

Regione Emilia Romagna

Provincia di Modena

Comune di Montecreto

MICRO-CENTRALINA IDROELETTRICA SUL TORRENTE SCOLTENNA

Località: Traversa idraulica Mulino Camatti

F12 MAPP. 106-107-109-111-DEMANIO

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



Proponente: San Lucano idroelettrica srl

Via Frattini 7 Mantova (MN)

Variante in corso d'opera al pdc n.06 del 12/07/2016

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: Studiomasarinese 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: .../.../.....

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 1 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
1.1. SCOPO DELL'ELABORATO	3
1.2. TIPOLOGIA DI INTERVENTO	3
1.3. DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE	5
2. INQUADRAMENTO	6
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
3. CONSIDERAZIONI TECNICHE E PROGETTO LEGITTIMATO	15
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
4. VALUTAZIONE DELL'ATTUALE STATO DI FATTO	20
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	27
4.2.3. Cambiamenti morfologici legati ai lavori svolti	29
5. INTEGRAZIONI	31
5.1. ADEGUAMENTO NORMATIVO	31
5.2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	31
5.2.1. Indagine sismica HVSR	31
5.3. ANALISI DI STABILITÀ FRONTE DI SCAVO AI SENSI DELLE NTC 2018	45
5.3.1. Modello del terreno e sezione di riferimento	45
5.3.2. Normativa di riferimento	46
5.3.3. Parametri geotecnici caratteristici e di progetto	46
5.3.4. Verifica di stabilità – Metodologia di calcolo (LEM)	47
5.3.5. Verifica di stabilità – Risultati	50
5.4. AZIONI MIGLIORATIVE PER SCARPATA A MONTE DELL'OPERA	51
6. VALUTAZIONI CONCLUSIVE	53

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 2 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 3 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 svolta per l'installazione di un Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna, in località "Mulino dei Camatti" del comune di Montecreto (MO). 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 11 ottobre 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 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.

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 località "Mulino Camatti" del Comune di Montecreto (MO).

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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 4 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

- 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.

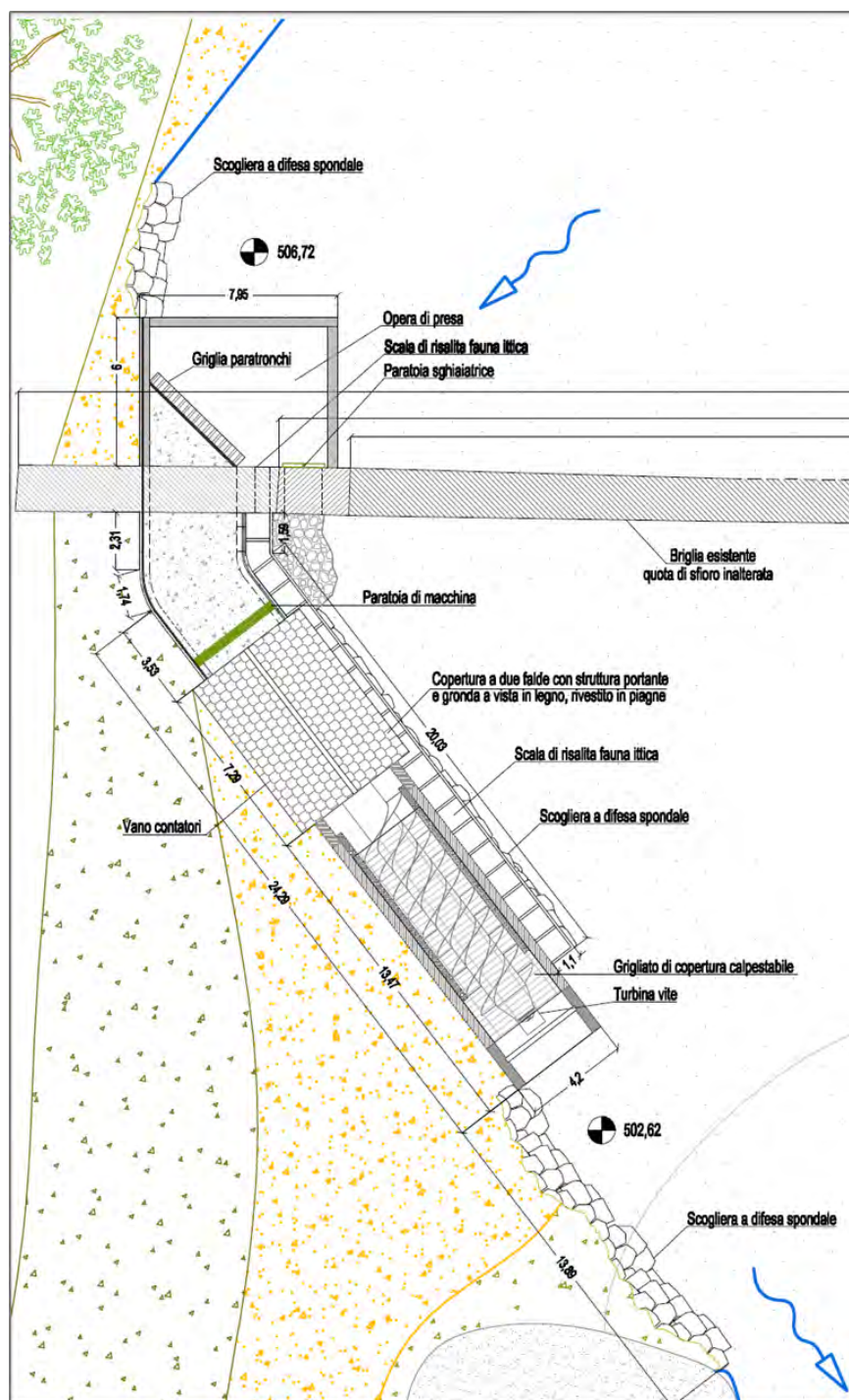


Fig. 1.1: Estratto dei dettagli progettuali di massima (da Tav. 9 – "St. Progetto -st. finale" agg. 18 aprile 2016)

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 5 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 sugli elaborati tecnici inerenti a tale materia presentati in sede progettuale nell'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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 6 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

2. INQUADRAMENTO

2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Come ampiamente descritto dalla precedente relazione, l'area in esame è situata in corrispondenza del borgo denominato "Mulino dei Camatti", all'interno del Comune di Montecreto (MO) e lungo il fondovalle del Torrente Scoltenna, nello specifico sulla sponda destra del torrente stesso. 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. Stando ai dati esposti nella precedente relazione, le quote di riferimento variano da circa 775 m s.l.m. (media pendice) a 505 m s.l.m. (fondovalle); rilievi svolti più recentemente e approfonditi in seguito attribuiscono all'area di fondovalle (ciglio d'alveo) quote anche leggermente inferiori, intorno ai 500 m s.l.m..

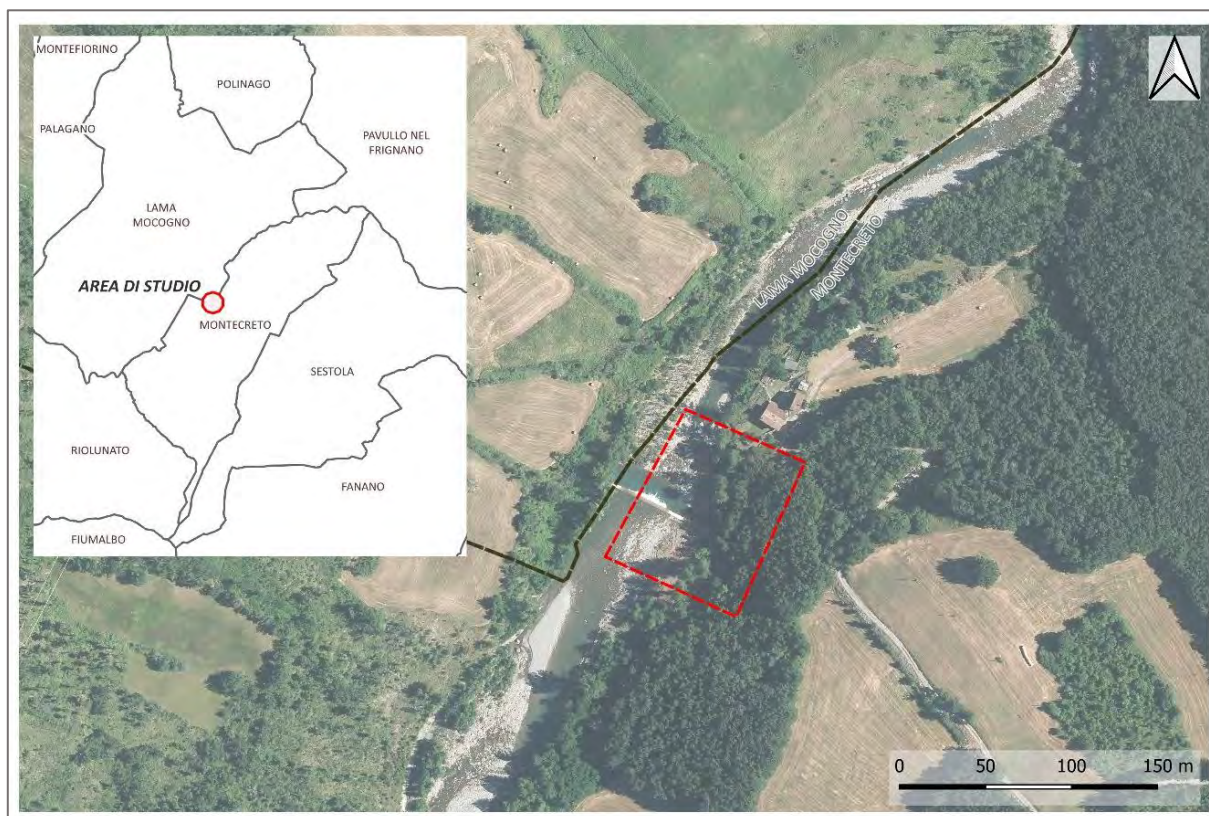


Figura 2.1: Inquadramento geografico dell'area di studio (foto: AGEA 2020).

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 7 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 m³/s.



Figura 2.2: Ripresa panoramica dell'area di interesse eseguita con drone da monte (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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 8 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

stata interessata a più riprese da operazioni di sistemazione dell'alveo torrentizio, sia a monte che a valle del punto di intervento in progetto; sono attualmente presenti, inoltre:

- Una briglia di regimazione (a cui la precedente relazione attribuisce una larghezza di 79 m) alla quale, sulla sponda di destra, sono state realizzate le fondazioni dell'opera programmata;
- Un nucleo abitativo, corrispondente alla località "Mulino di Camatti", recentemente riqualificato e in saltuario uso abitativo, posizionato alcune decine di metri a valle del punto di intervento e in corrispondenza di un terrazzo fluviale presente sulla sponda destra del torrente.

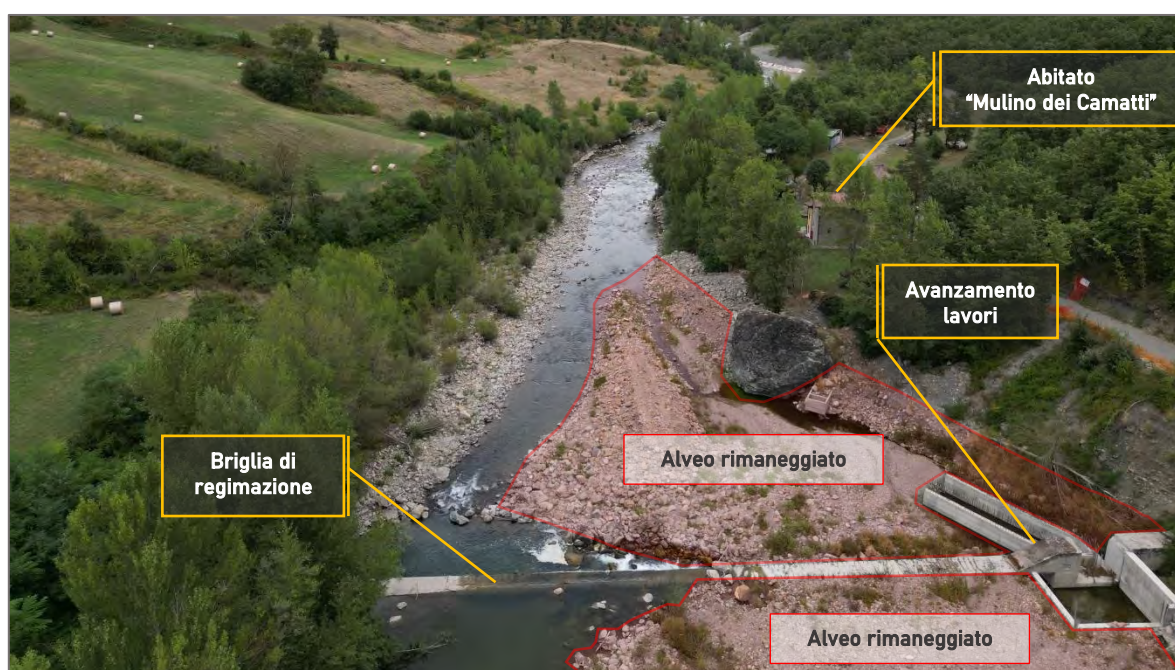


Fig. 2.3: Collocazione degli attuali interventi antropici nell'area di interesse (Settembre 2023)

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 9 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.2.1. Geologia del substrato

Come esposto nel già esistente elaborato tecnico, l'area in analisi è interessata dal punto di vista geologico dall'affioramento dalla sola Formazione delle Argille a Palombini, la cui descrizione geo-litologica 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")

La provenienza di tali Argille a Palombini, formazione principale delle cosiddette "Unità di base" del dominio ligure, è da attribuirsi al Cretacico, e in termini di facies a un ambiente deposizionale oceanico profondo; la litologia è composta 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.

2.2.2. Depositi quaternari

Lungo il tratto di fondovalle l'intera area è interessata, al tetto delle Argille a Palombini, 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, poco a nord 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:

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 10 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

I versanti che convergono nel T. Scoltenna, infine, sono in questa zona interessati da coperture riferibili a depositi di frana, per lo più complessi, in stato di quiescenza; per quanto concerne la natura di tali depositi, litologicamente coerenti con la formazione geologica di provenienza, e in generale al comportamento geologico e geomorfologico della formazione delle Argille a Palombini, si rimanda alle considerazioni presenti nel precedente elaborato e riportate e approfondite nel seguente Capitolo 2.3.

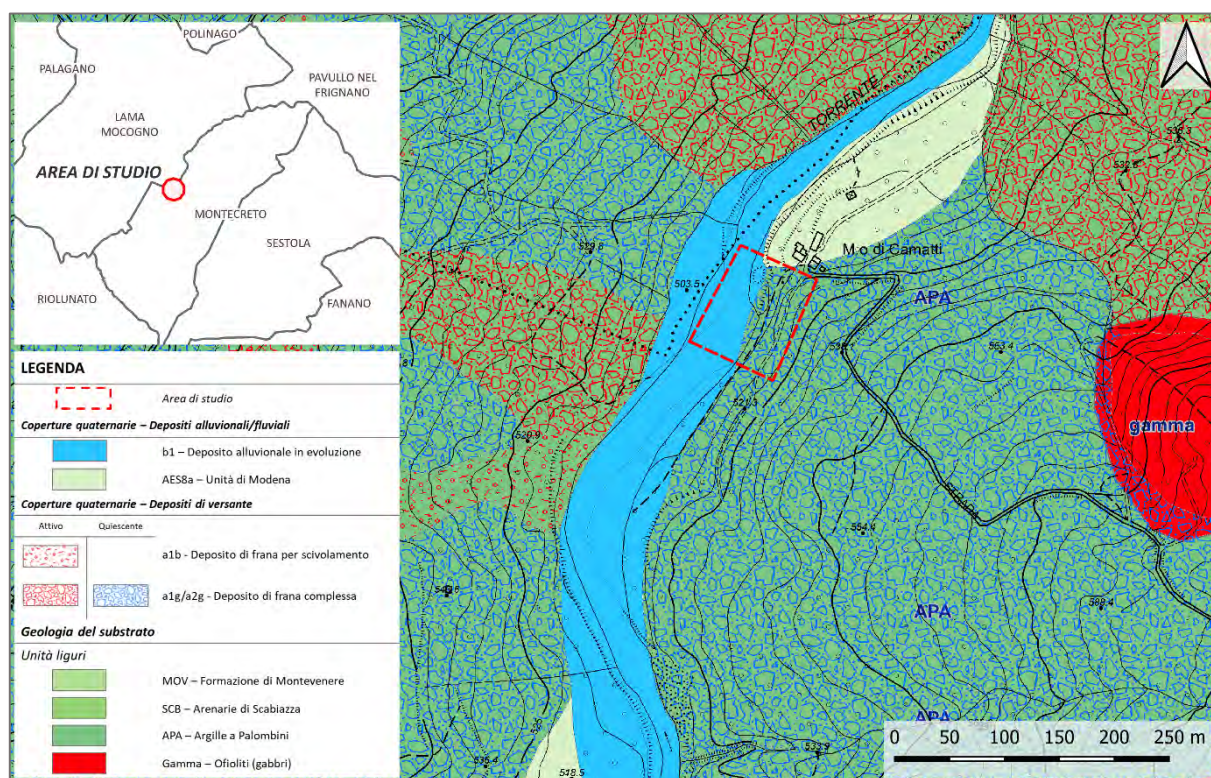


Figura 2.4: Inquadramento geologico dell'area di studio (fonte: Regione Emilia-Romagna)

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 11 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

2.3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E DEL DISSESTO

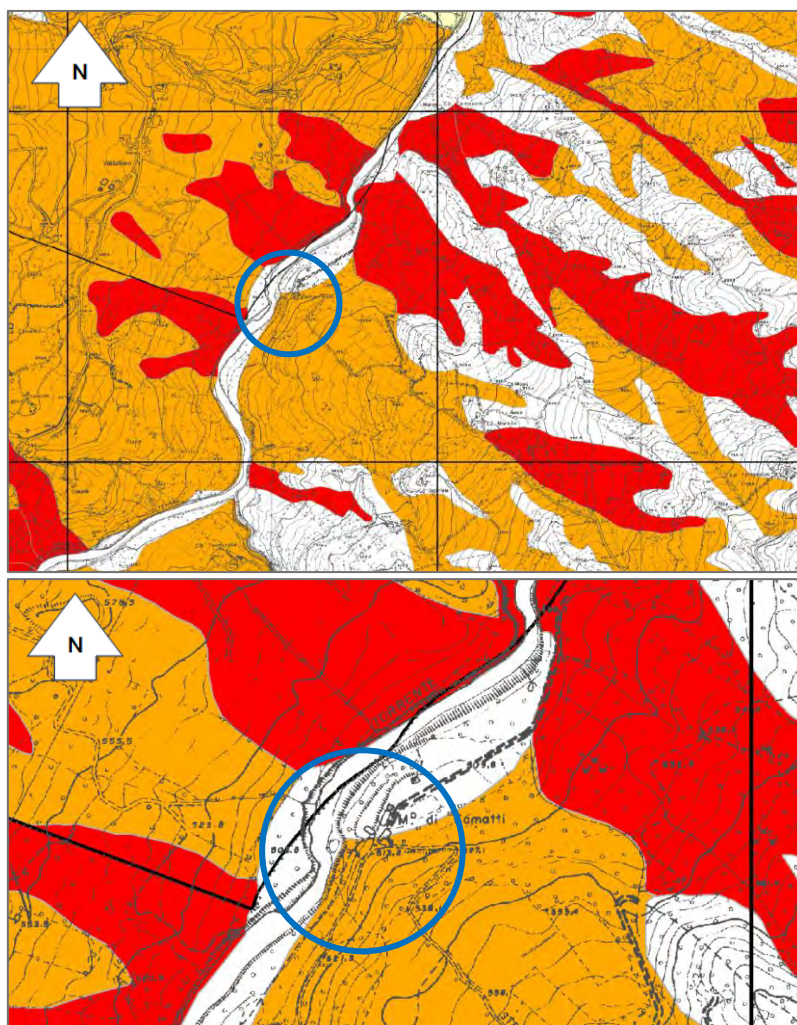
Per quanto concerne gli aspetti geomorfologici e lo stato di dissesto dell'area di interesse, il sito in analisi si colloca alla base di un pendio geologicamente costituito da un substrato argilloso; tale configurazione, e ancor più nella fattispecie dell'ambiente appenninico modenese, è nota per essere ampiamente suscettibile di 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; una tra queste, nello specifico, incombe sull'alveo fluviale in riva opposta all'area di interesse;
- L'esistenza, sulla sponda destra del T. Scoltenna, di un esteso fenomeno di dissesto attualmente in stato di quiescenza il cui piede si colloca in corrispondenza dell'area di studio; eventi di frana attivi di dimensioni minori sono presenti rispettivamente a monte o a valle dell'area di intervento, ma a distanze tali da non ritenere possibile alcuna possibilità di interazione con l'opera di interesse.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 12 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	


















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 PTGPR)	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)

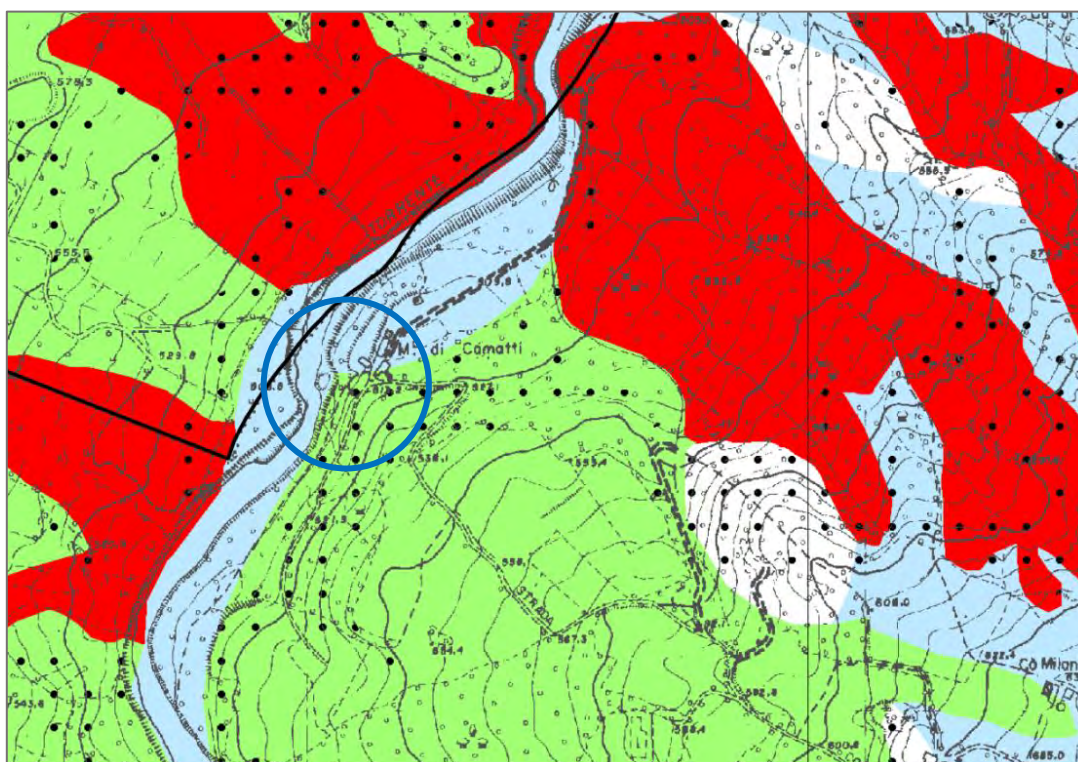
Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 13 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 3 – Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche** (nella porzione più a monte) e come **Zona 4 – Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche** (nella porzione 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 4 e la Zona 5; si riporta in seguito lo stralcio della tavola n°17 della sopracitata cartografia.



Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 14 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

VOCI DI LEGENDA	
Effetti attesi	
1	Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche <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.
2	Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche <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.
3	Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche <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.
4	Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche <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.
5	Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche <u>studi*</u> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico; <u>microzonazione sismica*</u> : approfondimenti di II livello.
6	Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche <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)

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 15 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

3. CONSIDERAZIONI TECNICHE E PROGETTO LEGITTIMATO

3.1. VALUTAZIONI DI STABILITÀ GLOBALE DEL VERSANTE

In sede di caratterizzazione geologica espletata al giorno 11 ottobre 2016, in seguito a rilievi specifici, la configurazione geomorfologica del versante insistente sul punto di interesse del presente lavoro viene considerata sostanzialmente stabile; a riprova di ciò si riporta in seguito, per esteso, il paragrafo “Stabilità territoriale” presente a p. 7 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 e gran parte della fascia di fondovalle, a monte della briglia, sono inclusi in aree di “frana quiescente”; dai rilievi specifici emerge un quadro decisamente consolidato con grado di equilibrio elevato. I caratteri identificativi sopra approfonditi, considerati nel loro insieme, inducono ad inserire il territorio in esame, ivi compresa l’area oggetto di intervento, all’interno di “aree stabili”. La fascia significativa per la nuova opera, con prevalente sviluppo da sud-est verso nord-ovest, è in equilibrio ed esterna a qualsiasi possibile manifestazione di instabilità locale e regionale.”

3.2. INDICAZIONI ESECUTIVE (VOLUME SIGNIFICATIVO DI INTERVENTO)

La relazione geologica eseguita nel 2016 fornisce inoltre 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, con conseguente movimentazione di ghiaie e sabbie di deposito fluviale e argille in loco sottostanti, per l’esecuzione dell’opera di presa;
- Ripristino, attraverso operazioni di reinterro, risagomatura ed esecuzione di opere accessorie, comportante il riutilizzo del materiale movimentato.

Si rimanda alle pagine 11 e 12 (e rel. All.) della relazione geologica del progetto legittimato per il bilancio completo dei volumi di materiale movimentato e le specifiche destinazioni d’uso.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 16 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

A supporto dell'apertura di un fronte di scavo per la messa in posto dell'opera di presa sono state svolte specifiche analisi di stabilità, le quali hanno dimostrato la sostanziale stabilità dello scavo stesso entro il mantenimento del dimensionamento e delle indicazioni esecutive prescritte. I dettagli delle suddette analisi sono debitamente approfonditi a p.10 della relazione geologica del progetto legittimato (e rel. All.).

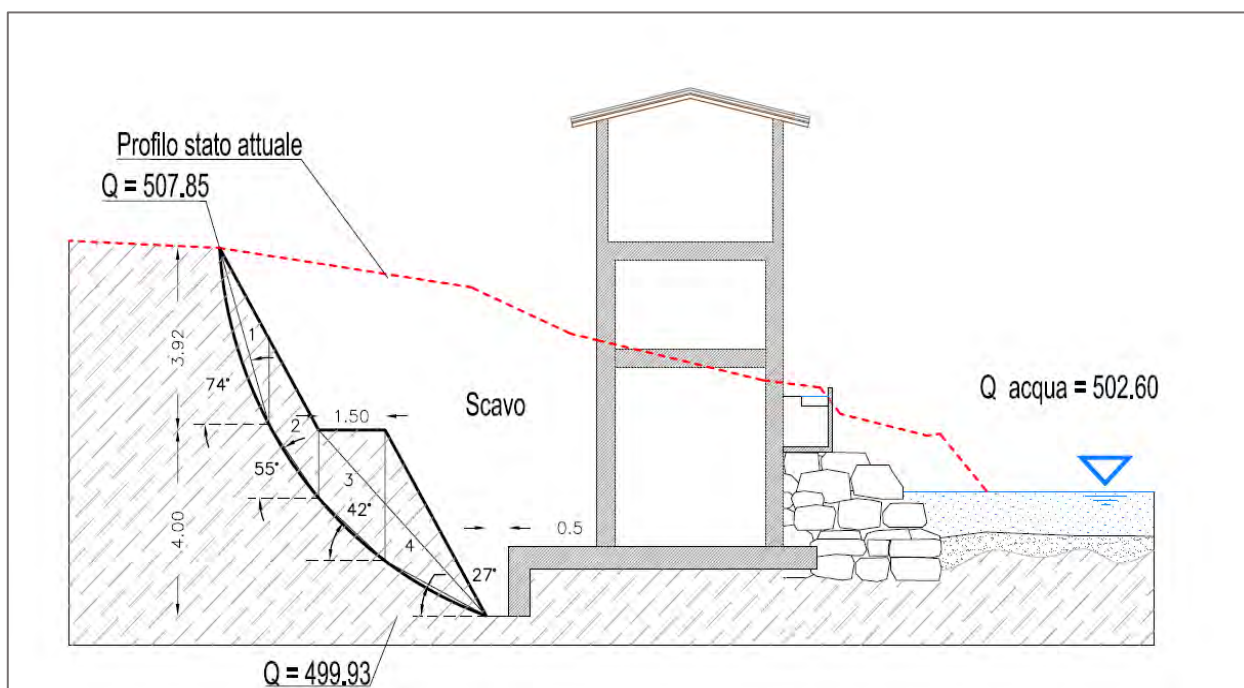


Fig. 3.1: Ipotesi di sezione di scavo per l'esecuzione dell'opera di presa (da All. n°8, Relazione Geologica 2016)

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:

- analisi geometrica del fronte di scavo considerato significativo;
- indagine sismica (rifrazione tipo Masw);
- analisi diretta su campioni superficiali di argilla emergente con scissometro e pocket;
- analisi comparata su campioni di laboratorio relativi a litotipi prevalentemente argillosi a caratteri simili.

Nell'immagine seguente (da pp. 9-10 della precedente relazione) si riassumono i modelli e i relativi parametri utilizzati per l'esecuzione di tali analisi:

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 17 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

Modello geologico

- Litologia argillosa. Formazione autoctona a potenza molto elevata ($>> 30$ m) con ricoprimento superficiale in ghiaia (APA – Argille a Palombini).

Modello idrogeologico

- terreno superficiale insaturo oltre quota d'alveo m 505 slm e superiori;
- terreno saturo a quota d'alveo, m 505, e inferiori.

Modello e caratterizzazione geotecnica

Litotipo argilloso con spessore > 30 m

Componente argillosa $> 70\%$ (*)

Componente limosa $< 30\%$

Cu : $0.40 \div 0.80$ Kg/cm² = $40 \div 80$ KPa

ϕ : $18^\circ \div 20^\circ$ = minimo angolo di naturale declivio

γ_t : 1.85 t/mc

γ_{t1} : 2.00 t/mc

(*) Argilla a consistenza plastica in superficie, media e elevata in profondità, sino a divenire pseudo rocciosa.

Valori caratteristici

I valori che seguono sono riferiti alle argille rilevate al di sotto del livello superficiale ghiaioso, costituenti substrato autoctono di base:

Cu : 0,40 valore minimo rilevato ;

ϕ : 0,00 angolo di attrito nullo ;

γ_t / γ_{t1} : 1.80 - 1.90

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

I valori caratteristici del terreno, indicati in relazione alla pag. 9, sono stati ridotti di un coefficiente pari a 1,4 e risultano quindi essere ancor più prudenziali. Sono così definiti :

Cu = $0.40 \div 0.80$ kg/cm² = $4 \div 8$ t/mq \longrightarrow Valore utilizzato 2,85 t/mq.

ϕ = 0

γ_t = $1.80 \div 1.90$ kg/cm² terreno insaturo

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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 18 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 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 559 m/sec.”



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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 19 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 opportune considerazioni conclusive, presenti alle pp. 13-14 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 e privo di negatività rispetto allo 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 sviluppo prevalentemente longitudinale a cavaliere della briglia;
- 3°) consolidamento del ciglio d'alveo, mediante realizzazione di contrafforte, a valle della briglia, a protezione dell'abitato esistente;
- 4°) presidio pressoché continuo del tratto interessato e quindi di 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.

È altresì auspicabile che gli accorgimenti complementari alle opere principali, quali definizione di raccordi morfologici, regimazione delle acque meteoriche di corrivazione superficiale, piantumazioni di essenze erbacee e/o arbustive perimetrali, siano eseguiti nel rispetto di corretta sensibilità ambientale.

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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 20 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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, con esecuzione di arginature provvisorie per la messa in sicurezza dell'area di lavoro;
- Intervento di risanamento della briglia esistente mediante demolizione e ricostruzione dei 20 cm sommitali;
- Sbancamento sulla sponda destra dell'alveo, con conseguente movimentazione di ghiaie e sabbie di deposito fluviale e argille in loco sottostanti, per l'esecuzione dell'opera di presa;
- Messa in opera degli elementi di fondazione dell'opera di presa e della sede della turbina vite in adiacenza alla briglia.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 21 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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).

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 22 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	



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:

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 23 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	



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



Fig. 4.4: Dettagli da diverse angolazioni della costruzione attualmente messa in opera e della briglia preesistente (settembre 2023).

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 24 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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'alvo 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 2023, 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 nel contesto dell'alveo fluviale (al netto del rimodellamento previsto in sede del presente lavoro, visibile nelle riprese del 2021 e 2023), 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.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 25 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	



*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.*

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 26 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	



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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 27 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 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, non sono emerse evidenze di nuovi movimenti o indizi che suggeriscano la possibile riattivazione dei fenomeni in stato di quiescenza descritti nel Capitolo 2.3.

Si riportano in seguito il confronto multi temporale e la documentazione fotografica acquisita con drone.



Fig. 4.7: Ricostruzione multi-temporale del tratto di alveo del T. Scoltenna interessato dall'opera. (fonte: Google Earth)

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 28 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	



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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 29 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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. Osservando i dati e le tavole presenti nella precedente progettazione e sulla base delle osservazioni effettuate in luogo nei tempi recenti, è stato possibile osservare la presenza di una potenziale criticità circa l'esecuzione dello scavo e sbancamento per la messa in opera dell'opera di presa. Nello specifico tale scavo, di cui si riporta in seguito l'opportuna documentazione fotografica, risulta attualmente eseguito senza le "gradonature" previste in sede di progettazione e delle quali si è tenuto conto nelle analisi di stabilità svolte nella Relazione Geologica del 2016.



Fig. 4.9: Panoramica del fronte di scavo e sbancamento attuato per la messa in opera delle strutture previste.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 30 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	



Fig. 4.10: Panoramica del fronte di scavo e sbancamento attuato per la messa in opera delle strutture previste.

Essendo il pendio incombente sull'opera in esecuzione e in diretta adiacenza all'area di lavoro, nonché unico supporto della strada sterrata sovrastante utilizzata per raggiungere la sede di cantiere (che in quanto tale è soggetta al possibile passaggio di mezzi pesanti), si è ritenuto opportuno ripetere le analisi di stabilità (la cui nuova esecuzione era già prevista per adeguamento normativo) tenendo conto della nuova morfologia in essere. Tali analisi saranno esposte nel capitolo successivo.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 31 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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. n.6** e in fig. 5.1, mentre il risultato è riportato integralmente nell'allegato n. 2.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 32 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	



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.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 33 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 **2.41 ± 0.45 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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 34 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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: **$V_{s,30} = 455 \text{ m/s}$** .

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il terreno di fondazione 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).

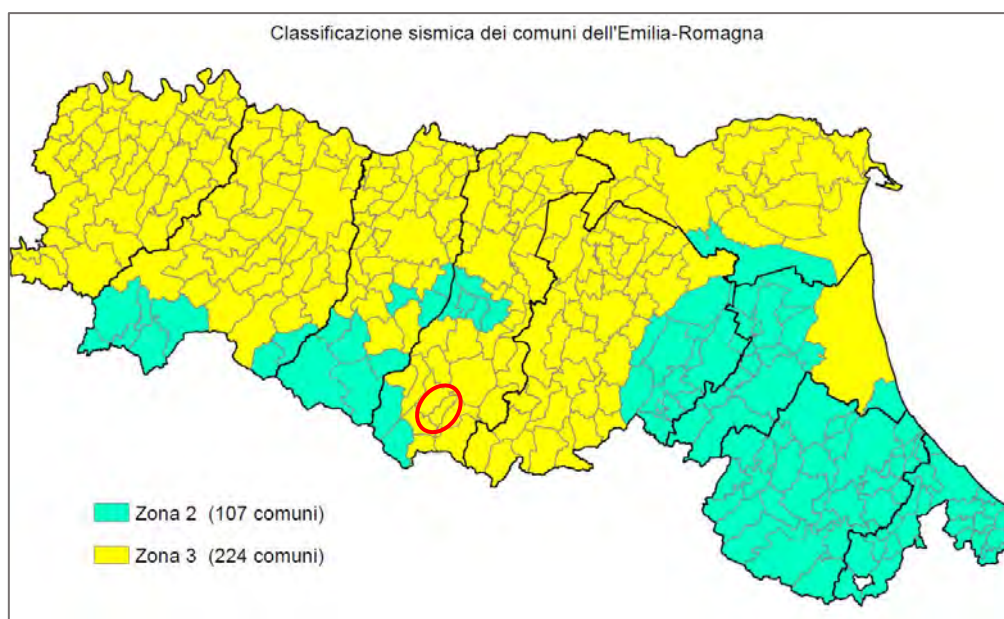


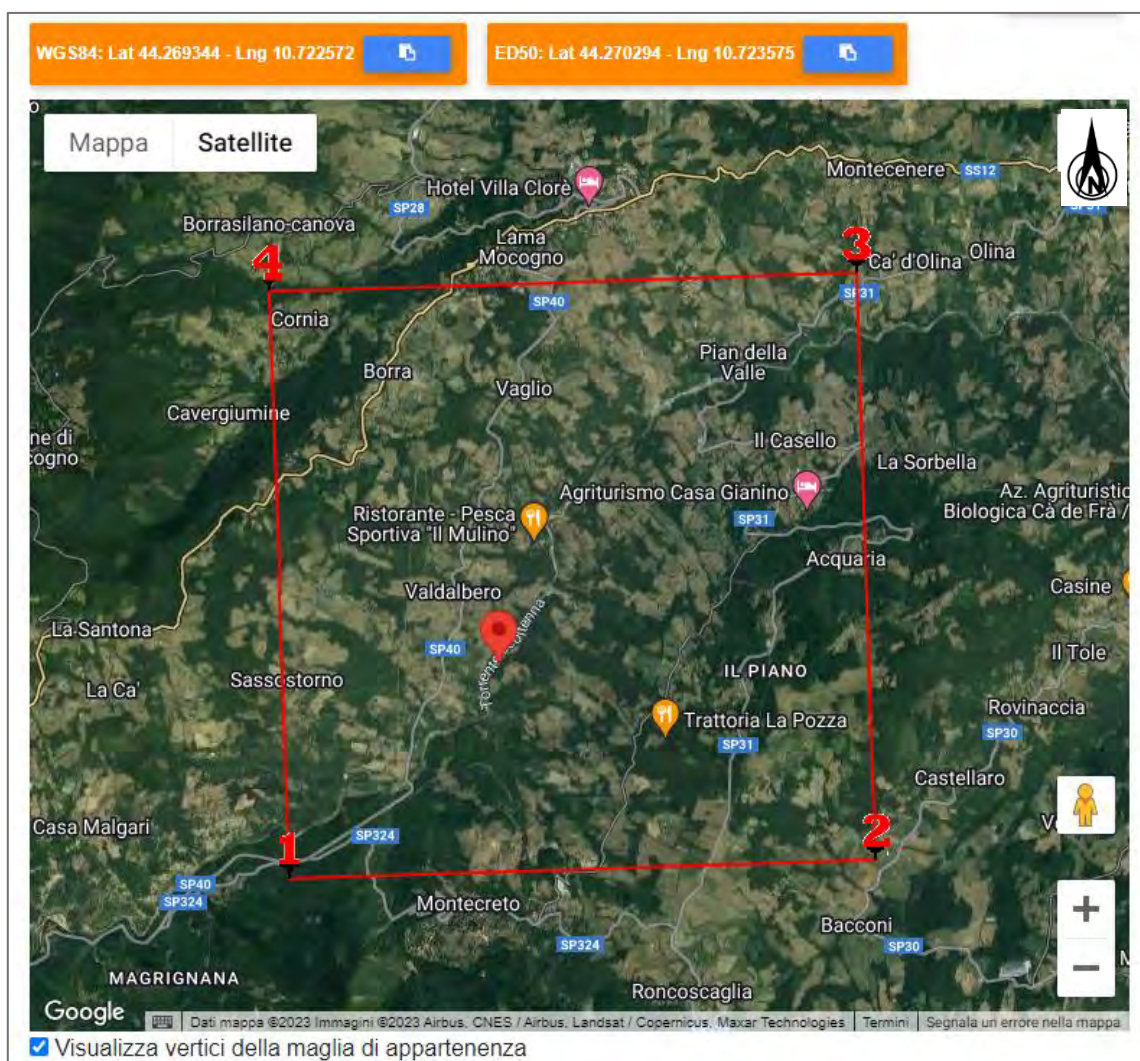
Fig. 5.2: Classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna (DGR 1164/2018).

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 35 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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: 44.270294°, Longitudine: 10.723575°, 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:

$$a_g \text{ attesa} = 0.168$$



Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 36 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

Stati limite

Classe Edificio: II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.058	2.484	0.250
Danno (SLD)	50	0.073	2.466	0.262
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.168	2.519	0.294
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.210	2.539	0.304
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1, us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,19
CC Coeff. funz. categoria	1,45	1,44	1,41	1,40
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.014	0.018	0.048	0.070
kv	0.007	0.009	0.024	0.035
Amax [m/s²]	0.688	0.864	1.974	2.448

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/)

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**.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 37 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 **2.519**;
- 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
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

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} :

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.0 \cdot 0.168g = 0.202g$$

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 38 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 γ 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 γ . 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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 39 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 (ρ). Le relazioni sono le seguenti:

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

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

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

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

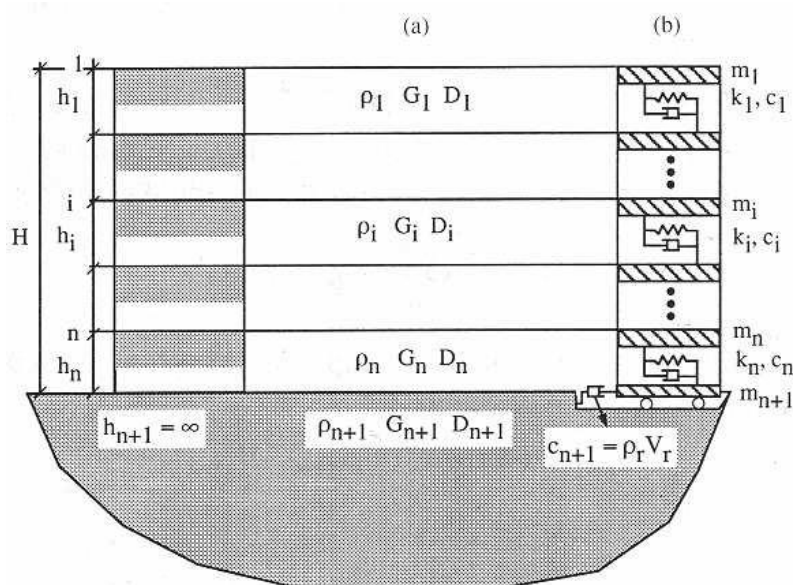


Fig.5.4: Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 40 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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
5.00	5.00	315	0.42
32.00	27.00	500	0.42
inf.	Inf.	850	0.42

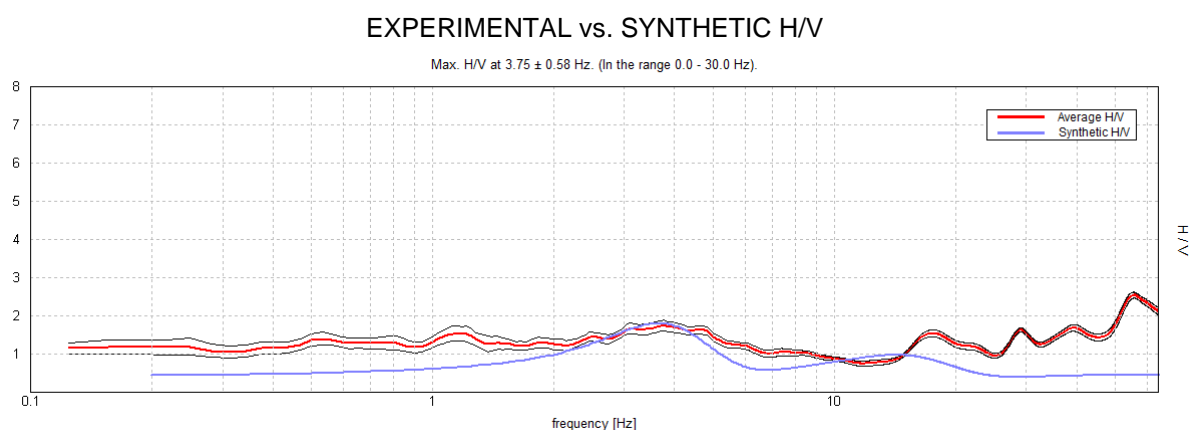


Fig.5.5: Elaborazione HVSR.

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidezza 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:

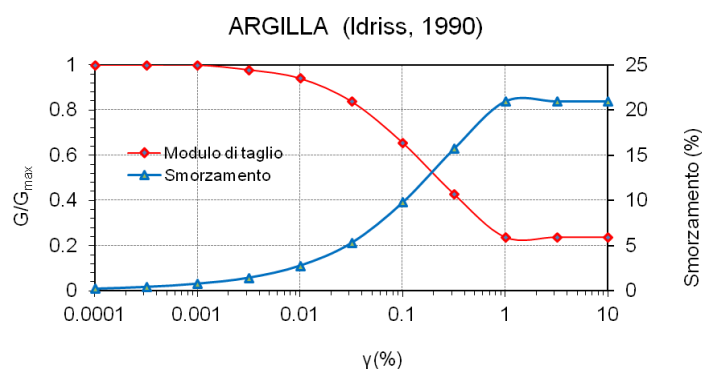


Fig.5.6: Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 41 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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".

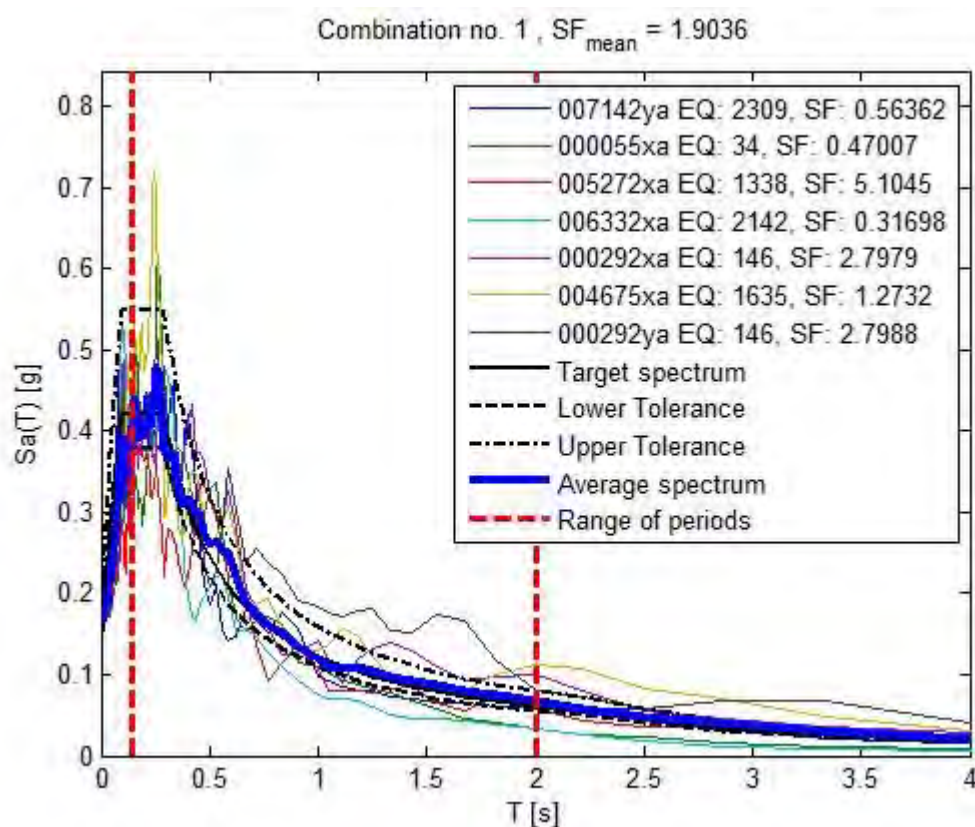


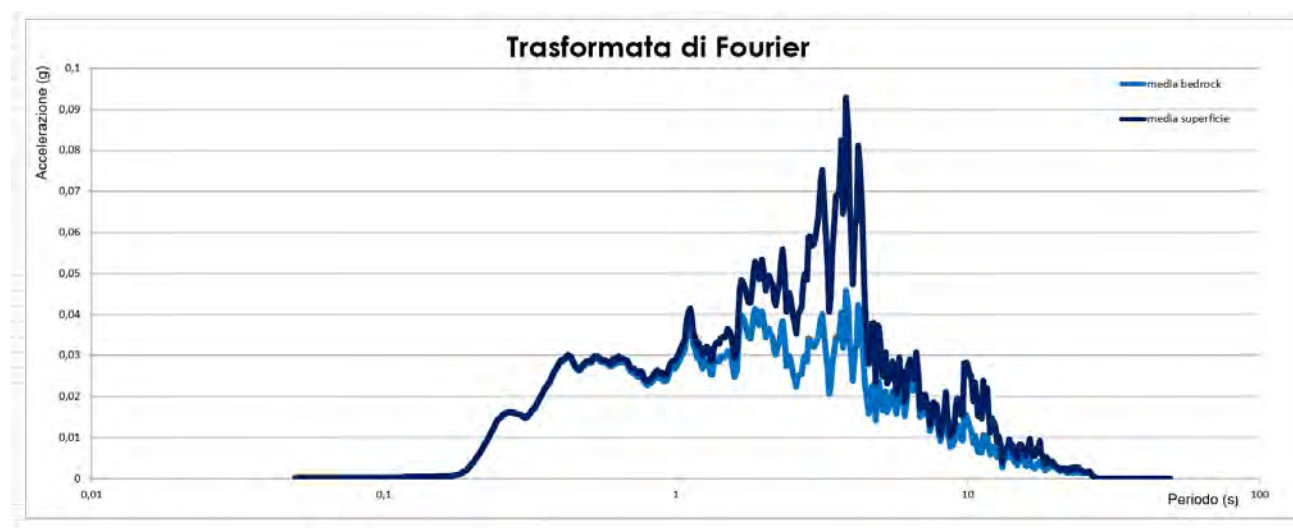
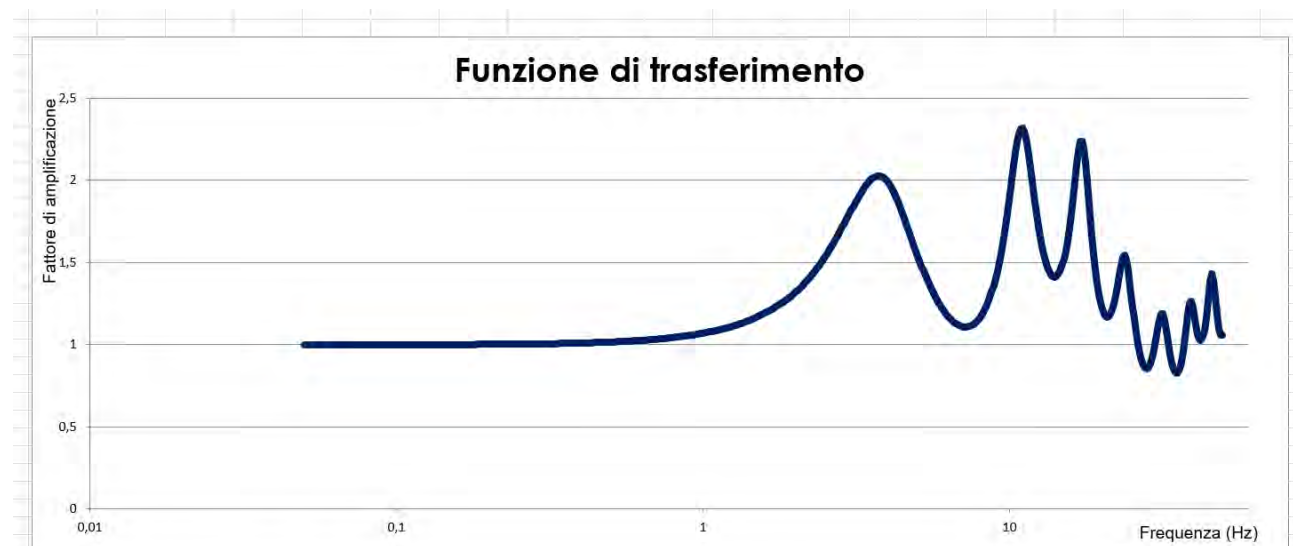
Fig.5.7: Forme spettrali relative agli accelerogrammi considerati.

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

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 42 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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.

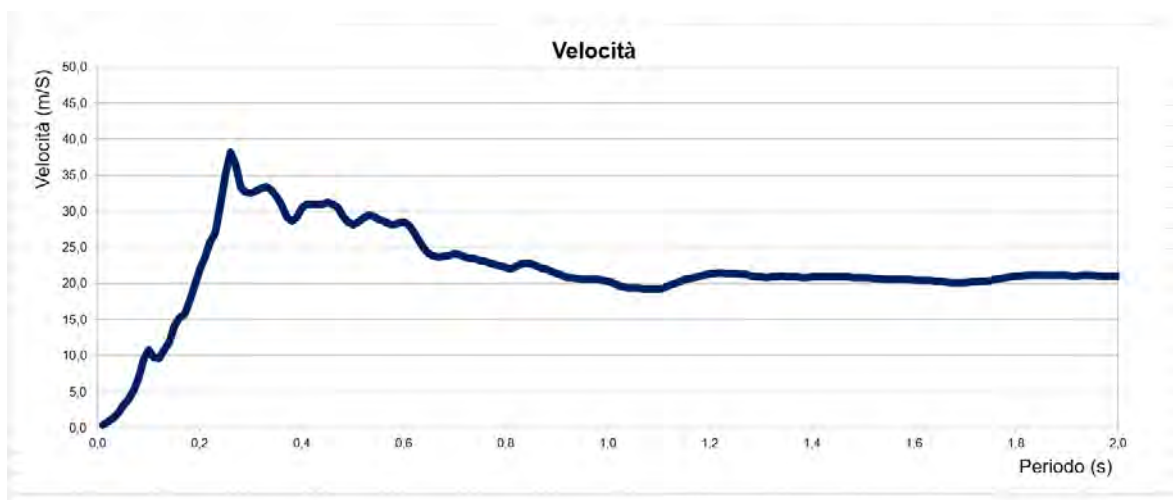
Definiti i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare equivalente e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il sito in oggetto,

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 43 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

attraverso il software STRATA sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:



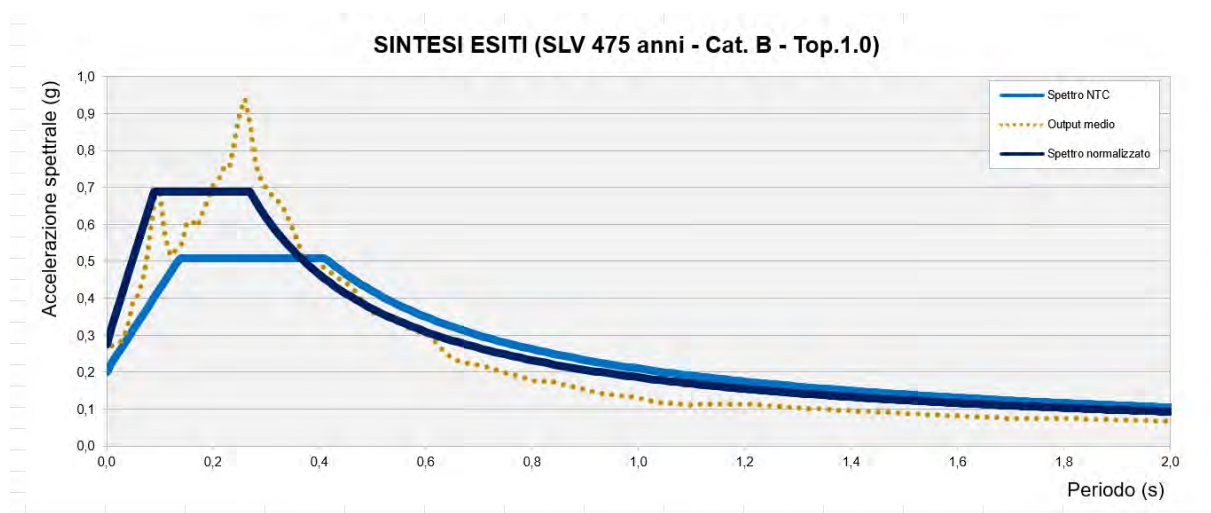
Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)



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".

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 44 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	



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 $A_{max}=0.202$ 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)
0.168	2.500	0.294	0.09	0.27	1.64	0.276

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:

$$\beta_s = 0,24$$

$$\text{Quindi: } K_h = \beta_s \times a_{max} = 0,24 \times 0,276 = 0,066$$

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 45 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

5.3. ANALISI DI STABILITÀ FRONTE DI SCAVO AI SENSI DELLE NTC 2018

A integrazione e aggiornamento della precedente relazione si è reso necessario ripetere le analisi di stabilità relative al fronte di scavo aperto per la messa in opera del manufatto rispettando i criteri di analisi previsti dalle ora vigenti Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018). Preso atto delle variazioni morfologiche attuate nell'area di intervento durante l'avanzamento dei lavori e illustrate nel precedente Cap. 4.2.3, si è ritenuto opportuno valutare la stabilità del fronte di scavo aperto in adiacenza all'opera di presa attraverso analisi specifiche che tengano in considerazione l'attuale stato in essere della scarpata.

5.3.1. Modello del terreno e sezione di riferimento

La modellazione topografica dell'area di interesse è stata ricavata attraverso l'elaborazione dei dati acquisiti con drone, opportunamente calibrati con l'utilizzo di N°4 GCP (Ground Control Point). 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.

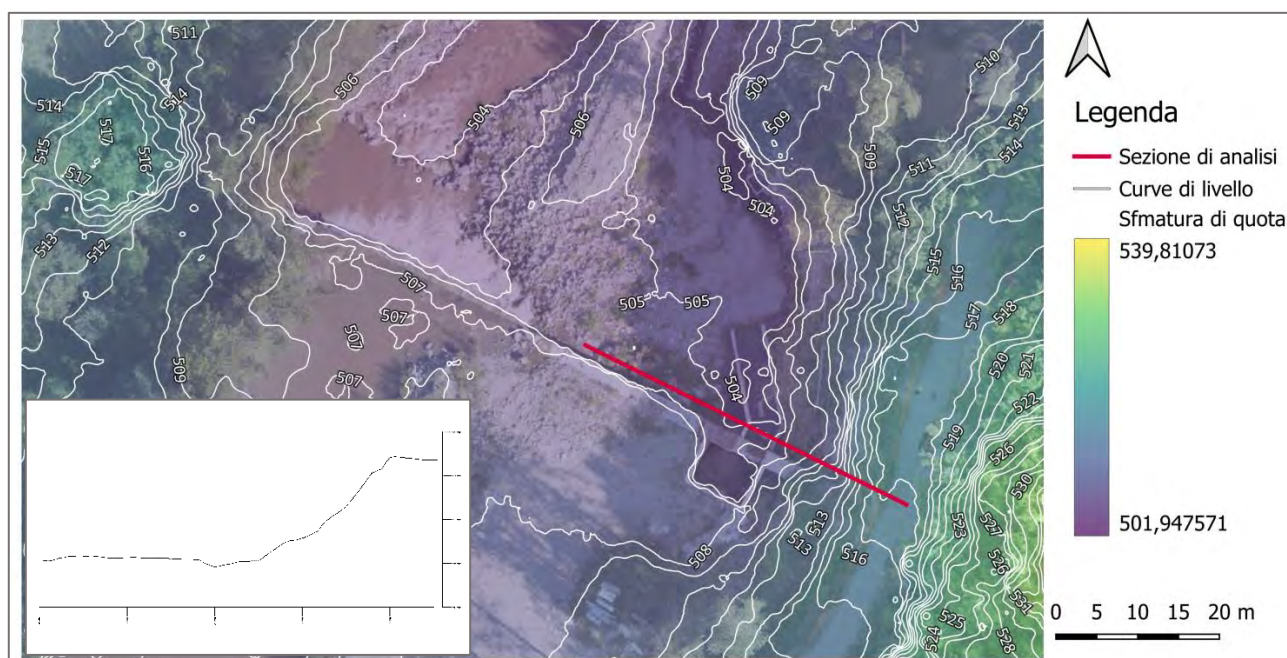


Fig. 5.8: Modello digitale del terreno (DTM) e ubicazione della sezione per l'analisi di stabilità.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 46 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

5.3.2. 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 per 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 ($k_h=0.066$ considerando un β_s pari a 0.24).

5.3.3. Parametri geotecnici caratteristici e di progetto

Lo scavo svolto per l'esecuzione dell'opera ha permesso, durante lo svolgimento dei rilievi in sito, di indagare in maniera diretta le caratteristiche geologiche e geotecniche del sottosuolo, offrendo un quadro differente rispetto a quanto ipotizzato nella precedente Relazione Geologica. Nello specifico, mentre la precedente relazione attribuiva nel punto di scavo la presenza di argille direttamente derivanti dalla Formazione delle Argille a Palombini, lo scavo ha mostrato la presenza di un substrato molto eterogeneo, caratterizzato dalla presenza di ghiaie da medie a molto grossolane, distribuite spesso lungo orizzonti ben distinti e intercalate a una matrice più fine.



Fig. 5.9: Affioramento relativo al fronte di scavo in oggetto.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 47 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

Sulla base di tale premessa e tenendo conto che la precedente relazione, avendo indagato tale pendio soltanto a breve termine, riporta soltanto valori di coesione non drenata (C_u), è stato scelto di attribuire all'unità geotecnica in questione la seguente parametrizzazione, frutto di una stima ragionata e cautelativa basata su valori ottenuti attraverso prove di laboratorio svolte su terreni simili:

Parametro	Valore caratteristico	Coeff. riduzione	Valore di progetto	Unità di misura
Peso di volume γ	18.5	1.0	18.5	kN/m ³
Angolo d'attrito interno ϕ'	35.0	1.25	28	°
Coesione efficace c'	15	1.25	12	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:

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

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).

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 48 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 (ROSCIENCE) ver. 5.0. Successivamente si illustra un compendio sintetico riguardo alla metodologia di analisi LEM secondo Bishop (1955).

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 49 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	



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:

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

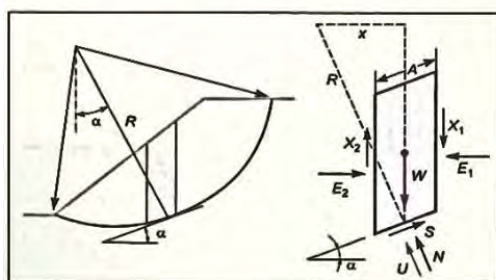


Figura A Forze che agiscono in un conio.

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

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.

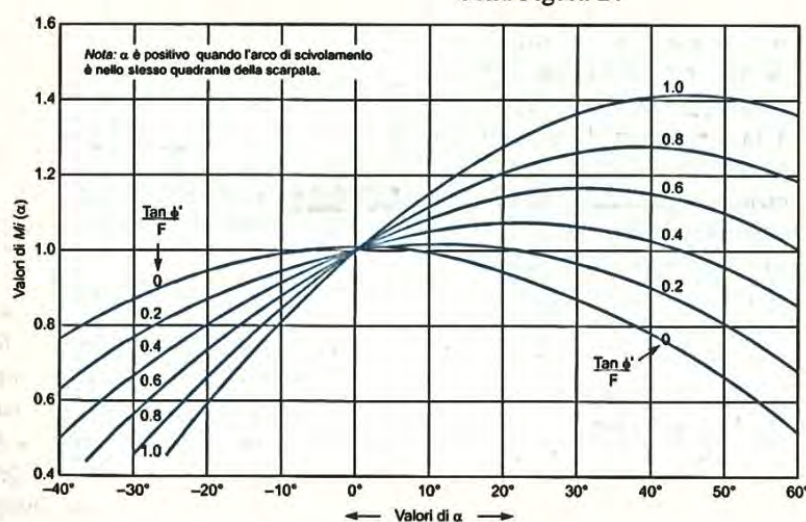


Figura B Abaco per ottenere il valore di $Mi(\alpha)$ dell'espressione di Bishop.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 50 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

5.3.5. Verifica di stabilità – Risultati

I risultati delle analisi svolte lungo la sezione di verifica, esposti nella figura e nella tabella seguente, dimostrano una condizione di generale stabilità della scarpata rimodellata oggetto di intervento, con un punteggio di FS minimo pari a **1.241**.

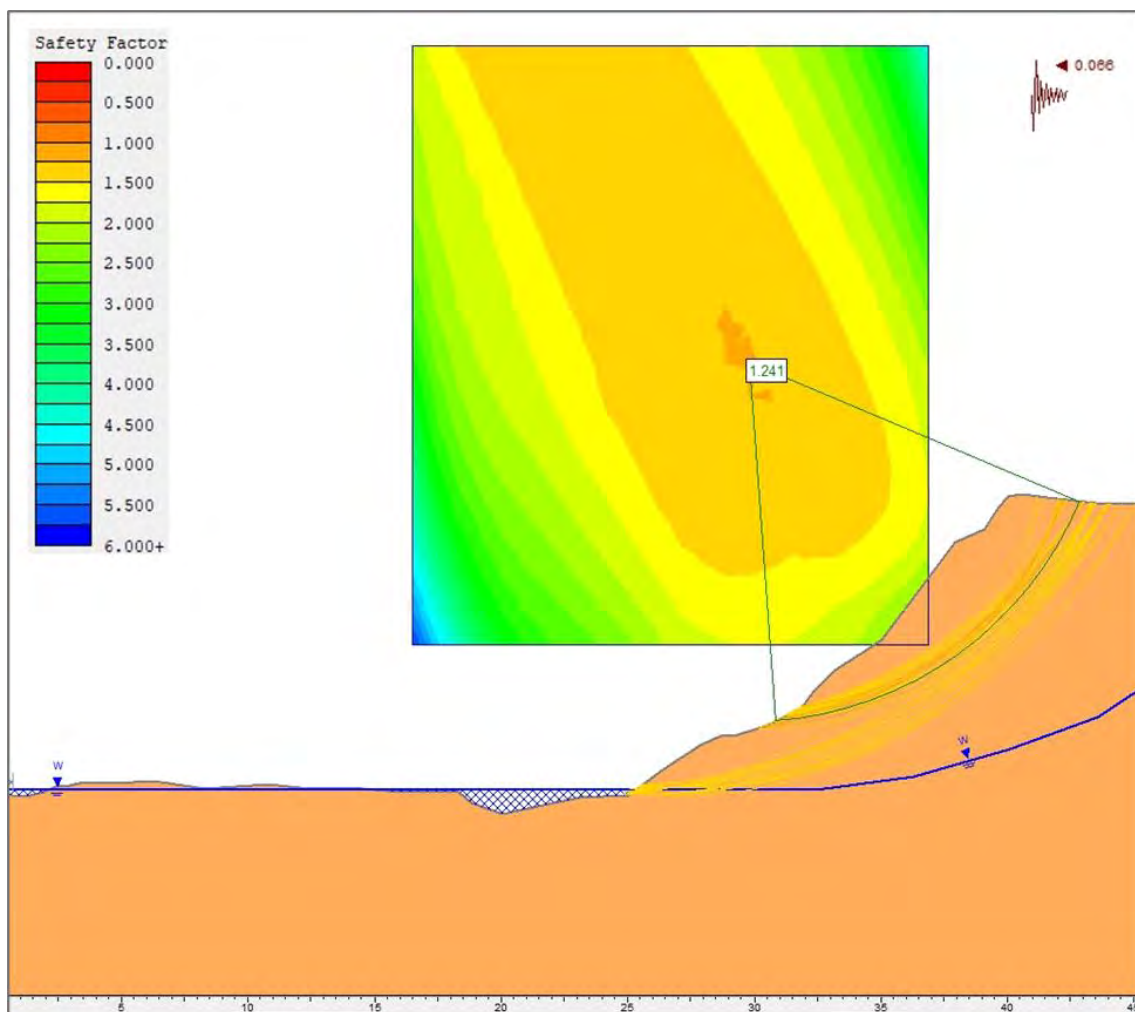


Fig. 5.10: Risultati delle analisi di stabilità svolte (in figura le n°40 superfici a minor FS ottenute)

CONDIZIONI DI VERIFICA – CONDIZIONE LUNGO TERMINE CON ACCELERAZIONE SISMICA IN MODALITÀ PESUDO-STATICA		
Tipologia analisi	Condizione lungo termine - sismica	Tensioni efficaci
Approccio di calcolo	NTC 2018 A2+M2+R2	
Fattore di sicurezza (Fs) Metodo Bishop semplificato	1.241	Fattore sicurezza minimo richiesto: 1.2

Quadro riassuntivo dell'analisi svolta

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 51 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

5.4. AZIONI MIGLIORATIVE PER SCARPATA A MONTE DELL'OPERA

Alla luce delle analisi di stabilità esposte pocanzi, i cui risultati mostrano un valore minimo di FS sufficiente ma comunque molto vicino alla soglia limite prescritta dalle vigenti NTC 2018, si raccomandano in seguito alcuni accorgimenti da adoperare, in aggiunta alle indicazioni esecutive prescritte nella precedente relazione geologica delle quali si ribadisce l'importanza, al fine di migliorare lo stato di stabilità della scarpata in analisi.

Nello specifico, oltre al rimodellamento per gradonatura e l'utilizzo di teloni impermeabili di rivestimento indicati nella Relazione di progetto esecutivo, si raccomanda:

- La rimodellazione del tratto di strada sterrata passante al di sopra della scarpata, con leggera pendenza rivolta verso il versante, finalizzata alla redistribuzione più vantaggiosa di eventuali sovraccarichi momentanei dovuti al passaggio di mezzi pesanti;
- L'esecuzione di adeguate canaline di raccolta e scolo delle acque superficiali sul lato di monte della strada sterrata, lato sul quale il rimodellamento dello sterrato stesso mira a convogliare le acque;
- La messa in opera di una gabbionata al piede della scarpata, che comporterebbe diversi aspetti migliorativi dello stato in essere dell'area, operando come opera di sostegno e di appesantimento al piede della scarpata, mantenendone e migliorandone la capacità di drenaggio e, soprattutto, fungendo da opera di difesa spondale nel caso di eventi di piena.

Si espongono nella pagina seguente le ubicazioni delle opere proposte.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 52 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

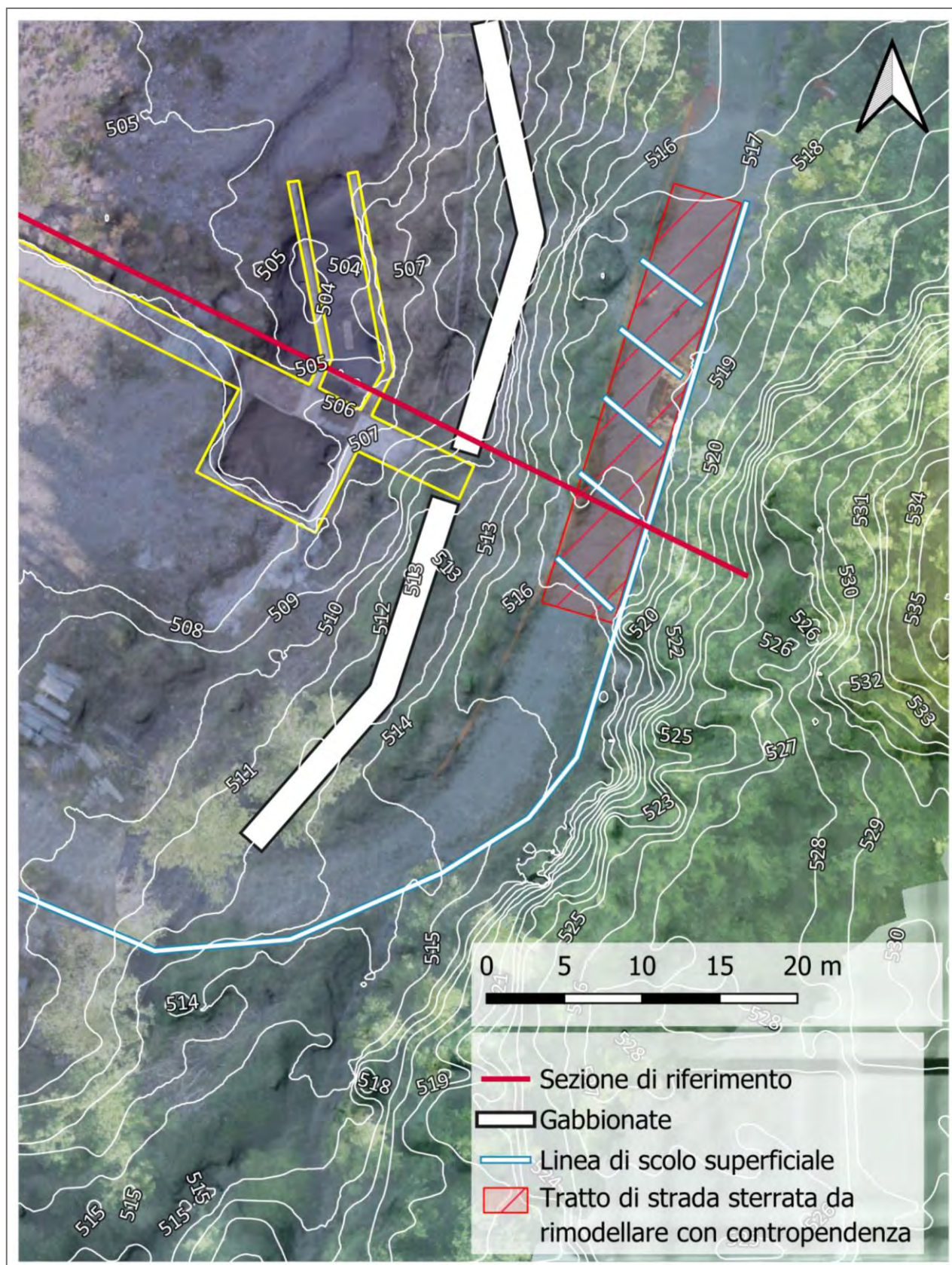


Fig. 5.11: Disposizione (a puro scopo dimostrativo) delle opere migliorative proposte.

Cliente/Customer	Progetto/Project	Descrizione Doc. / Doc. Description	Pagina/Page
Consult A S.r.l.	Nuovo impianto idroelettrico sul torrente Scoltenna - Località Mulino Camatti	RELAZIONE GEOLOGICA - AGGIORNAMENTO	Pag. 53 a 54
		Numero Doc / Doc. Number	

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 località Mulino Camatti del 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 11 ottobre 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;
- In merito alla stabilità globale del versante insistente sul tratto di torrente in analisi, non sono emerse evidenze di nuovi movimenti o indizi che suggeriscano la possibile riattivazione dei fenomeni in stato di quiescenza descritti nel Capitolo 2.3;
- È stata svolta l'opportuna integrazione allo studio di sismicità locale e alle analisi di stabilità sul fronte di scavo in adiacenza all'opera in esecuzione, quest'ultima svolta su modelli topografici aggiornati e rappresentativi dell'attuale stato di fatto.
- Poiché il valore minimo ottenuto di FS è comunque molto vicino alla soglia limite prescritta dalle vigenti NTC 2018, si raccomanda di adottare le indicazioni esecutive proposte nella precedente relazione, quali rimodellamento per gradonatura e utilizzo di teloni impermeabili di rivestimento, unitamente alle indicazioni esecutive riportate nel precedente capitolo.

In conclusione, il presente studio non ha riscontrato cambiamenti significativi nell'area di interesse e mantiene, rimandando al rispetto delle indicazioni esecutive presenti nella presente e nella precedente relazione, la valutazione di fattibilità precedentemente espressa.

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

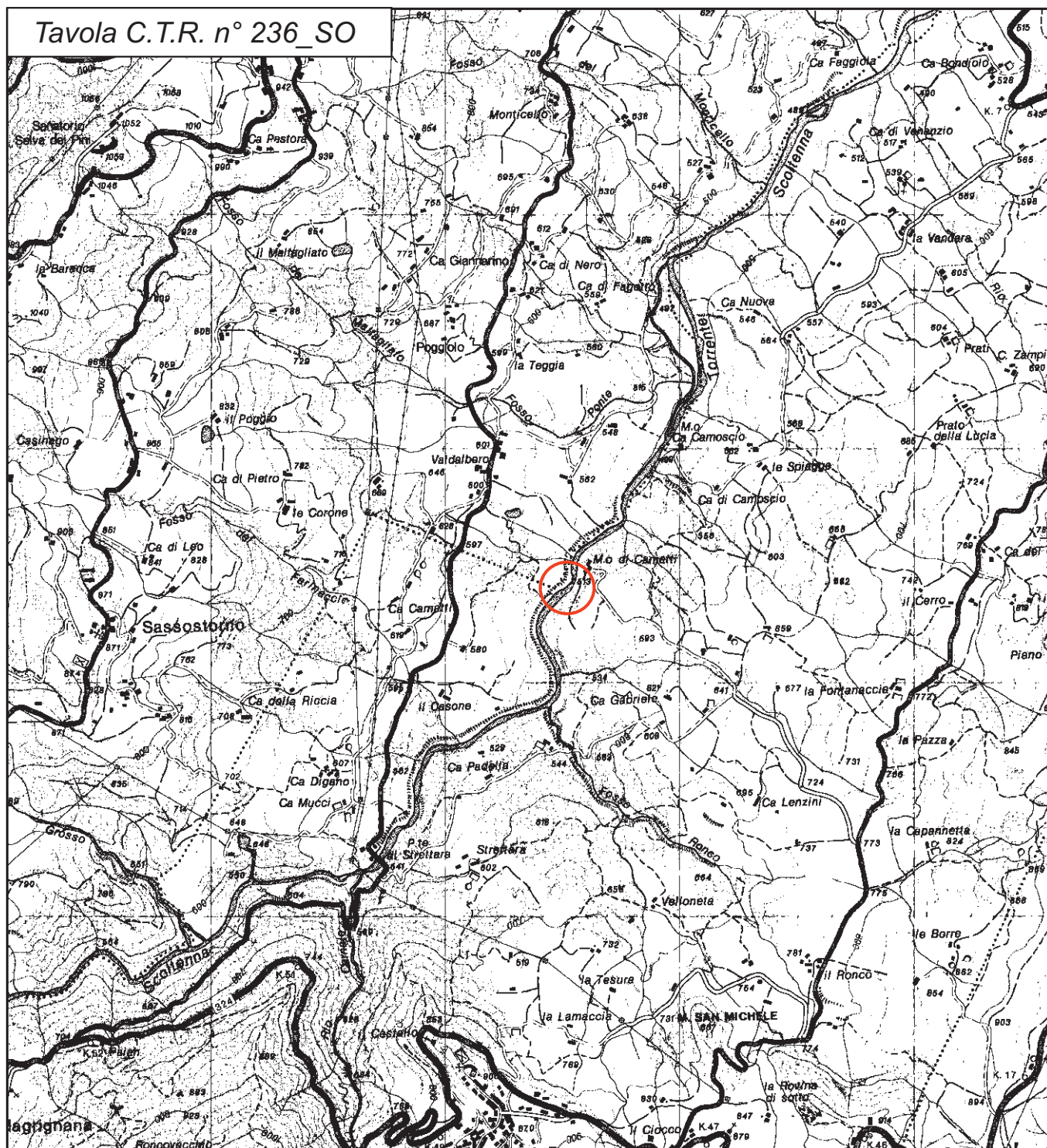
5 ``Y[Utc 'b"%Tavole

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



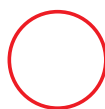
Area di interesse

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

This is a detailed topographic map of a region in the northern part of Italy, likely in the Trentino-Alto Adige area. The map features contour lines indicating elevation, with numerous numerical values (e.g., 656.0, 642.0, 601.0, 571.0, 564.0, 554.0, 552.0, 550.0, 548.0, 546.0, 544.0, 542.0, 540.0, 538.0, 536.0, 534.0, 532.0, 530.0, 528.0, 526.0, 524.0, 522.0, 520.0, 518.0, 516.0, 514.0, 512.0, 510.0, 508.0, 506.0, 504.0, 502.0, 500.0, 498.0, 496.0, 494.0, 492.0, 490.0, 488.0, 486.0, 484.0, 482.0, 480.0, 478.0, 476.0, 474.0, 472.0, 470.0, 468.0, 466.0, 464.0, 462.0, 460.0, 458.0, 456.0, 454.0, 452.0, 450.0, 448.0, 446.0, 444.0, 442.0, 440.0, 438.0, 436.0, 434.0, 432.0, 430.0, 428.0, 426.0, 424.0, 422.0, 420.0, 418.0, 416.0, 414.0, 412.0, 410.0, 408.0, 406.0, 404.0, 402.0, 400.0, 398.0, 396.0, 394.0, 392.0, 390.0, 388.0, 386.0, 384.0, 382.0, 380.0, 378.0, 376.0, 374.0, 372.0, 370.0, 368.0, 366.0, 364.0, 362.0, 360.0, 358.0, 356.0, 354.0, 352.0, 350.0, 348.0, 346.0, 344.0, 342.0, 340.0, 338.0, 336.0, 334.0, 332.0, 330.0, 328.0, 326.0, 324.0, 322.0, 320.0, 318.0, 316.0, 314.0, 312.0, 310.0, 308.0, 306.0, 304.0, 302.0, 300.0, 298.0, 296.0, 294.0, 292.0, 290.0, 288.0, 286.0, 284.0, 282.0, 280.0, 278.0, 276.0, 274.0, 272.0, 270.0, 268.0, 266.0, 264.0, 262.0, 260.0, 258.0, 256.0, 254.0, 252.0, 250.0, 248.0, 246.0, 244.0, 242.0, 240.0, 238.0, 236.0, 234.0, 232.0, 230.0, 228.0, 226.0, 224.0, 222.0, 220.0, 218.0, 216.0, 214.0, 212.0, 210.0, 208.0, 206.0, 204.0, 202.0, 200.0, 198.0, 196.0, 194.0, 192.0, 190.0, 188.0, 186.0, 184.0, 182.0, 180.0, 178.0, 176.0, 174.0, 172.0, 170.0, 168.0, 166.0, 164.0, 162.0, 160.0, 158.0, 156.0, 154.0, 152.0, 150.0, 148.0, 146.0, 144.0, 142.0, 140.0, 138.0, 136.0, 134.0, 132.0, 130.0, 128.0, 126.0, 124.0, 122.0, 120.0, 118.0, 116.0, 114.0, 112.0, 110.0, 108.0, 106.0, 104.0, 102.0, 100.0, 98.0, 96.0, 94.0, 92.0, 90.0, 88.0, 86.0, 84.0, 82.0, 80.0, 78.0, 76.0, 74.0, 72.0, 70.0, 68.0, 66.0, 64.0, 62.0, 60.0, 58.0, 56.0, 54.0, 52.0, 50.0, 48.0, 46.0, 44.0, 42.0, 40.0, 38.0, 36.0, 34.0, 32.0, 30.0, 28.0, 26.0, 24.0, 22.0, 20.0, 18.0, 16.0, 14.0, 12.0, 10.0, 8.0, 6.0, 4.0, 2.0, 0.0). The map shows several towns and villages, including Valdabero, Camosci, Muccia, and Muccia. A red circle highlights a specific point on the map, located near the center-right, at an elevation of approximately 505.0 meters. The map also shows the Torrente Scoltenna and the Fosso Scoltenna. The map is titled 'Sezione C.T.R. n. 236090' in the top left corner.



Scala 1: 10000



Area di interesse

GEO GROUP s.r.l.

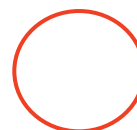
Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it



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

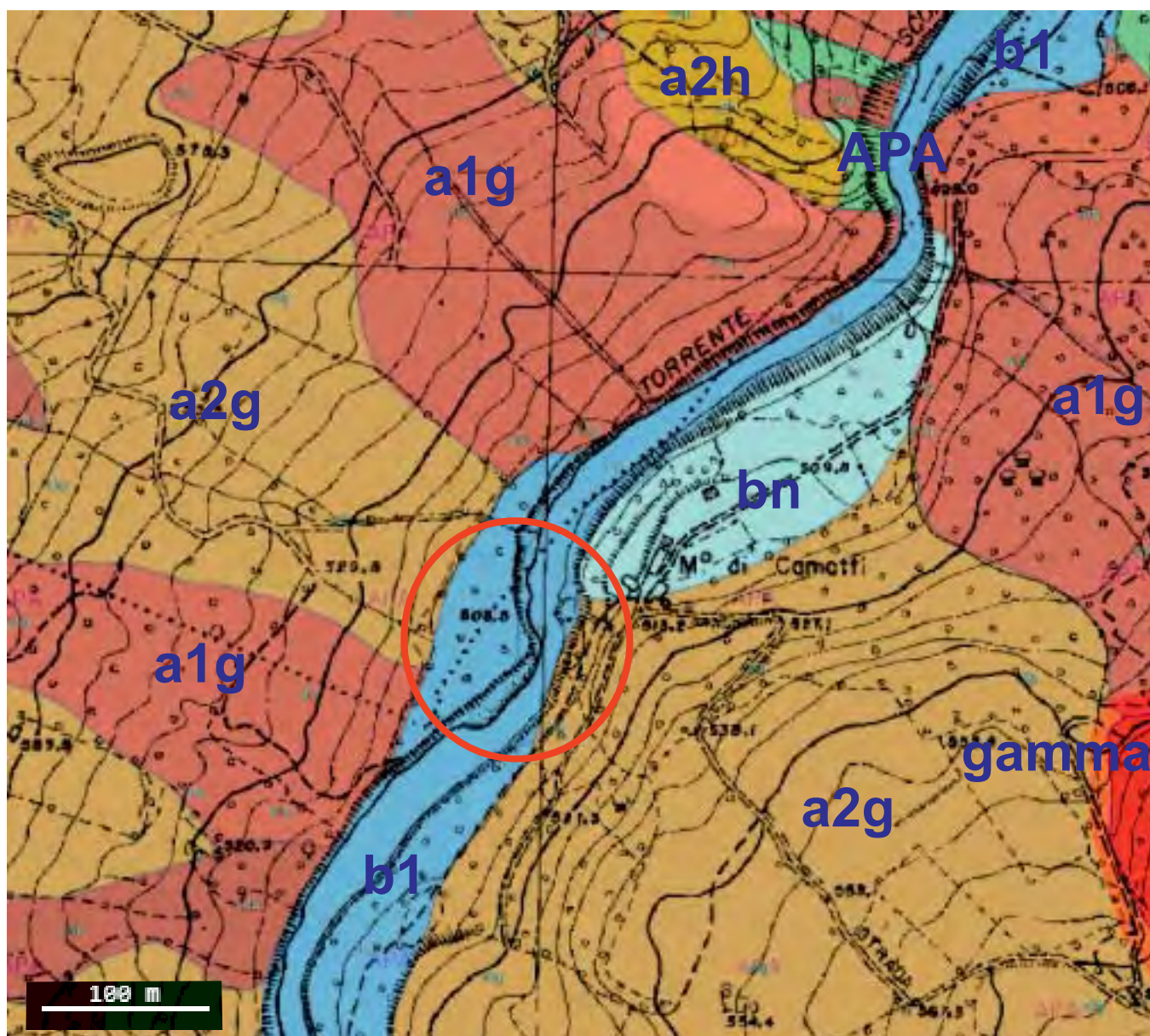
Legenda

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
- gamma** - Gabbri

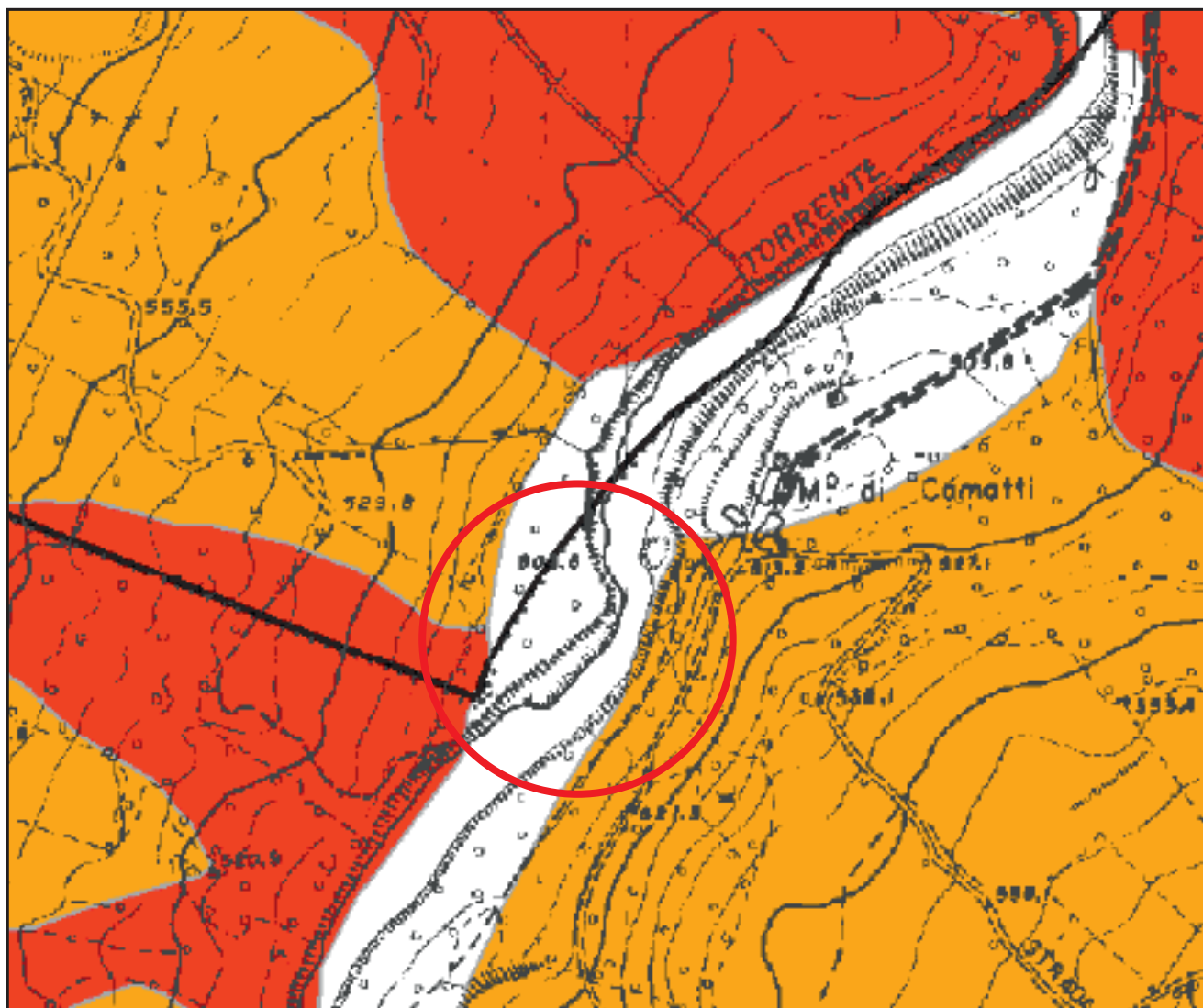
 Area di interesse



Tratta da: <https://mappe.regione.emilia-romagna.it>

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- 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 - - - - - Limite di Provincia ——— Limite di Comune

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 CAMATTI, HVSR 1

Instrument: TZB-0123/01-20

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 179

Start recording: 26/09/2023 08:47:18 End recording: 26/09/2023 09:07:18

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 97% trace (manual window selection)

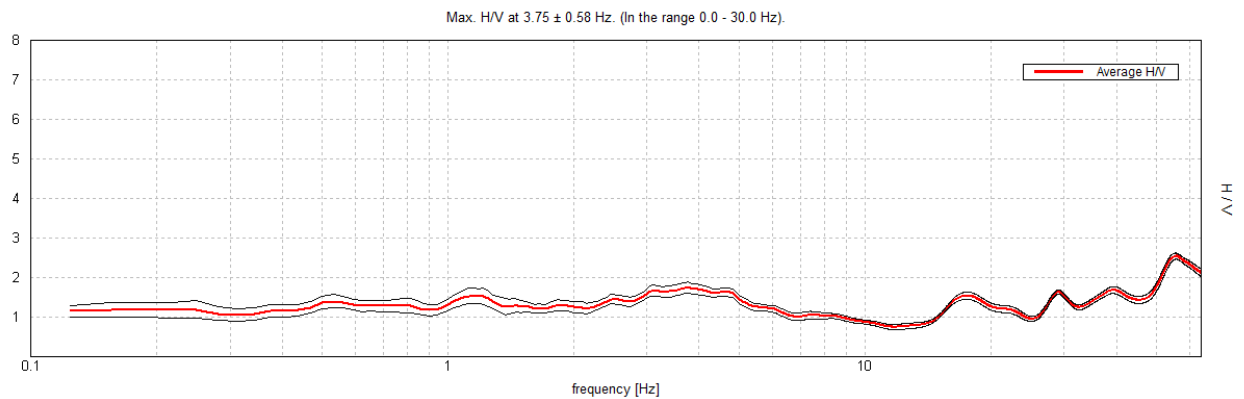
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

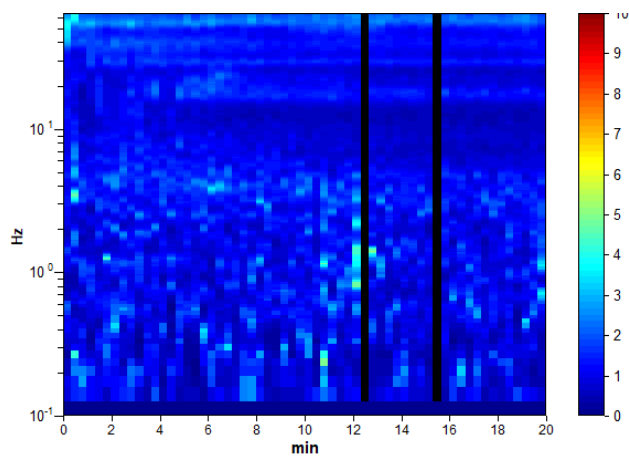
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

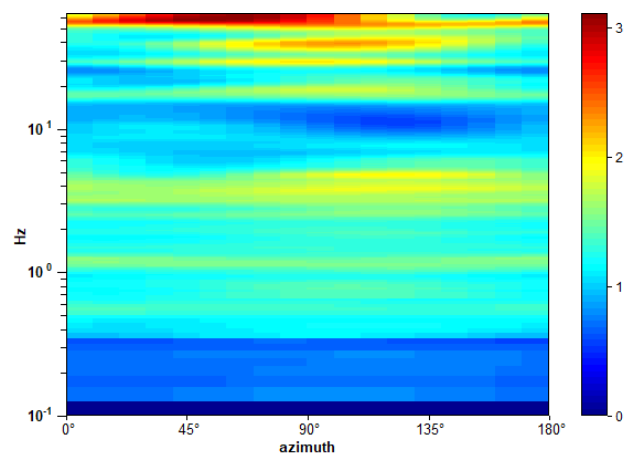
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



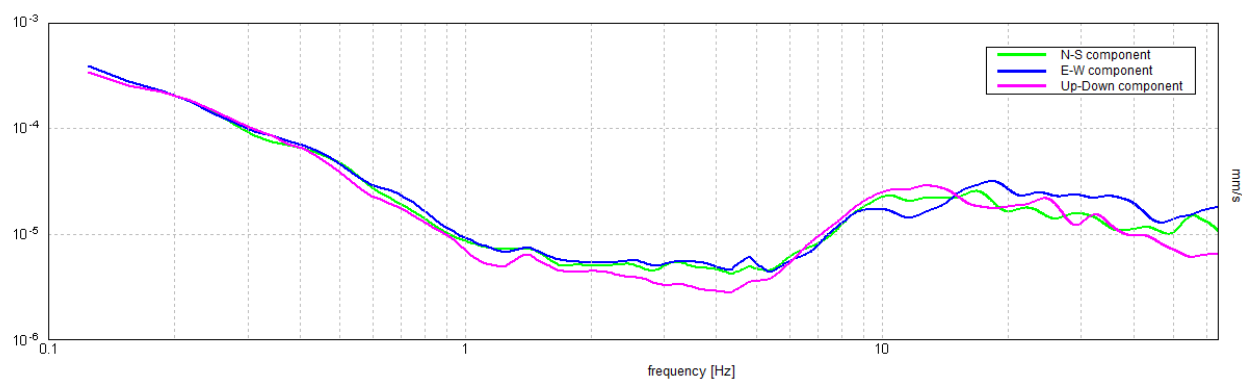
H/V TIME HISTORY



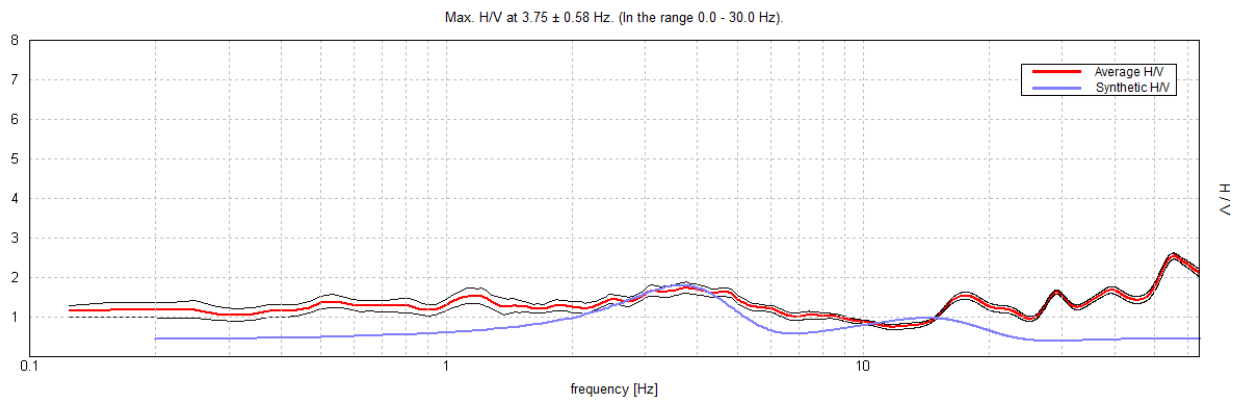
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

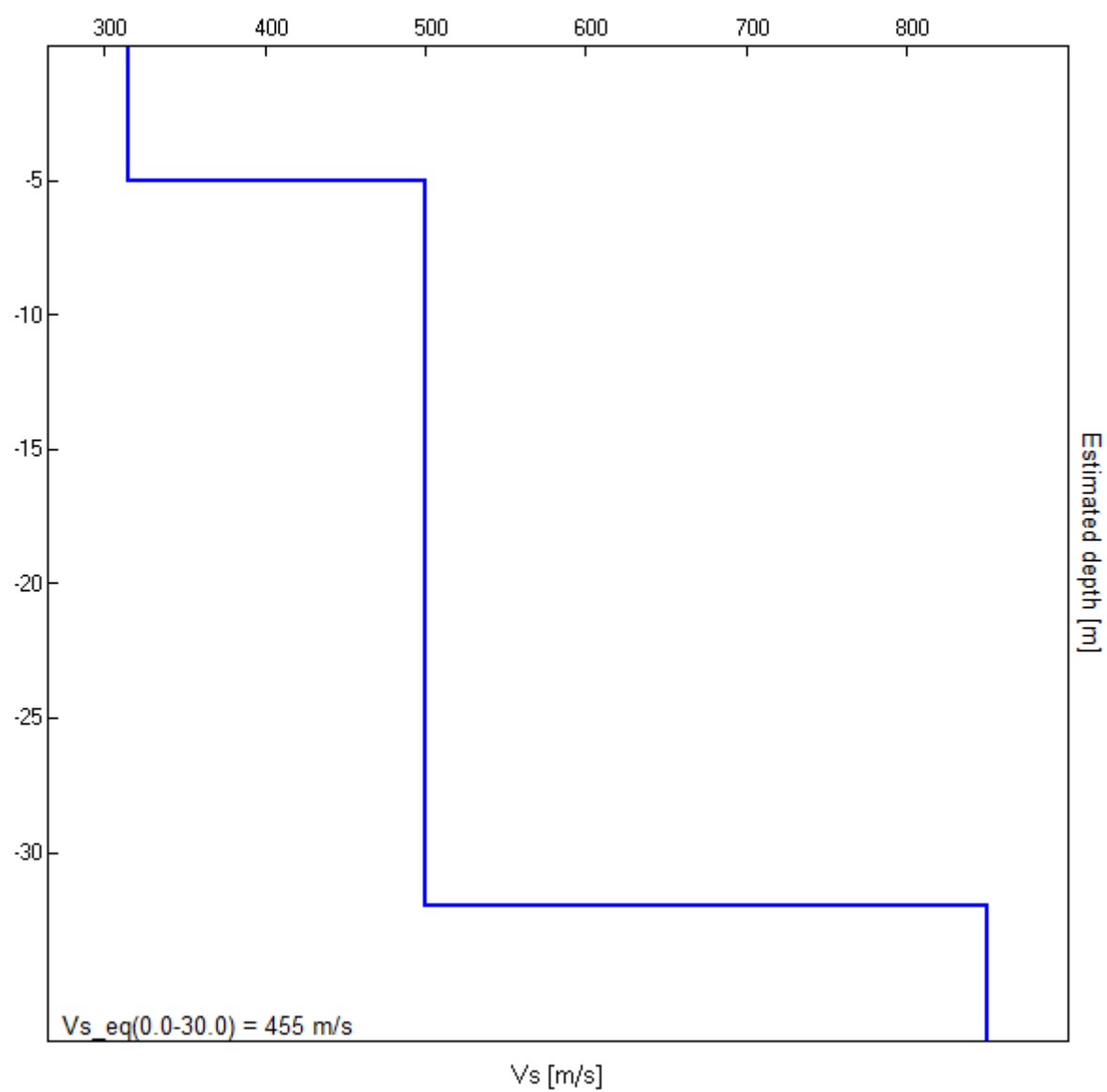


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
5.00	5.00	315	0.42
32.00	27.00	500	0.42
inf.	inf.	850	0.42

$$V_{s_eq}(0.0-30.0) = 455 \text{ m/s}$$



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

Max. H/V at 3.75 ± 0.58 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4350.0 > 200$	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 181 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	10.125 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.75 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15376 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.57659 < 0.1875$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1389 < 1.58$	OK	

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

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