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it



### Tav. n. 6 "Ubicazioni delle indagini geognostiche" (tratta da Google Maps)

Scala grafica

.....  
*Legenda*

★ Indagini sismiche HVS1



## **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

### ***ALLEGATO N° 2***

### ***Indagini sismiche***



## SCOLTENNA MULINO CAMOSCIO, HVSR 1

Instrument: TZB-0123/01-20

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 179

Start recording: 26/09/2023 09:53:00 End recording: 26/09/2023 10:13:00

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 92% trace (manual window selection)

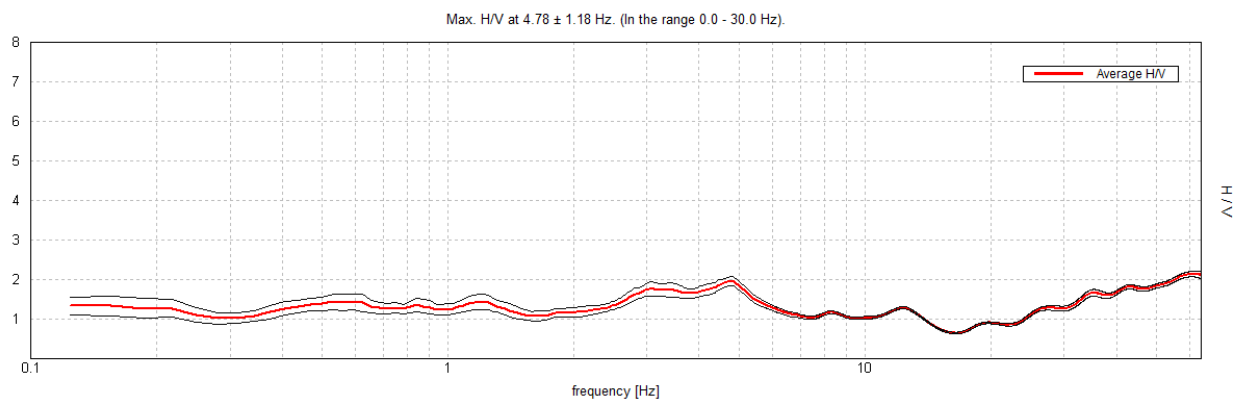
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

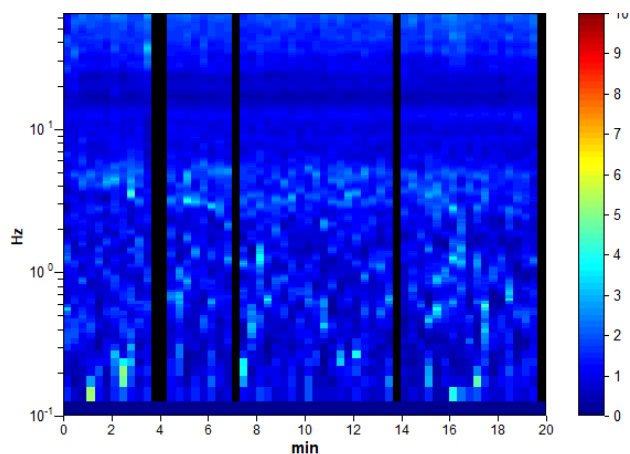
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

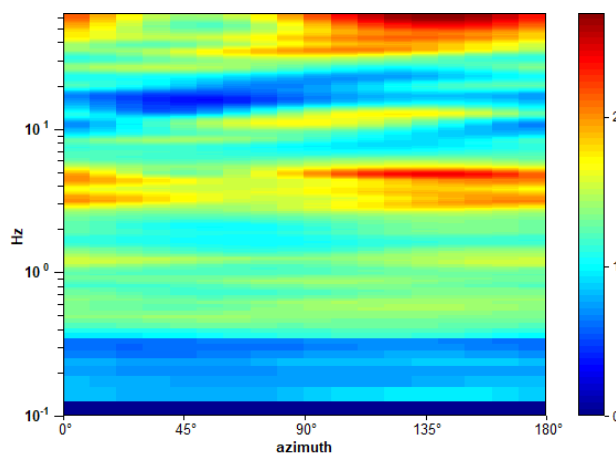
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



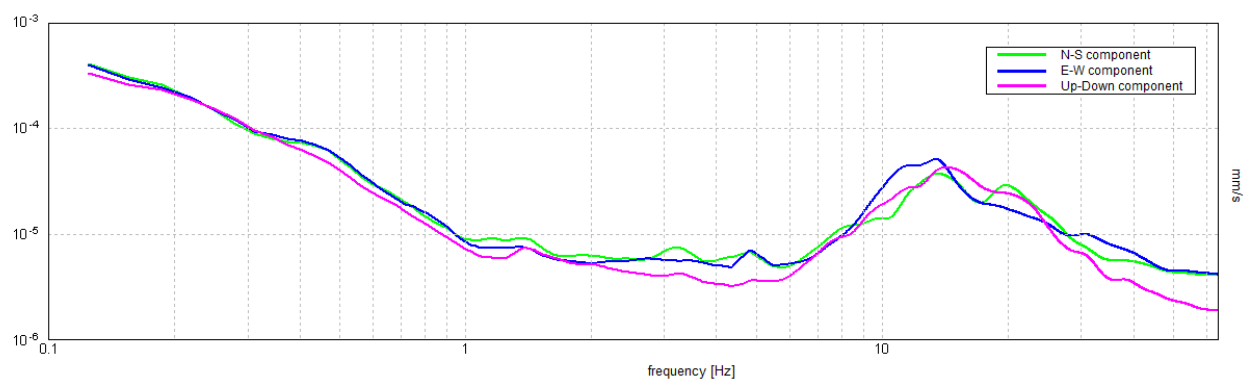
### H/V TIME HISTORY



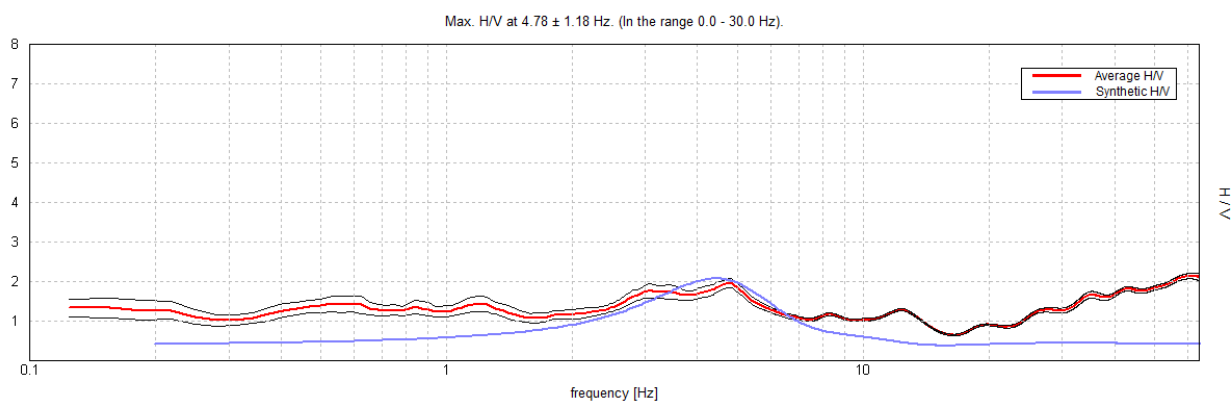
### DIRECTIONAL H/V



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



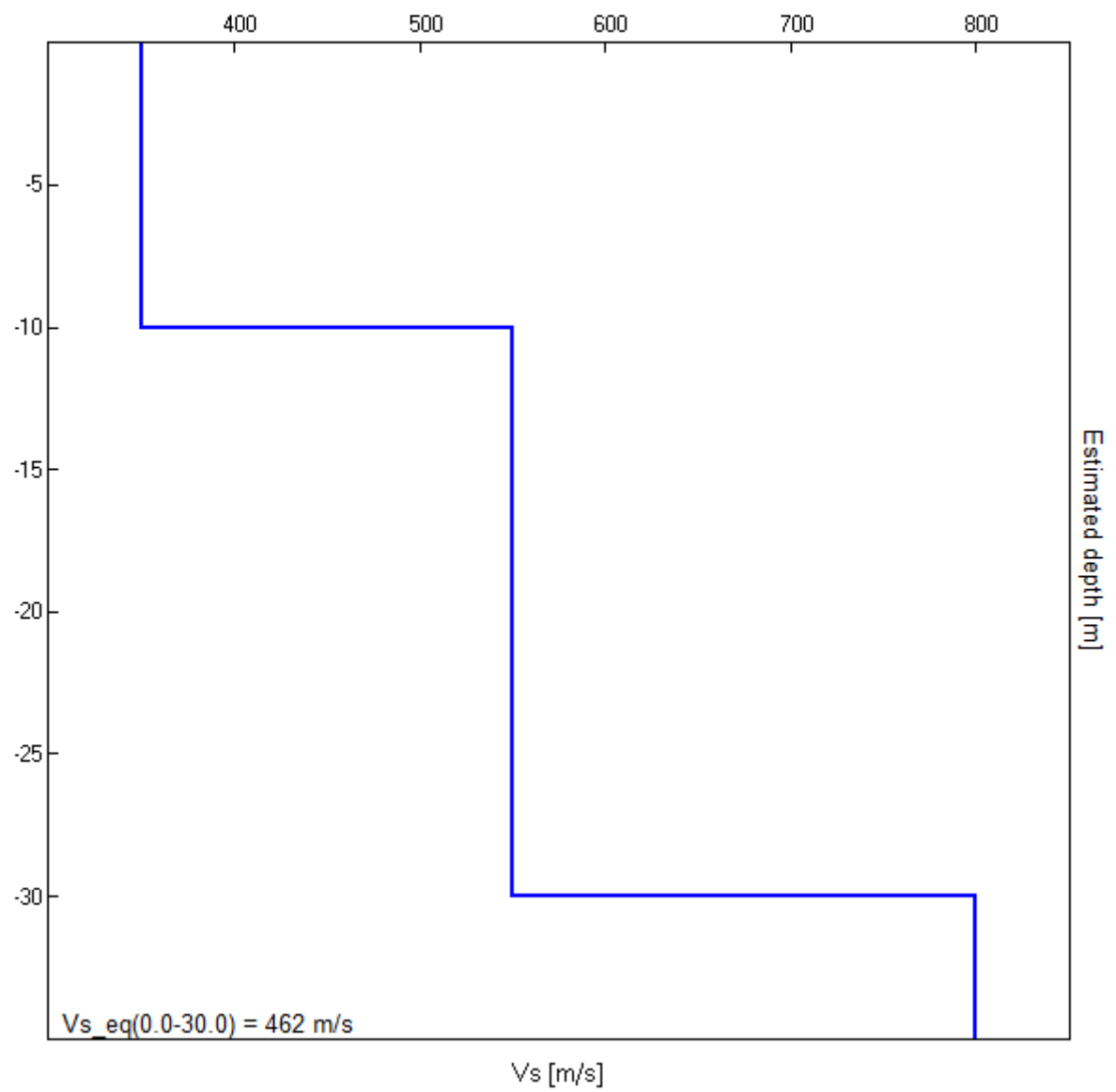
## EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
10.00	10.00	350	0.45
30.00	20.00	550	0.45
inf.	inf.	800	0.45

$$V_{s\_eq}(0.0-30.0) = 462 \text{ m/s}$$





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

**Max. H/V at  $4.78 \pm 1.18$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5259.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 231 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	13.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.97 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.24687  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.18037 < 0.23906$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1139 < 1.58$	OK	

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

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

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