REGIONE LIGURIA

COMUNE di MENDATICA

Provincia di Imperia

Oggetto: *"Ripristino dell'officiosità idraulica del Torrente Arroscia con la contestuale messa in sicurezza dei versanti limitrofi la viabilità provinciale e gli immobili comunali*

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA
E DI PERICOLOSITA' SISMICA

D.M. 17/01/2018

Albenga, aprile 2021

COMMITTENTE: COMUNE DI MENDATICA

PROGETTISTA: Ing. TARANTINO Luca

Dott. Geol. MACCIO' M. Roberto
Via Bellò,4-S.Fedele 17031 ALBENGA (SV)
Iscrizione O.R.G.L. n° 168
Tel./fax 0182-548404
e.mail: macciogeo@alice.it

Dott. Geol. ARRIGHETTI Fabio
Iscrizione O.R.G.L. n° 583

Dott. Geol. MACCIO' Tommaso
Iscrizione O.R.G.L. n° 670

INDICE

1. PREMESSA.....pag.1

2. TIPOLOGIA DEL DISSESTO.....pag.2

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO SITO INTERVENTO....pag.3

4. IDROGEOLOGIA DEL SITO INTERVENTO pag.4

5. COMPATIBILITA' CON IL PIANO DI BACINO DEL F.CENTA pag.4

6. PROVE SCLEROMETRICHE CON IL MARTELLO DI SCHMIDT.....pag.5

7. INDAGINE SISMICA HVSR pag.6

8. SISMICITA' DEL SITO INTERVENTO pag.12

9. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE pag.17

10. VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE.....pag.17

10.1 STABILITA' GLOBALE – STATO DI PROGETTO – SEZIONE 4 .....pag.19

10.2 STABILITA' GLOBALE – STATO DI PROGETTO – SEZIONE 7 .....pag.21

11. INDICAZIONI OPERATIVE.....pag.24

ALLEGATI

Allegato n.1	Documentazione fotografica stato dei luoghi colpiti dall'evento alluvionale del 2/3 ottobre 2020	
Allegato n.2A-2B	Prove sclerometriche	
Allegato n.3	Spettri di risposta sismica	
TAV 1	COROGRAFIA	C.T.R. scala 1:5.000
TAV 2	STRALCI PIANO DI BACINO	scala 1:5.000
TAV 3A	CARTA GEOLOGICA	scala 1:10.000
TAV 3B	CARTA IDROGEOLOGICA	scala 1:5.000
TAV 4	DELIMITAZIONE PALEOFRANA	non in scala
TAV 5	CARTA DI ANALISI	scala 1:500
TAV 6A-6B	SEZIONI GEOLOGICHE DI PROGETTO	scala 1:200

1. PREMESSA

La presente relazione esprime i risultati dell'indagine geologica riferita al progetto di ripristino dell'officiosità idraulica del Torrente Arroscia con la contestuale messa in sicurezza dei versanti limitrofi la viabilità provinciale e gli immobili comunali, redatto dall'ing. Tarantino Luca, a seguito finanziamento danni alluvionali.

In riferimento al D.M. 17.01.2018 la Classe d'uso delle costruzioni in progetto è la **Classe I** (Costruzioni con *occasionale presenza di persone*) (NTC 2018 -2.4.2.).
Questa relazione, pertanto, seguendo i dettami della norma vigente e dello stato dell'arte, è finalizzata alla definizione del **modello geologico e geotecnico**.

L'indagine complessiva è stata condotta in riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 17.01.2018 "Decreto Ministeriale – Testo Unitario – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni",
- Circolare 7 del 21-01-2019 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni",
- O.P.C.M. 3519/2006 "Nuova Classificazione sismica del territorio della Regione Liguria",
- D.L.180/1998 convertito in L.267/1998 "Normativa di Piano di Bacino",
- D.G.R.1423/2013 "Terre e rocce da scavo"
- D.P.R.120/2017 "Regolamento e disciplina gestione delle terre e rocce da scavo"
- Delibera n.54/2019 ISPRA "Linee guida terre e rocce da scavo"
- Legge 156/2019 "Decreto sisma"

Sono stati perseguiti i seguenti obiettivi:

- definizione del "modello geologico" del sottosuolo del sito intervento;
- definizione del "modello idrogeologico" del sottosuolo del sito intervento;
- caratterizzazione geologico-tecnica del substrato fondazionale delle opere in progetto;

I risultati esposti di seguito si basano su:

- rilevamento geologico di campagna

- esecuzione prove sclerometriche su ammasso roccioso;
- risultati delle numerose prove geognostiche eseguite a supporto dello studio della paleofrana di Mendatica;
- risultati dei sistemi di monitoraggio della paleofrana di Mendatica.

2. TIPOLOGIA DEL DISSESTO

Il regime di piena del T. Arroscia conseguente all'evento alluvionale del 2/3 ottobre 2020 ha eroso significativamente la sponda sinistra nel tratto dei fabbricati dell'Antico Molino causando il crollo dei muri esistenti (cfr foto n.1-2 in allegato n.1), la sottoescavazione del ponte stradale della S.P. n.3 ed il danneggiamento delle reti fognarie ed elettriche rese inagibili (cfr foto n.3 in allegato n.1).

Tale evento, secondo i dati rilevati nella stazione pluviometrica di Mendatica (di proprietà del Comune), ha registrato una cumulata di precipitazioni di 562.2 mm nel periodo compreso tra il 2/10/2020 e le prime ore del 03/10/2020, come illustrato nel grafico sottostante.

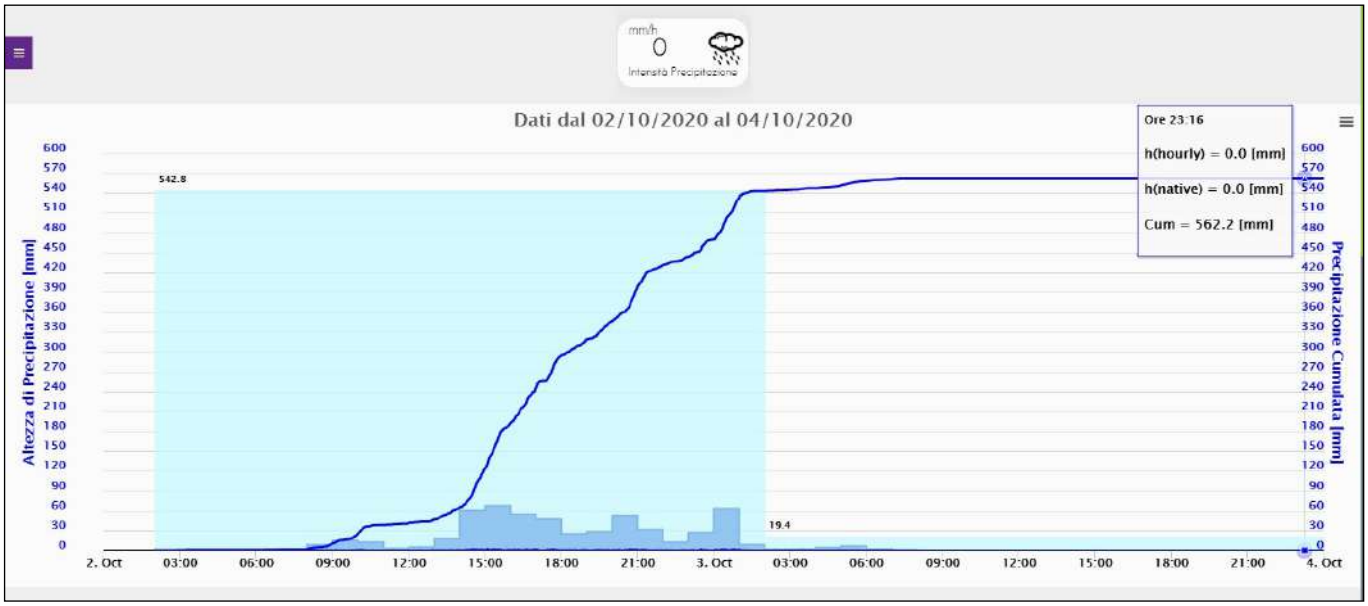


Fig.1 – Dati pluviometrici evento meteorico 2-3 ottobre 2020 (stazione Marconi – Mendatica)

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO SITO INTERVENTO

Il tratto di alveo del T.Arroscia, compreso da monte del ponte della S.P. n.3 sino al fabbricato della centrale idroelettrica del mulino, è stato interessato pesantemente dall'evento alluvionale del 2/3 ottobre 2020, che ha demolito interamente il fabbricato della centrale del mulino, alcune scogliere di sostegno, alcuni salti di fondo e completamente asportato la sede della strada carrabile che portava all'opera di presa che alimentava la centralina idroelettrica.

Anche il ponte della S.P.3 ha subito danni alle pile in alveo ed è oggetto di intervento da parte della Provincia.

Il tratto di alveo è profondamente inciso con in sponda destra pareti acclive rocciose che presentano una discreta suscettibilità al dissesto perché interessate da forte erosione ed in sponda sinistra è presente il deposito dell'estesa paleofrana di Mendatica interessata da una riattivazione nel settore del Capoluogo di Mendatica, come verificabile sia dalla carta geologica di TAV.3A che dalla carta TAV.3B stralcio dell'indagine eseguita dagli scriventi per lo studio della paleofrana e della TAV.4 Delimitazione Paleofrana.

L'erosione prodotta dall'evento di piena ha messo alla luce il deposito della paleofrana costituito da blocchi arenacei compatti in terreno ghiaioso argilloso. Pertanto il limite della paleofrana è da considerarsi coincidente con il T. Arroscia mentre nella TAV.4 era stato fissato lungo la S.P. n.3.

Tale fattore deve essere considerato nella progettazione strutturale.

Il deposito di paleofrana ha una matrice limoso – argillosa contenente detriti litoidi arrotondati a litologia calcarea ed arenacea con blocchi a volume plurimetrico (cfr TAV.6A-6B sezioni geologiche). Tali blocchi plurimetrici di estrema compattezza presenti alla base della sponda possono svolgere una funzione di protezione della prevista opera spondale.

Invece il deposito alluvionale è costituito da una matrice ghiaioso – sabbiosa con blocchi litoidi arrotondati arenacei con volume sino a plurimetrico.

Inoltre lungo l'alveo sono presenti blocchi mobili di volume unitario da metrico a plurimetrico di litologia flyschoide, provenienti dal tratto di monte del Torrente Arroscia.

Il substrato roccioso in posto affiora diffusamente lungo le scarpate (cfr TAV.5 carta di analisi) ed appartiene alla Formazione di Testico, Membro di Pieve di Teco, composto da calcari marnosi, stratificati e interessati da giunti di fratturazione.

La giacitura della stratificazione è costante con valori tra:

Immersione N320-300 inclinazione 30-35
in condizioni da reggipoggio in sponda sinistra e a franapoggio rispetto alla sponda destra del tratto di alveo in oggetto.
L'assetto stratigrafico è rappresentato nelle sezioni geologiche di TAV.6A – 6B.
L'area in dissesto si è sviluppata anche nel tratto a monte del ponte sulla S.P.3, sempre in sponda sinistra, in corrispondenza della confluenza con il Rio Mulino che, a seguito degli intensi eventi meteorici verificati, ha contribuito all'erosione spondale ed al trasporto solido detritico in questo tratto, la cui evoluzione potrebbe portare ad un parziale/totale sbarramento del T.Arroscia.

4. IDROGEOLOGIA DEL SITO INTERVENTO

È presente una falda acquifera di subalveo del T.Arroscia permanente per tutto l'anno, che interessa il modesto spessore del deposito alluvionale attuale ed antico, mentre a seguito di eventi meteorici si attivano scorrimenti idrici lungo il deposito di paleofrana e negli strati rocciosi interessati da fratturazione, come verificato in sito durante sopralluoghi successivi a precipitazioni atmosferiche.
Il regime torrentizio del corso d'acqua esercita una notevole erosione di fondo alveo e spondale che ha portato all'evidente situazione di dissesto dell'area ed ha provocato una vistosa asportazione di materiale sottofondazionale delle pile del ponte della S.P.3, oggetto di recente consolidamento in sponda destra.

5. COMPATIBILITA' CON IL PIANO DI BACINO DEL F. CENTA

Nella TAV.2 si riportano gli stralci cartografici del Piano di Bacino in vigore dal 14/11/2002, aggiornato con D.P.C. n° 47/2003 e s.m.i.

L'ubicazione puntuale dell'area dell'intervento è specificata negli stralci cartografici riportati in TAV.2 a cui si rimanda, mentre quì di seguito se ne sintetizzano le norme:

CARTA	***NORMATIVA INTERVENTO***
SUSCETTIVITA' AL DISSESTO DEI VERSANTI	In Pg2 area a suscettività al dissesto media
FASCE DI INONDABILITA'	Tratto non indagato
INTERVENTI	Non è previsto nessun intervento
RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE	Ricade in alveo del T.Arroscia

Gli interventi di ripristino opere idrauliche in progetto ricadono in area Pg2 come indicato in TAV.2 e sono compatibili con la normativa del Piano di Bacino e con le disposizioni del Regolamento Regionale n.3 del 2011 e s.m.i., ma deve essere richiesta l'autorizzazione idraulica (ex R.D.523/1904 e s.m.i.) all'Ufficio competente del Settore Difesa del Suolo di Imperia.

6. PROVE SCLEROMETRICHE CON IL MARTELLO DI SCHMIDT

Sono state eseguite prove sclerometriche sia sull'ammasso roccioso in posto, sia sui blocchi non in posto presenti lungo l'alveo del T.Arroscia (cfr allegato 2A - 2B).
La prova viene effettuata attraverso il martello di Schmidt (sclerometro di tipo L – modello 45-D561 Controls), per definire le caratteristiche di resistenza del giunto.

La procedura per l'esecuzione delle prove sclerometriche consiste nel misurare la risposta della roccia all'urto di un pistoncino, attraverso l'indice del rimbalzo R in direzione perpendicolare alla superficie rocciosa, direttamente in sito.
Facendo una media su i cinque valori maggiori dei rimbalzi, ottenuti su gruppi di 10 misure, (indicazioni ISRM -International Society of Rock Mechanics-) mediati e corretti in funzione dell'orientazione dello sclerometro, si ottiene, attraverso correlazioni, una stima del valore di resistenza alla compressione uniassiale JCS; analogo il risultato è ottenibile da un apposito abaco.

I valori così ottenuti, indicano una roccia **con JCS = 58.8 ÷ 175.1 MPa**, che definisce una **roccia con resistenza alla compressione monoassiale da media ad alta** (cfr. Tabella seguente, intervallo 50 ÷ 100 e 100 ÷ 250 MPa).

σ_c (MPa)	Resistenza della roccia alla compressione monoassiale
< 25	molto bassa
25-50	bassa
50-100	**media**
100-250	**alta**
>250	molto alta

Partendo dai parametri geomeccanici rilevati, con la classificazione di Bieniawski è possibile dare un'indicazione sul grado di qualità dell'ammasso roccioso e sui parametri di resistenza e deformabilità (c,φ).

L'ammasso roccioso analizzato nel complesso è attribuibile **alla classe III di Bieniawski**, ovvero **roccia di discreta qualità**.

Si tratta di **un ammasso roccioso di discrete qualità geomeccaniche, cavabile con media difficoltà** e con produzione di blocchi tabulari non idonei per la formazione di scogliere perché alterabili. Infatti per lo sbancamento di questo litotipo sarà necessario l'utilizzo di un martellone demolitore pesante.

All'ammasso roccioso in posto è attribuibile un indice di escavabilità della classe 3 secondo Scoble (1990).

Mentre la resistenza a compressione monoassiale dei blocchi rocciosi non in posto, levigati dalla azione della corrente, privi di giunti di discontinuità è risultata molto elevata (JCS=175,1 MPa) ricadente nella classe 5, con assetto strutturale che conferisce ai blocchi una difficoltà alla demolizione, che richiede l'uso di esplosivi in appositi fori perforati. Tale fattore viene fornito nel caso si volesse ridurre la volumetria plurimetrica di blocchi arenacei presenti per utilizzarli nella formazione delle soglie e scogliere in progetto.

7. INDAGINE GEOFISICA HVSR

Il giorno 13-04-2021 è stata eseguita, a supporto della progettazione dell'intervento, la prova geofisica HVSR la cui ubicazione è riportata sulla documentazione fotografica in Allegato n.1 e TAV.5 carta di analisi.

Al fine della determinazione della frequenza fondamentale (f_0) del sito di studio e il calcolo della Vs equivalente della singola postazione finalizzata alla definizione della

categoria sismica del sottosuolo secondo le NTC 2018, è stata effettuata un'indagine geofisica consistente in una misura di rumore ambientale (microtremore), poi elaborata mediante la tecnica Nakamura (Nakamura, 1989).

L'acquisizione dei dati è stata eseguita con un tromometro digitale che contiene al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro, ad alta risoluzione.



Fig.3 – Tromografo a 24 bit "Ufo".

In dettaglio il tromografo è composto da Master Theremino con scheda ADC 24 BIT - 16 CANALI, un adconverter molto sensibile con possibilità di amplificare ogni canale con un gain 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 x, con n.3 geofoni da 4.5 Hz (1 verticale Z e 2 orizzontali X,Y) con le seguenti caratteristiche tecniche:

CARATTERISTICHE DEL GEOFONO	S S- 4, 5 N
Frequenza naturale (Hz)	**4,5 < ± 10,0%**
Resistenza della bobina ()	350 - 400 < ± 10%
Aperto smorzamento del Circuito	0,5 -0,7 < ± 10 %
Attenuazione con shunt	/
Circuito Aperto Sensibilità Tensione intrinseca (v / m / s)	**25 / 30 < ± 10 %**

L'indagine ha previsto un punto di misura, rappresentato nella foto n.6 in allegato n.1, presso cui è stata effettuata una registrazione di durata pari a 30 minuti in funzione del moderato

livello di disturbi antropici presente nel sito; il giorno della misura non pioveva ed non era presente vento, pertanto lo strumento non è stato protetto dall'esposizione dell'effetto del vento.

Nei paragrafi seguenti sono presentate la metodologia impiegata ed i risultati ottenuti.

METODO NAKAMURA

Il metodo Nakamura (Nakamura, 1989) è una tra le tecniche più utilizzate per lo studio della risposta sismica di un sito. Tale metodo, ormai consolidato a livello scientifico (es. SESAME Working Group, 2004; De Ferrari et al., 2008; Castellaro & Mulargia, 2009) ed in via di diffusione in ambito professionale, consente di determinare la frequenza fondamentale di vibrazione del terreno (o frequenza di risonanza), f_0, a partire da registrazioni di microtremore. Quest'ultimo si assume sia principalmente costituito da onde sismiche superficiali, nella fattispecie onde di Rayleigh. Il contrasto d'impedenza sismica tra gli strati di terreno superficiali ed il substrato roccioso è la causa dell'amplificazione al sito.

L'ipotesi fondamentale su cui si basa il metodo Nakamura è quella per cui la componente verticale del moto sia esente da effetti di amplificazione. Inoltre, nell'ipotesi che all'interfaccia con il substrato roccioso (roccia di base o *bedrock*) l'ampiezza spettrale (ampiezza dello spettro di Fourier) della componente verticale (del moto sismico) e di quelle orizzontali (Nord-Sud e Est-Ovest) siano uguali, la funzione di amplificazione è determinabile come il rapporto tra le componenti spettrali orizzontali (H) e quella verticale (V) di una stessa registrazione in superficie. Tale funzione è propriamente indicata come curva H/V (per questo spesso si parla di tecnica HVSR – *Horizontal to Vertical Spectral Ratio technique*) ed esprime la variazione dell'amplificazione del terreno in funzione della frequenza.

La frequenza di risonanza corrisponde al primo picco di amplificazione individuabile sulla curva H/V (con ampiezza maggiore di 2 in base a quanto indicato nelle linee guida stilate nell'ambito del progetto internazionale SESAME (SESAME Working Group, 2004)) e, nel caso di terreno a comportamento lineare, può essere messa in relazione allo spessore dei sedimenti, h, e alla velocità media di propagazione delle onde di taglio, V_S, nei sedimenti stessi (es. Kramer, 1996):

$$f_0 = \frac{V_S}{4h} \qquad (1)$$

Si specifica che, per definizione, la curva H/V non può considerarsi quale significativa del livello assoluto di amplificazione del sito.
Nei paragrafi successivi sono descritte le procedure di acquisizione ed elaborazione del microtremore nonché l'analisi dei risultati.

ELABORAZIONE DEL MICROTREMORE

Come osservato precedentemente, il metodo Nakamura (Nakamura, 1989) consiste nel calcolo dei rapporti degli spettri di Fourier relativi alle componenti orizzontali e verticale del segnale registrato (rapporti H/V). Per ogni sito di misura sarà quindi calcolato il rapporto spettrale relativo alla media dei rapporti tra la componente Nord-Sud (NS) rispetto a quella verticale (Z) e quello relativo alla componente Est-Ovest (EW) sempre rispetto alla verticale (Z).
Ai fini della determinazione dei rapporti H/V è stato impiegato il software di elaborazione Easy HVSR 2018 della Geostru. Ciascun segnale registrato è stato suddiviso in finestre temporali della durata di 20s ciascuna e successivamente è stata effettuata un'analisi spettrale (calcolo dello spettro di Fourier) per ciascuna finestra.

ANALISI ED INTERPRETAZIONE DELLA CURVA H/V

La registrazione dei dati è avvenuta in discrete condizioni, che comunque ha lasciato intervalli sufficientemente ampi per permettere e rispettare le condizioni consigliate dalle verifiche Sesame:

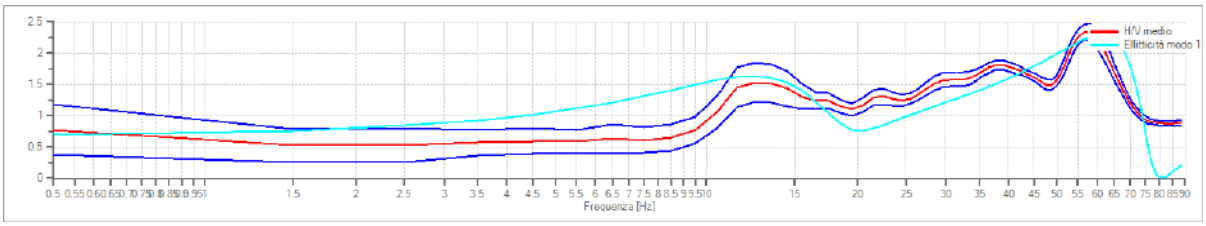
Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	90.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	1.00 Hz
Tipo lisciamento::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media geometrica

Risultati:
Frequenza del picco del rapporto H/V: 57.50 Hz ±0.05 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

La seguente Figura mostra la relativa curva H/V del punto di misura (determinata come la media delle curve H/V per le due componenti NS e EW), ovvero il grafico hvsr complessivo sui tre assi depurato per evidenziare l'andamento della curva HVSR. La linea rossa rappresenta la curva media mentre quelle blu delimitano la banda d'incertezza (curve di fiducia).

Il grafico mostra le linee di fiducia molto vicine che garantiscono un elevato grado di affidabilità della prova.

L'interpretazione delle misurazioni eseguite ha consentito di correlare un valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del bedrock geofisico e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici nell'immediato sottosuolo. Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza

del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, è stato possibile ricavare i valori di frequenza caratteristici del sito. Sapendo che ad ogni picco di frequenza corrisponde una profondità (m) dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

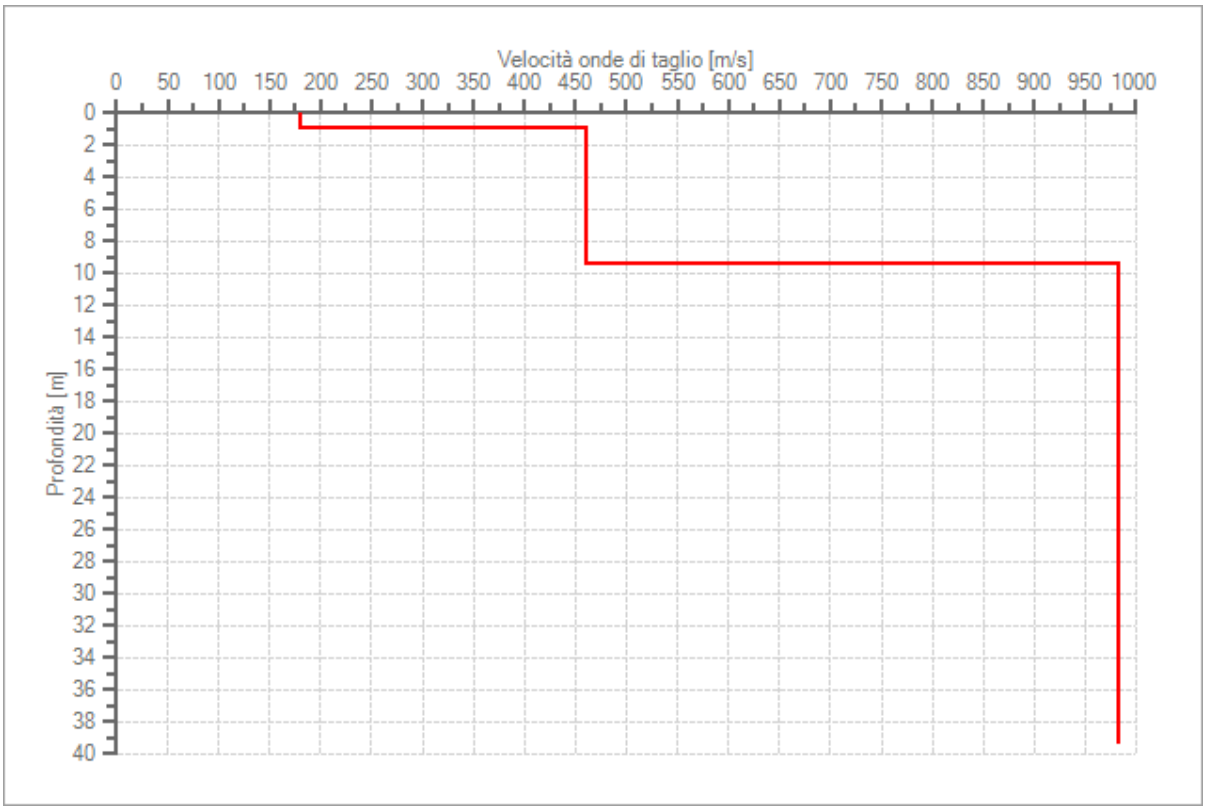
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 3
Frequenza del picco dell'ellitticità: 61.50 Hz
Valore di disadattamento: 0.48
Valore Vseq: 400.37 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m^3]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	0.9	18	0.4	180
2	0.9	8.5	22	0.35	460
3	9.4	30	25	0.3	982



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

È stato quindi possibile stimare la velocità delle onde Vs equivalente (Vs_{eq}) come esplicitamente richiesto dal D.M.17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni): *"La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:*

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

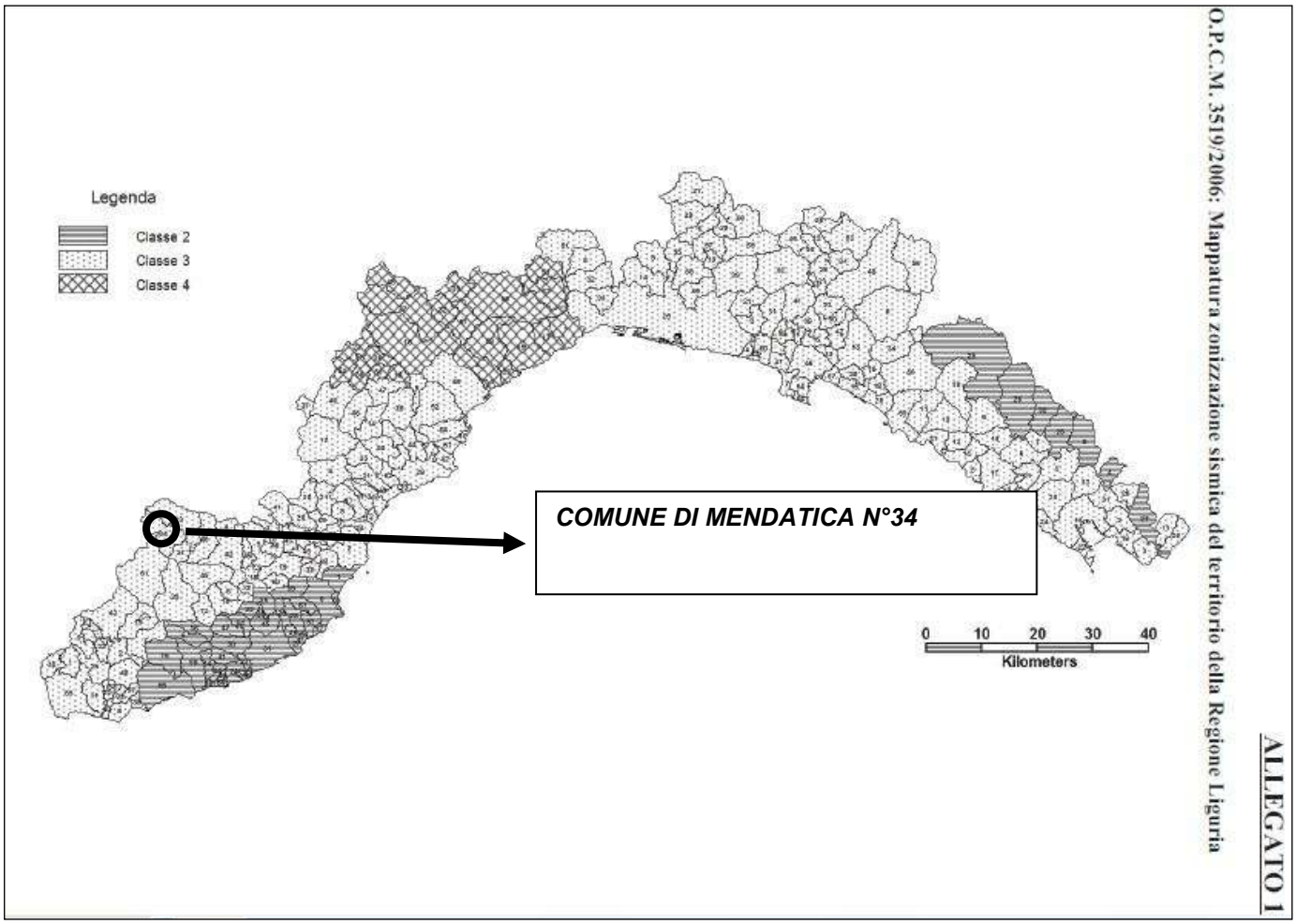
Pertanto, la *VS,eq* è risultata:

Vs_{eq} = 400.37 m/s

In conclusione, sulla base della misura geofisica del rapporto spettrale H/V svolta in sito i cui risultati sono stati esposti sopra, la categoria sismica del sottosuolo in riferimento alla quota dell'alveo attivo del corso d'acqua è risultata **"Categoria B"**, ovvero *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.* (Tabella 3.2.II – NTC 2018).

8. SISMICITA' DEL SITO DELL'INTERVENTO

La Regione Liguria, con la Delibera di Giunta Regionale n° 530 del 16/05/2003, ed in ottemperanza al disposto di cui all'O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003, ha approvato la nuova classificazione sismica dei Comuni Liguri come specificato nell'Allegato n.1 della delibera.
Attualmente a seguito dell'ufficializzazione della mappa della pericolosità sismica pubblicata dall'INGV e approvata dalla stessa O.P.C.M. 3915/2006, è stata pubblicata la nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria con la D.G.R. n.1308 del 2008, aggiornata dalla D.G.R. 1362 del 19-11-2010, **e attualmente aggiornata e sostituita dalla D.G.R. 216 del 17-03-2017, entrata in vigore dal 19 luglio 2017.**



Il Comune di Mendatica è stato classificato, secondo la nuova classificazione, in Classe Sismica 3 con rispettivamente il n°34 nell'Allegato 1 della citata Delibera n. 216/2017;

i valori delle massime accelerazioni orizzontali nel periodo di riferimento vengono direttamente calcolati mediante l'Allegato B delle N.T.C. 2008 e non più utilizzando i valori di ancoraggio delle zone sismiche definite nella suddetta classificazione regionale, come stabilito dalla precedente D.G.R. 1308/2008.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento"VR" espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR

La pericolosità sismica è definita in termini di :

- accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica orizzontale (categoria T1);

- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

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

- ag accelerazione orizzontale massima al sito;

- Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

- T*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Una delle novità delle NTC è appunto la stima della pericolosità sismica basata su una griglia di 10751 punti, ove viene fornita la terna di valori ag, Fo e T*C per nove distinti periodi di ritorno TR.

I coefficienti sismici orizzontale Kh e verticale Kv da utilizzare nella determinazione della forza inerziale dovuta al sisma di progetto, sono i seguenti:

$$Kh=\beta_s \times a_{max}/g;\ Kv=\pm 0.5 \times Kh$$

dove:

β_s= coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g= accelerazione di gravità

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio, secondo la seguente espressione:

$$a_{max}=S_S \times S_T \times a_g$$

dove:

S_S= coefficiente di amplificazione stratigrafica 0.90 ≤Ss≤ 1.80; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T= coefficiente di amplificazione topografica per fondazioni in prossimità di pendi.

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

T1 (S_T = 1.0) T2 (S_T = 1.20) T3(S_T =1.20) T4(S_T = 1.40).

a_g= accelerazione orizzontale massima al sito

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R=-V_R/\ln(1-PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Si è determinato quindi la pericolosità sismica del sito oggetto di intervento, mediante l'ausilio del software della GEOSTRU, fornendo i seguenti dati:

Coefficienti sismici [N.T.C.]

==========

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	35.0 [anni]

Sito in esame.

latitudine:44,073767
longitudine:7,813466

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18011	Lat: 44,0969	Lon: 7,7795	Distanza: 3741,583
Sito 2	ID: 18012	Lat: 44,1003	Lon: 7,8489	Distanza: 4085,971
Sito 3	ID: 18234	Lat: 44,0504	Lon: 7,8536	Distanza: 4129,562
Sito 4	ID: 18233	Lat: 44,0471	Lon: 7,7842	Distanza: 3781,221

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.304	2.559	0.194
S.L.D.	35.0	0.343	2.566	0.199
S.L.V.	332.0	1.206	2.448	0.286
S.L.C.	682.0	1.638	2.474	0.302

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe I

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.3648	1.0	0.0372	0.0186
S.L.D.	0.4116	0.47	0.0197	0.0099
S.L.V.	1.4472	0.38	0.0561	0.028
S.L.C.	1.9656	1.0	0.2004	0.1002

Si precisa che si è considerato come sottosuolo di riferimento del sito in oggetto una **categoria di suolo B**, secondo i risultati della prova sismica HVSR eseguita;

non è stata considerata la **correzione topografica (T1)** dato che il sito si trova in area subpianeggiante con acclività <15°, alla base del versante.

Si precisa che si fa riferimento alla sponda dove è stata eseguita la prova in quanto se si fosse fatto riferimento alla profondità delle fondazioni si sarebbe ottenuta una categoria di sottosuolo A.

9. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE

Si riportano i parametri di caratterizzazione geotecnica medi dei terreni presenti, secondo i risultati delle prove sclerometriche, della prova HVSR svolta in sito e delle numerose prove di laboratorio e prove SPT eseguite per lo "studio e monitoraggio paleofrana di Mendatica".

TABELLA A: PARAMETRI GEOTECNICI A SUPPORTO CALCOLI STRUTTURALI

Parametro	Terreno drenante di riporto	Deposito alluvionale	Deposito detritico di paleofrana	Substrato roccioso stratificato
Angolo di attrito interno	φ=30°	φ=32°	φ=30°	φ=34°
Peso di volume	γ_{nat}=1.8 t/mc	γ_{nat}=1.8 t/mc	γ_{nat}=2.2 t/mc	γ_{nat}=2.6 t/mc
Peso di volume saturo	γ_{sat}=2.0 t/mc	γ_{sat} =2.0 t/mc	γ_{sat} =2.3 t/mc	γ_{sat} =2.6 t/mc
Coesione efficace	C'=0 kg/cmq	C'=0 kg/cmq	c=0.1 kg/cmq	c=1.0 kg/cmq
Coesione lungo i giunti dell'ammasso roccioso	----------	----------	----------	c=0.4 kg/cmq
Modulo di Winkler (direz. Z)*	$K_1(b_1)$=12Kg/cm^3	$K_1(b_1)$=10Kg/cm^3	$K_1(b_1)$=8Kg/cm^3	$K_1(b_1)$=20Kg/cm^3

***** valore indicativo poiché dipende anche dalla forma e dimensioni della fondazione e dai carichi della struttura, variabili non conosciute dallo scrivente.

10. VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE

Per verificare l'influenza dell'opera di consolidamento in progetto sull'assetto idrogeologico del tratto di versante interessato, **sono state fatte delle verifiche di stabilità globale del pendio**, rispetto alla conformazione morfologica di progetto.

Le procedure di calcolo per l'analisi di stabilità globale del pendio, calcolate mediante l'impiego del **software SLOPE distribuito dalla soc. Geostru**, consistono nella stima di un coefficiente di sicurezza Fs alla traslazione e/o rotazione del volume compreso fra la superficie del versante ed una superficie di taglio potenziale imposta.
Le verifiche di sicurezza si intendono soddisfatte se la condizione (6.2.1) delle NTC risulta soddisfatta per tutti i possibili cinematismi di collasso. Bisogna quindi ricercare la condizione di minimo per il rapporto Rd/Ed. Le verifiche devono essere effettuate utilizzando la combinazione dei coefficienti parziali di cui al § 6.8.2 delle NTC: (A2+M2+R2), in cui i

coefficienti A2 sono moltiplicativi delle azioni e i coefficienti M2 ed R2 sono rispettivamente riduttivi dei parametri di resistenza e della resistenza globale del sistema.
È bene precisare che al peso dell'unità di volume della massa potenzialmente instabile va applicato il coefficiente A2 riportato nella colonna GEO della Tabella 6.2.I delle NTC (γG1 = 1.0).

Metodo equilibrio limite (LEM)
Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.
Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).

Metodo di BISHOP (1955)
Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.
Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_V = 0$, $\Sigma M_0 = 0$, Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i \;\}\times \dfrac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di ***Bishop ordinario,*** gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.
Ricerca della superficie di scorrimento critica
In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.
Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

10.1 STABILITÀ GLOBALE – STATO DI PROGETTO – SEZIONE 4

Si è considerata (lungo la traccia della sezione 4 progettuale), la condizione di stabilità globale del pendio ove prevista la realizzazione della scogliera come opera principale di difesa del tratto spondale.

Si è assunto un angolo di attrito della scogliera pari a 50° in relazione alla natura dei massi levigati arenareo-quarzitici presenti in alveo, che saranno utilizzati per la formazione della scogliera come indicato nella relazione geologica; la coesione della scogliera è stata considerata pari a 2.5 kg/cmq considerando la presenza del calcestruzzo come legante.

Soprastante la scogliera è prevista la realizzazione di una palificata doppia in legname come ulteriore opera di consolidamento e modellazione del tratto di pendio in oggetto.

Nella successione stratigrafica è stato considerato il contributo dei massi ciclopici presenti all'interno del deposito di paleofrana ed alla base del pendio sul limite spondale.

È stata considerata la presenza della falda di subalveo del corso d'acqua.

Si è così delineata una situazione di globale stabilità della sponda in studio (tutte le superfici circolari presentano un Fs>1, con valore minimo Fs=1.15) dovuta alla presenza della roccia sottofondazionale;

Di seguito sono esposti i risultati delle verifiche di stabilità svolte con l'analisi della superficie critica con Fs minore:

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,072786/7,812402
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	12,2 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	6,83 m
Ascissa vertice destro superiore xs	20,73 m
Ordinata vertice destro superiore ys	12,52 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Sisma

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0563
Coefficiente azione sismica verticale	0,0281

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0 0.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0 0.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m²)	Coesione non drenata (kN/m²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m³)	Peso saturo (kN/m³)	Litologia	
1	0		30	18	20	riporto	
2	0		32	18	20	alluvione	
3	10		30	22	23	paleofrana	
4	100		34	26	26	substrato roccioso	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

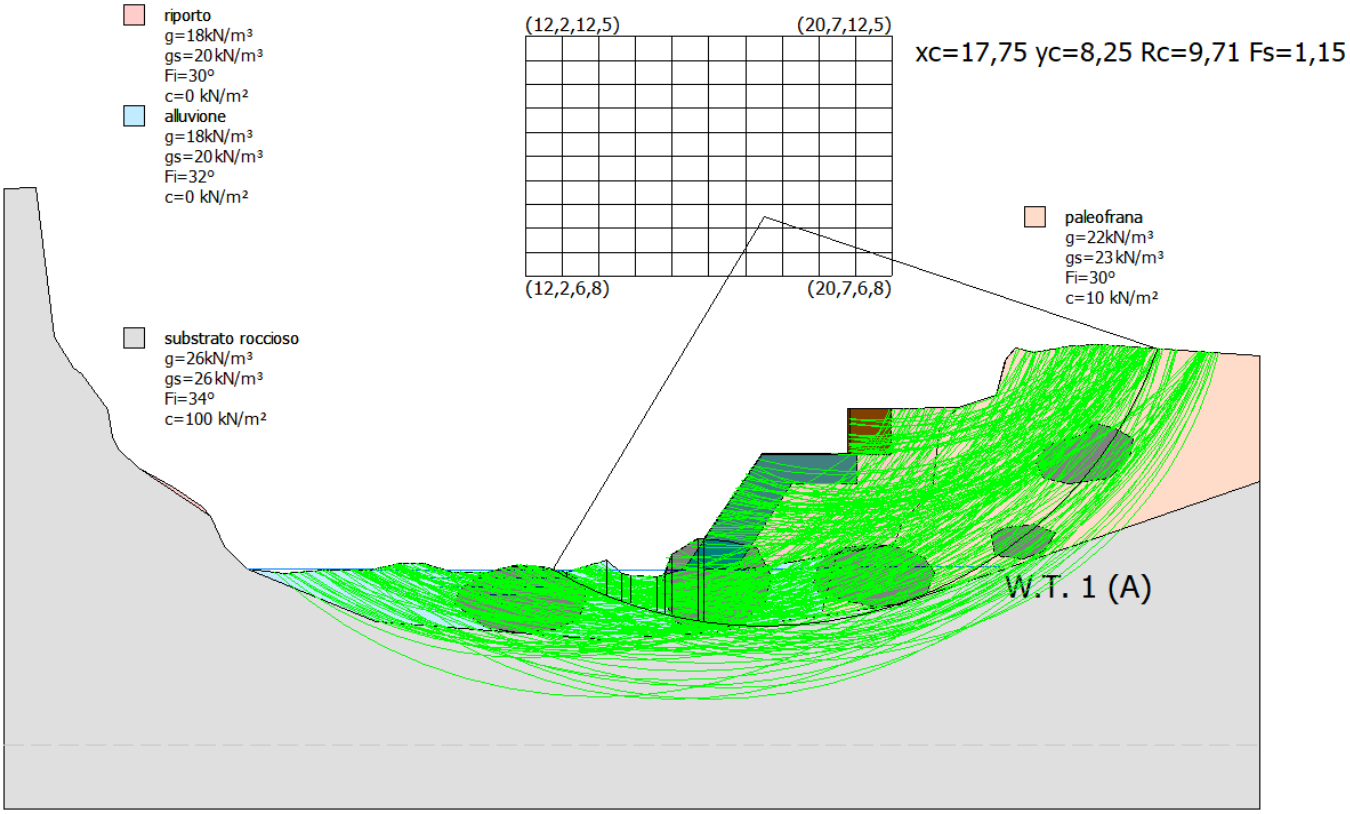
Fs minimo individuato	**1,15**
Ascissa centro superficie	17,75 m
Ordinata centro superficie	8,25 m
Raggio superficie	9,71 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 17,746 yc = 8,253 Rc = 9,709 Fs=1,153

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,32	-29,3	0,37	0,18	0,01	0,01	100,0	50,0	0,2	35,1	62,3
2	0,93	-25,2	1,02	8,81	0,5	0,25	0,0	26,6	3,6	7,1	2,8
3	0,34	-21,1	0,36	4,96	0,28	0,14	0,0	26,6	2,2	3,5	1,4

4	0,22	-19,4	0,23	1,45	0,08	0,04	0,0	26,6	1,6	1,8	0,7
5	0,61	-16,8	0,63	4,68	0,26	0,13	0,0	26,6	5,4	5,5	2,2
6	0,19	-14,3	0,2	1,74	0,1	0,05	0,0	26,6	1,9	2,0	0,8
7	0,15	-13,3	0,16	3,64	0,21	0,1	0,0	26,6	1,6	2,3	0,9
8	0,61	-11,0	0,62	20,14	1,13	0,57	100,0	50,0	6,8	28,2	75,7
9	0,15	-8,7	0,15	5,75	0,32	0,16	100,0	50,0	1,8	6,8	18,6
10	10,58	31,5	12,4	933,25	52,54	26,22	8,0	24,8	59,0	799,0	369,1



Sono state quindi verificate le condizioni di stabilità secondo le NTC 2018, applicando quindi le combinazioni imposte dalla normativa (A2-M2-R2), con valori di Fs maggiori a Fs=1.0, ovvero è stata verificata la condizione Ed ≤ Rd (Ed=azioni Rd= resistenza del terreno).

10.2 STABILITÀ GLOBALE – STATO DI PROGETTO – SEZIONE 7

Si è considerata (lungo la traccia della sezione 7 progettuale), la condizione di stabilità globale del pendio in prossimità dell'edificio del vecchio mulino, ove è prevista la realizzazione di una scogliera come opera principale di difesa del tratto spondale.

Si è assunto un angolo di attrito della scogliera pari a 50° in relazione alla natura dei massi levigati arenareo-quarzitici presenti in alveo, che saranno utilizzati per la formazione della scogliera come indicato nella relazione geologica; la coesione della scogliera è stata considerata pari a 2.5 kg/cmq considerando la presenza del calcestruzzo come legante.
Soprastante la scogliera sono previste la realizzazione di due gradonature costituite da palificate doppie in legname come ulteriore opera di consolidamento e modellazione del tratto di pendio in oggetto.
Nella successione stratigrafica è stato considerato il contributo dei massi ciclopici presenti all'interno del deposito di paleofrana ed alla base del pendio sul limite spondale.
È stata considerata la presenza della falda di subalveo del corso d'acqua.
Si è così delineata una situazione di globale stabilità della sponda in studio (tutte le superfici circolari presentano un Fs>1, con valore minimo Fs=1.36) dovuta alla presenza della roccia sottofondazionale;
Di seguito sono esposti i risultati delle verifiche di stabilità svolte con l'analisi della superficie critica con Fs minore:

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,072786/7,812402
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	9,89 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5,39 m
Ascissa vertice destro superiore xs	16,98 m
Ordinata vertice destro superiore ys	9,48 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Sisma

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0563
Coefficiente azione sismica verticale	0,0281

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0 0.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0 0.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m²)	Coesione non drenata (kN/m²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m³)	Peso saturo (kN/m³)	Litologia	
1	0		30	18	20	riporto	
2	0		32	18	20	alluvione	
3	10		30	22	23	paleofrana	
4	100		34	26	26	substrato roccioso	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

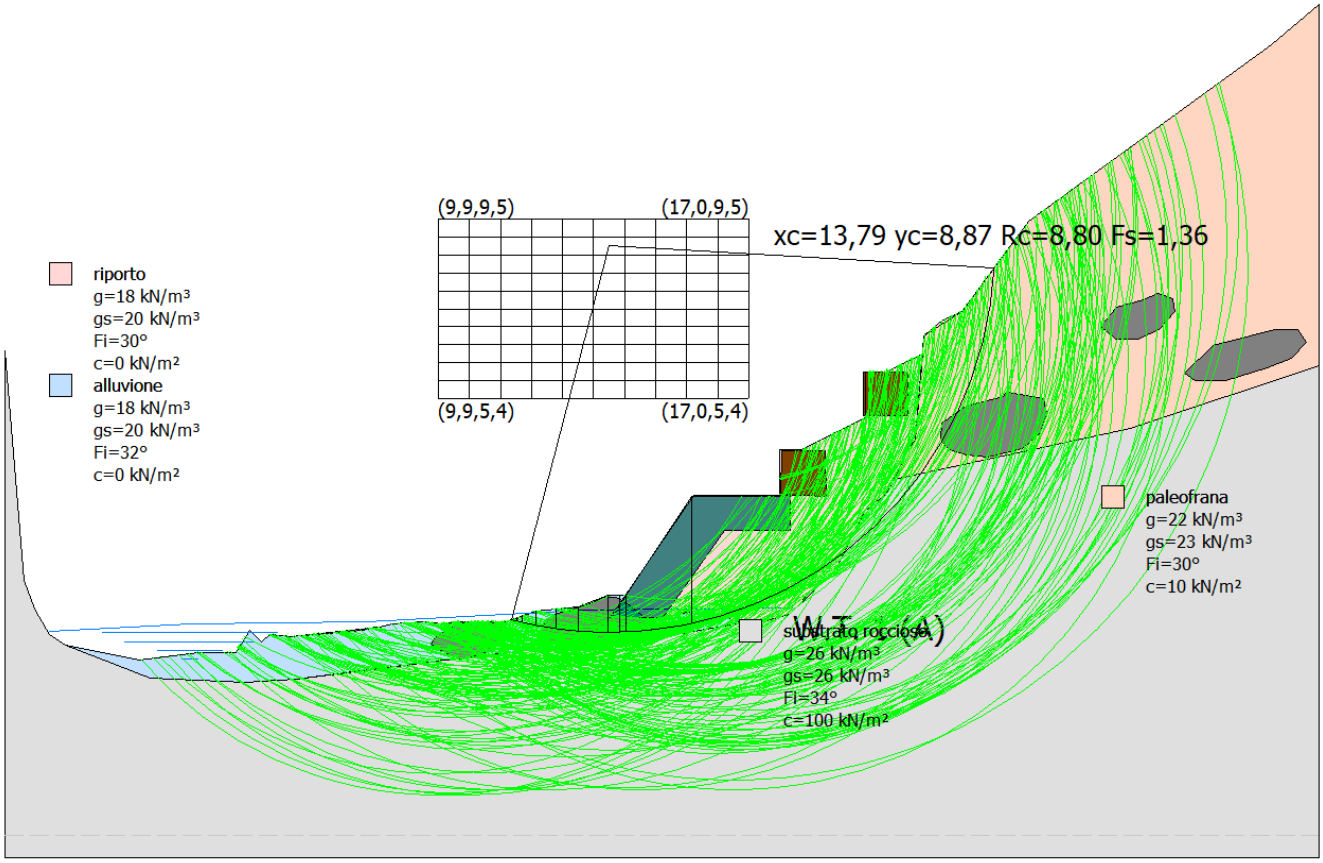
Fs minimo individuato	**1,36**
Ascissa centro superficie	13,79 m
Ordinata centro superficie	8,87 m
Raggio superficie	8,8 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 13,793 yc = 8,865 Rc = 8,802 Fs=1,361

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,1	-14,3	0,1	0,03	0,0	0,0	0,0	26,6	0,2	0,0	0,0
2	0,14	-13,5	0,15	0,14	0,01	0,0	0,0	26,6	0,3	0,2	0,1
3	0,3	-12,0	0,31	0,73	0,04	0,02	0,0	26,6	0,7	0,8	0,3
4	0,46	-9,5	0,46	3,56	0,2	0,1	100,0	50,0	1,5	8,3	37,6
5	0,51	-6,3	0,51	5,05	0,28	0,14	100,0	50,0	2,2	7,3	39,8
6	0,68	-2,4	0,68	9,38	0,53	0,26	100,0	50,0	3,4	8,2	52,2
7	0,26	0,7	0,26	4,2	0,24	0,12	100,0	50,0	1,3	2,7	19,5
8	0,14	2,0	0,14	2,36	0,13	0,07	100,0	50,0	0,7	1,2	10,7
9	1,5	7,4	1,51	52,78	2,97	1,48	0,0	26,6	6,7	44,6	14,9

10	6,92	49,5	10,65	352,45	19,84	9,9	0,0	24,8	0,0	398,6	123,0



Sono state quindi verificate le condizioni di stabilità secondo le NTC 2018, applicando quindi le combinazioni imposte dalla normativa (A2-M2-R2), con valori di Fs maggiori a Fs=1.0, ovvero è stata verificata la condizione Ed ≤ Rd (Ed=azioni Rd= resistenza del terreno).

11. INDICAZIONI OPERATIVE

Si sintetizzano i risultati dell'indagine geologica eseguita e si forniscono alcune indicazioni operative a riguardo dell'intervento.

- **OPERA DI CONSOLIDAMENTO SPONDALE IN SCOGLIERA**

Per il consolidamento del tratto in studio, in sponda sinistra del T.Arroscia, è in progetto la realizzazione di una scogliera, dato lo stato dei luoghi e la morfologia della sponda in

oggetto. Il rilievo eseguito lungo l'alveo ha verificato che sono presenti massi naturali trasportati di litologia calcareo - arenaceo – quarzitica di varie dimensioni appartenenti a tutte le categorie di suddivisione. Pertanto possono essere utilizzati per la realizzazione delle opere di contenimento, con risparmio delle risorse naturali, non utilizzando materiale di cava. Si rimanda la scelta delle dimensioni allo strutturista.

Numerosi massi sono presenti sia nel tratto di alveo a valle che a monte della S.P. n.3.

Per l'energia in gioco del regime di piena del T,Arroscia e per aumentare la durabilità delle opere, **tutti i massi dovranno essere cementati tra di loro** sino alla quota battente della Q_{200} per evitare che le acque di deflusso torrentizio possano infiltrarsi all'interno e sottostante le opere e favorire una azione erosiva, come si è verificato nel tratto a monte del ponte sulla S.P.3 durante l'evento meteorico del 2-3 ottobre 2020.

Un' ipotesi per contrastare l'azione di trascinamento esercitata dalla corrente di piena sui massi costituenti la base della scogliera e la banchina di fondazione sottostante, potrebbe essere il loro collegamento con funi metalliche (trefoli) ancorati ai massi ciclopici presenti in loco e non rimovibili tramite chiodi cementati di limitata profondità ed al substrato roccioso in posto, ove affiorante (settore di valle) e subaffiorante.

Si rimanda al progettista, a seguito dei risultati dello studio idraulico, l'eventualità di realizzare opere trasversali tipo briglie e/o soglie in massi cementati per un ulteriore contrasto dell'azione erosiva sul fondo alveo.

- **FONDAZIONI SCOGLIERA**

Le fondazioni delle scogliere laterali spondali dovranno essere basate sul substrato roccioso in posto nel settore di valle sottostante i fabbricati del mulino, che possiede caratteristiche di portanza discrete, per evitare erosioni sottofondazionali da parte del regime del T.Arroscia come si è verificato; **al substrato roccioso è attribuibile il seguente valore medio del carico ammissibile $q_{amm.}$=3.0 kg/cm^2,** calcolato con la F. di Terzaghi (secondo il metodo delle tensioni ammissibili D.M.11/03/88), valore puramente indicativo **che dovrà essere verificato dallo strutturista in conformità con le NTC 2018,** in funzione delle dimensioni delle fondazioni e dei carichi delle strutture, valori non conosciuti dallo scrivente.

Nel restante settore, ove sono presenti massi ciclopici plurimetrici non rimovibili (cfr. foto n.1-2 in allegato n.1), questi saranno da inglobare nella scogliera in progetto, garantendo una continuità dell'opera spondale.

Durante le fasi esecutive della scogliera verrà realizzata una "savanella" verso il limite della

sponda destra del corso d'acqua per agevolare la fase di cantiere che costituirà a fine opera il fondo alveo del regime di magra del T.Arroscia.

Si rimane a disposizione per la verifica geotecnica del piano fondazionale durante la fase di cantiere.

- **RISCHIO SISMICO**

La situazione stratigrafica del sito dell'intervento, consiglia di fare riferimento al **suolo di categoria B e classe sismica 3** secondo la D.G.R. 216/2017 (cfr. paragrafo 8).

Il valore massimo dell' accelerazione orizzontale nel periodo di riferimento calcolato mediante l'Allegato delle N.T.C. 2018 (SLV, T_R=332 anni), risulta:

$$\mathbf{a_{max} = S_S * S_T * a_g = 0.147\ g}$$

TABELLA B – Dati sismici

Categoria suolo	B
Classe sismica comunale	3
Accelerazione orizzontale max	Ag=0.147g

- **UTILIZZO E GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO**

E' necessaria un'opera di scavo per la realizzazione delle opere di sostegno e del suo piano di posa delle fondazioni, che il progettista dovrà quantificare.

Si riporta lo stato della normativa in vigore allo stato attuale, in considerazione del riutilizzo finale delle terre e rocce da scavo; **se il terreno/blocchi sarà completamente riutilizzato in sito** non dovrà svolgersi la relativa pratica, secondo l'art. 185, comma c) del D.M.152/2006, modificato dal D.Lgs n°205 del 3 dicembre 2010 che all'art.13, lettera C che riporta: **"il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale escavato nel corso di attività di costruzione, ove sia certo che esso verrà riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato escavato", non rientra nel campo dei rifiuti.**

Nel caso in cui il terreno/blocchi di scavo venga riutilizzato in altro sito **dovrà essere fatta la**

pratica delle "terre e rocce da scavo" imposta dalla normativa costituita dalla D.Lgs 152/2006 e succ. D.Lgs n°4/2008 e come stabilito dal **D.P.R.n.120/2017**, **che ha variato la procedura precedente.**

Si ricorda al progettista, ed alla Committenza in qualità di produttore, che la pratica per poter gestire le terre e rocce da scavo come "sottoprodotti" da riutilizzare in altro sito **deve essere inoltrata alla autorità competenti (Comune e Arpal) prima dell'inizio dell'attività di scavo nel sito di produzione,** ottenuta l'autorizzazione a costruire; **a scavo avvenuto senza il supporto della pratica sopraccitata, le "terre e rocce da scavo" dovranno essere gestiti come rifiuti.**

- **INTERFERENZE DELL'ASSETTO GEOMORFOLOGICO CON L'INTERVENTO IN PROGETTO**

La presenza di blocchi rocciosi di litologia differente dal substrato roccioso in posto indica che il regime idraulico del Torrente ha una elevata energia durante gli eventi di piena che in parte ha denudato il piede della paleofrana e portato alla luce i blocchi ciclopici arenacei caratteristici dello strato detritico potente della frana relitta.

La presenza della paleofrana a monte dell'areale intervento, movimento franoso complesso di vasta estensione, non è in grado di escludere la possibilità di interferenze a seguito di espansione del corpo di frana al piede; comunque si specifica che l'intervento in progetto non è compreso nel settore di frana attiva che riguarda parte dell'abitato di Mendatica Capoluogo e la Fraz. Piano (cfr. TAV.4 Delimitazione paleofrana).

L'intervento in progetto comporta il ripristino della funzionalità idraulica preesistente, e non comporta la realizzazione di opere residenziali ma esclusivamente opere di consolidamento spondale a tutela della viabilità provinciale e del patrimonio culturale del complesso "Il Mulino" del comune di Mendatica, inserito quale Manufatto Emergente (ME) nel P.T.C.P. della Regione Liguria.

- **VINCOLO IDROGEOLOGICO**

L'intervento ricade in area soggetta alla tutela del vincolo idrogeologico per il R.D.3267/1923. Secondo l'art.38 comma 2 della L.R.4/1999 "gli interventi di cui al comma 1 (sistemazione idraulica di corso d'acqua) non sono soggetti alle autorizzazioni di cui all'art.35, nonché a quelle previste in materia dal regolamento di cui all'art.48".

Pertanto l'autorizzazione al vincolo idrogeologico è compresa nell'autorizzazione idraulica regionale e non è di competenza dell'ufficio comunale del vincolo idrogeologico.

geol ARRIGHETTI Fabio



geol MACCIO' M. Roberto



ALLEGATO 1 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA STATO DEI LUOGHI COLPITI DALL'EVENTO ALLUVIONALE DEL 2/3-10-2020

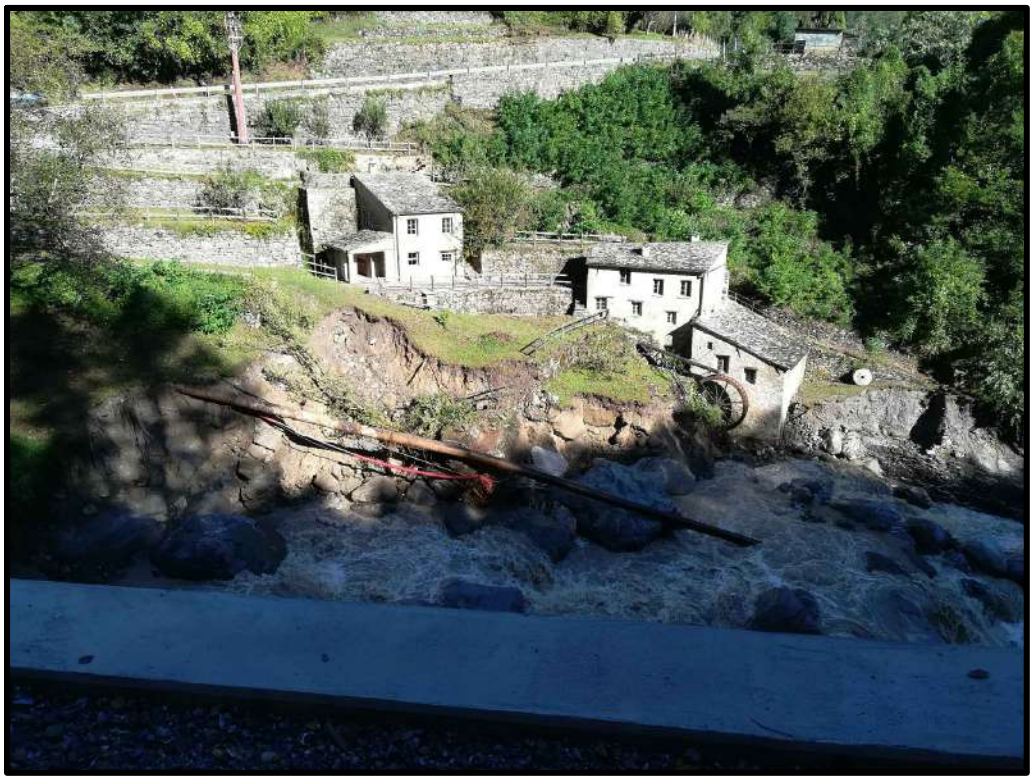


Foto 1. Tratto in sponda sinistra T.Arroscia eroso dall'evento alluvionale con messa a rischio dei fabbricati comunali dell'Antico Molino



Foto 2. Particolare della precedente, tratto a valle del settore da proteggere con visibile substrato roccioso affiorante

Studio di Geologia Macciò M. Roberto - Via Bellò 4/A S.Fedele - 17031 Albenga (SV)



Foto 3. Particolare della Foto 1, subito a valle del ponte, con le condotte dei servizi pubblici danneggiate



Foto 4. Settore in sponda sinistra T.Arroscia a monte del ponte S.P.3 in cui sono presenti e affioranti i blocchi ciclopici al piede del deposito della paleofrana di Mendatica.

Studio di Geologia Macciò M. Roberto - Via Bellò 4/A S.Fedele - 17031 Albenga (SV)



Foto 5. Scalino di abbassamento terreno in sponda sinistra T.Arroscia subito a monte della strada S.P.3, al piede della paleofrana di Mendatica.



Foto 6. Esecuzione della prova sismica HVSR in sponda sinistra T.Arroscia, in prossimità del mulino.

Studio di Geologia Macciò M. Roberto - Via Bellò 4/A S.Fedele - 17031 Albenga (SV)

Allegato n.2A

Committente :	Comune di Mendatica
Località :	Comune di Mendatica
Oggetto :	Interventi di ripristino T.Arroscia

PROVA SCLEROMETRICA
Martello di Schmidt (mod. 45-D561 Controls)

Stazione S1

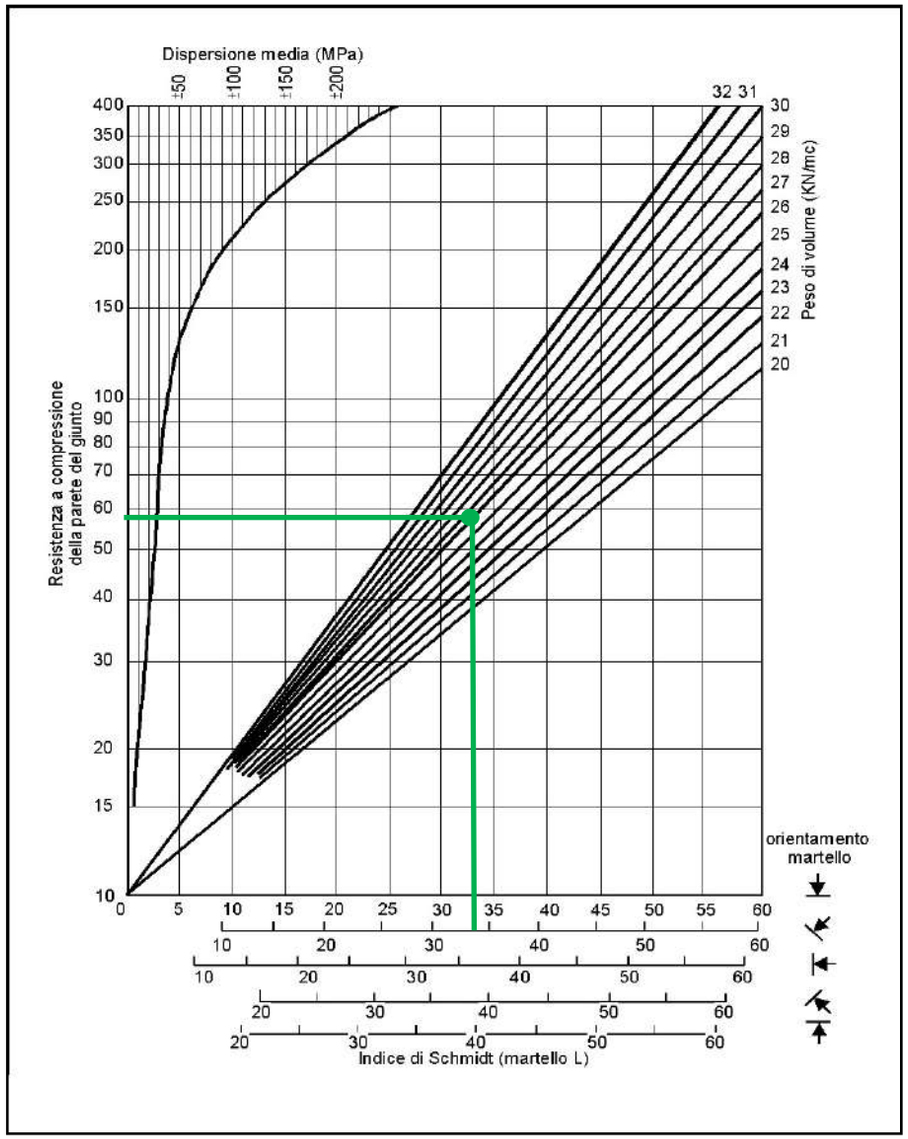
Litologia : calcare marnoso (Membro di Pieve di Teco)
Stratificazione: N320 immersione, 35 inclinazione

JCS JCS=10^[(Mc*0.00088*γ) + 1.01]

ricavato dalla formula di Miller: log JCS=0.00088*Mc*γ + 1.01

essendo :
JCS = stima della resistenza uniassiale (MPa)
Mc = media corretta rimbalzi, funzione dell'orientazione del martello di Schmidt
γ = peso di volume assegnato = 26 (kN/mc)
M = media dei 5 rimbalzi più elevati

Set giunti	Orient. martello		Indici di rimbalzo (Martello di Schmidt)										M	Mc	**JCS**
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(5>)		(MPa)
S0	↘		**36**	**36**	**34**	**32**	**32**	26	26	22	22	20	34,0	33,2	**58,8**



Analogo risultato si può ricavare utilizzando il grafico in figura accanto, riferendo direttamente alla linea indicante l'inclinazione del martello la media non corretta dei 5 rimbalzi più elevati, e leggendo sulle ordinate il valore in corrispondenza del peso di volume assegnato.

Allegato n.2B

Committente :	Comune di Mendatica
Località :	Comune di Mendatica
Oggetto :	Interventi di ripristino T.Arroscia

PROVA SCLEROMETRICA
Martello di Schmidt (mod. 45-D561 Controls)

Stazione S2

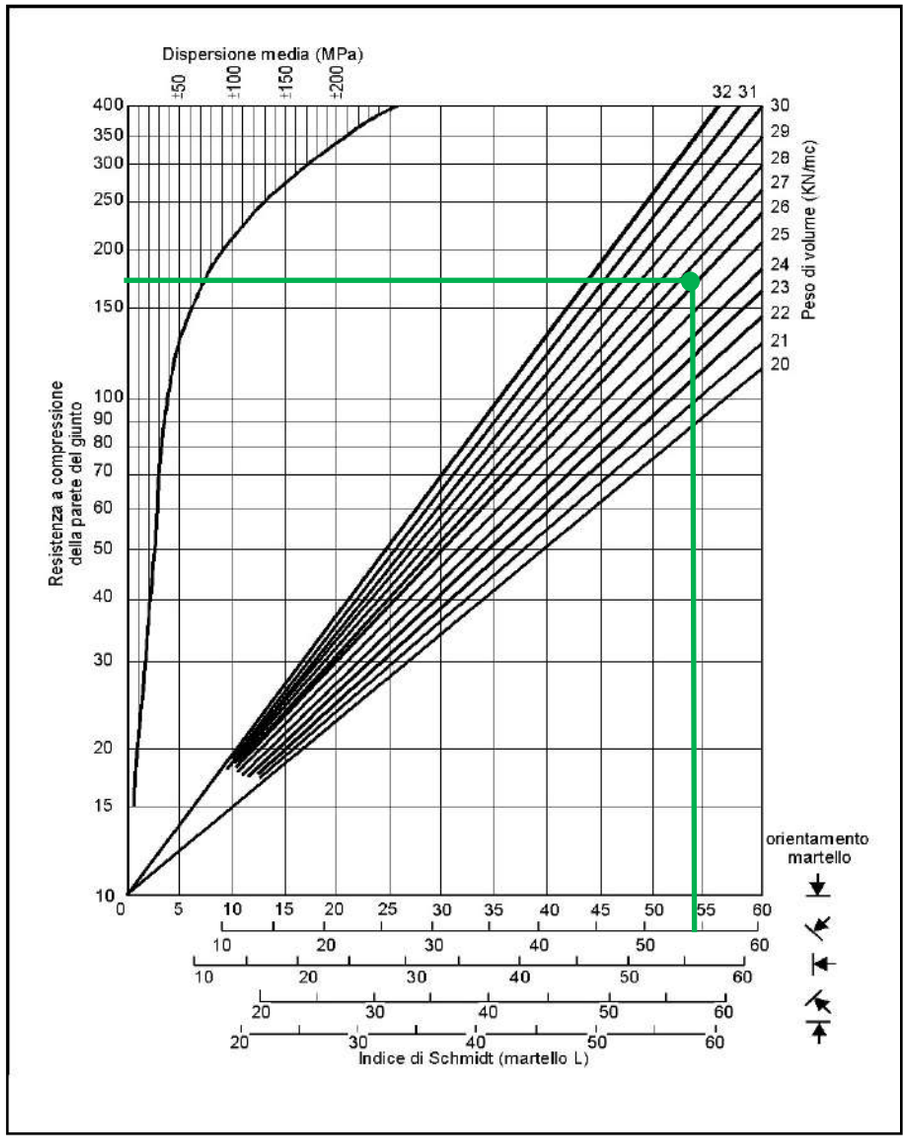
Litologia : blocco compatto arenaceo
Stratificazione: non in posto

JCS JCS=10^[(Mc*0.00088*γ) + 1.01]

ricavato dalla formula di Miller: log JCS=0.00088*Mc*γ + 1.01

essendo :
- JCS = stima della resistenza uniassiale (MPa)
- Mc = media corretta rimbalzi, funzione dell'orientazione del martello di Schmidt
- γ = peso di volume assegnato = 26 (kN/mc)
- M = media dei 5 rimbalzi più elevati

Set giunti	Orient. martello		Indici di rimbalzo (Martello di Schmidt)										M	Mc	**JCS**
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(5>)		(MPa)
S	↘		**56**	**56**	**56**	**54**	**50**	48	48	46	44	44	54,4	53,9	**175,1**



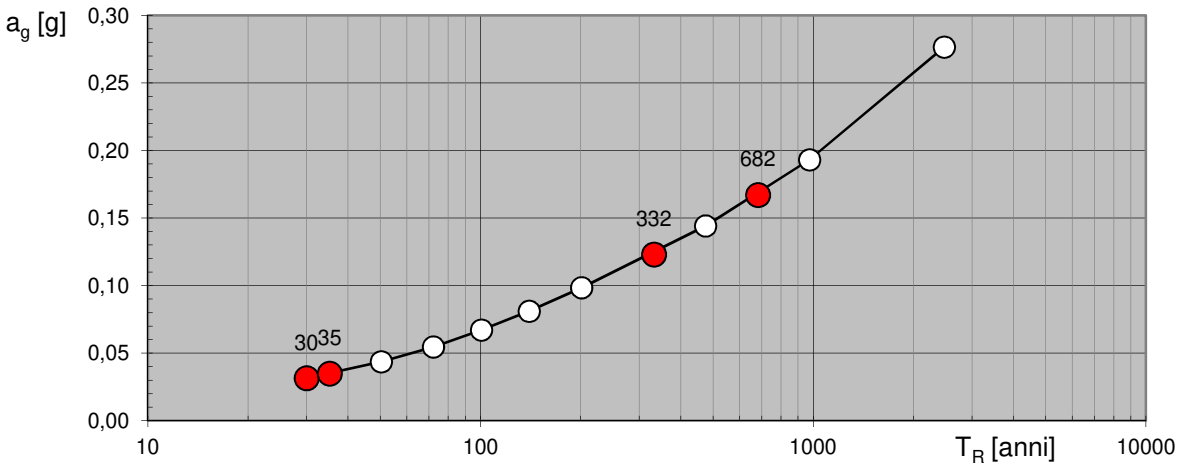
Analogo risultato si può ricavare utilizzando il grafico in figura accanto, riferendo direttamente alla linea indicante l'inclinazione del martello la media non corretta dei 5 rimbalzi più elevati, e leggendo sulle ordinate il valore in corrispondenza del peso di volume assegnato.

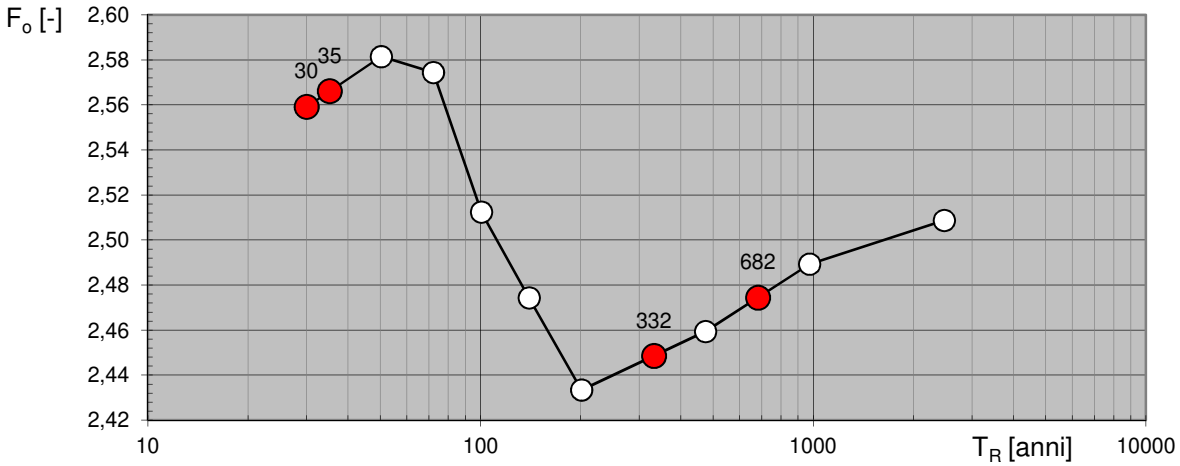
ALLEGATO 3

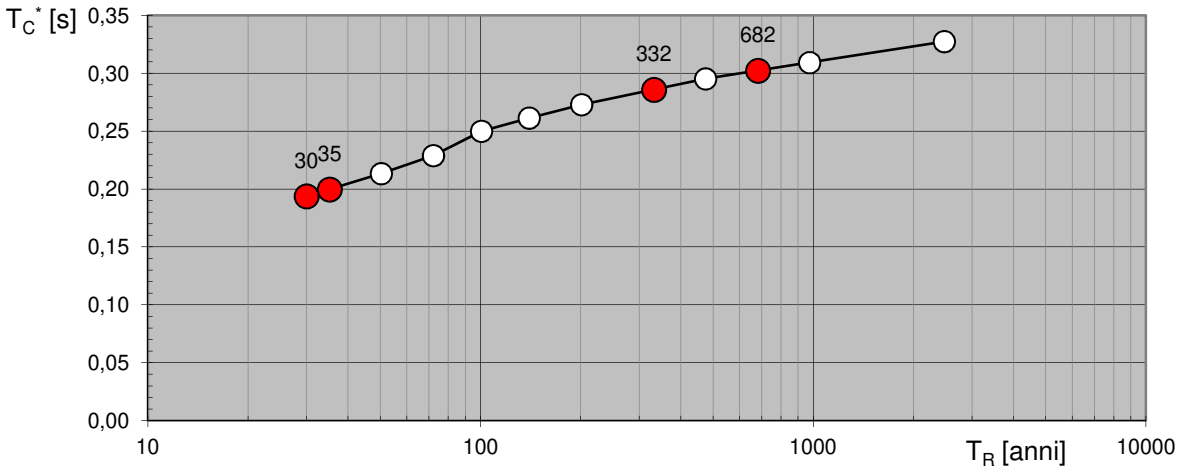
SPETTRI DI RISPOSTA SISMICA

(Elaborazioni con software "Spettri NTC ver. 1.0.3."
del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici)

Valori di progetto dei parametri a_g, F_o, T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R

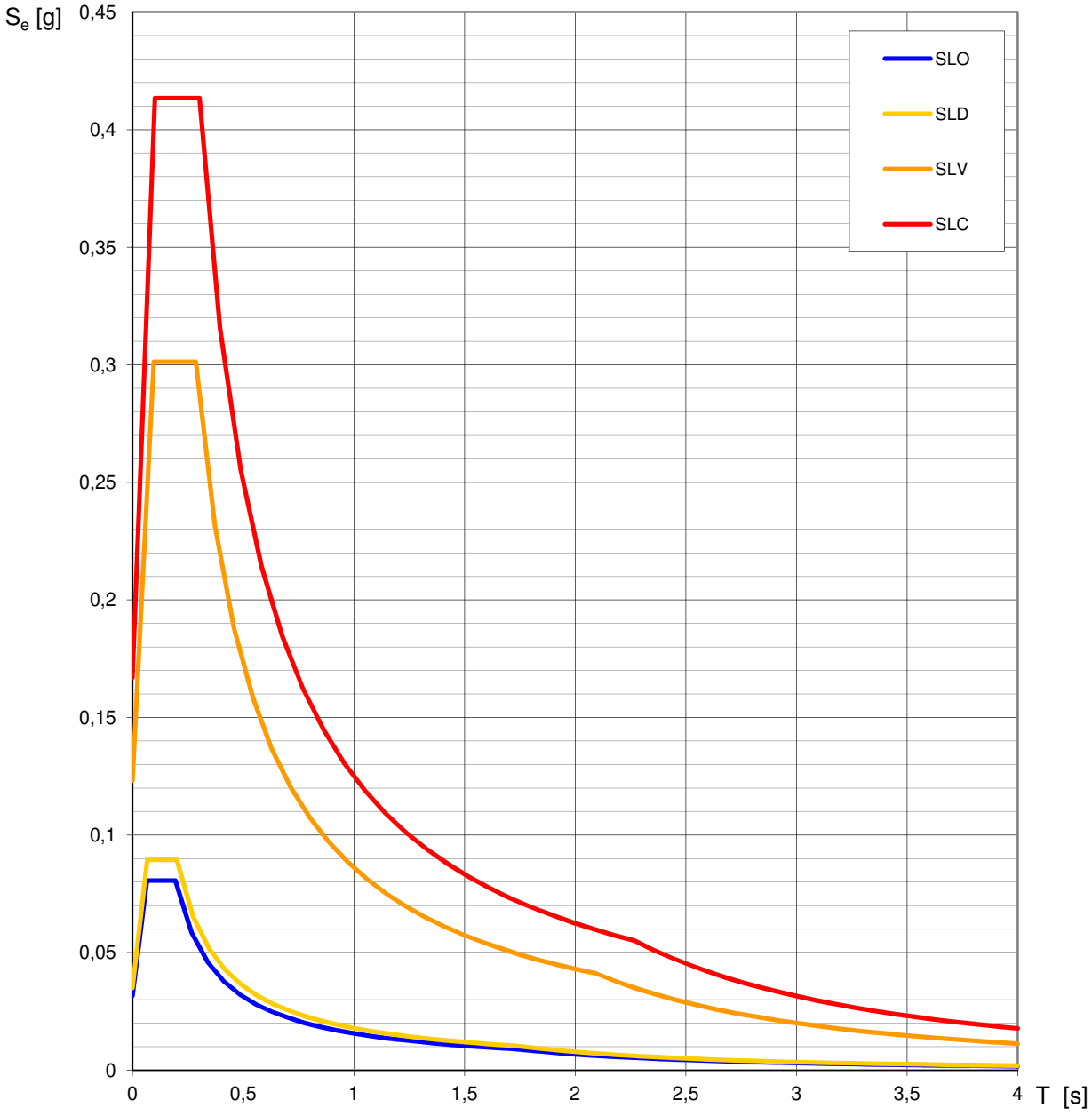






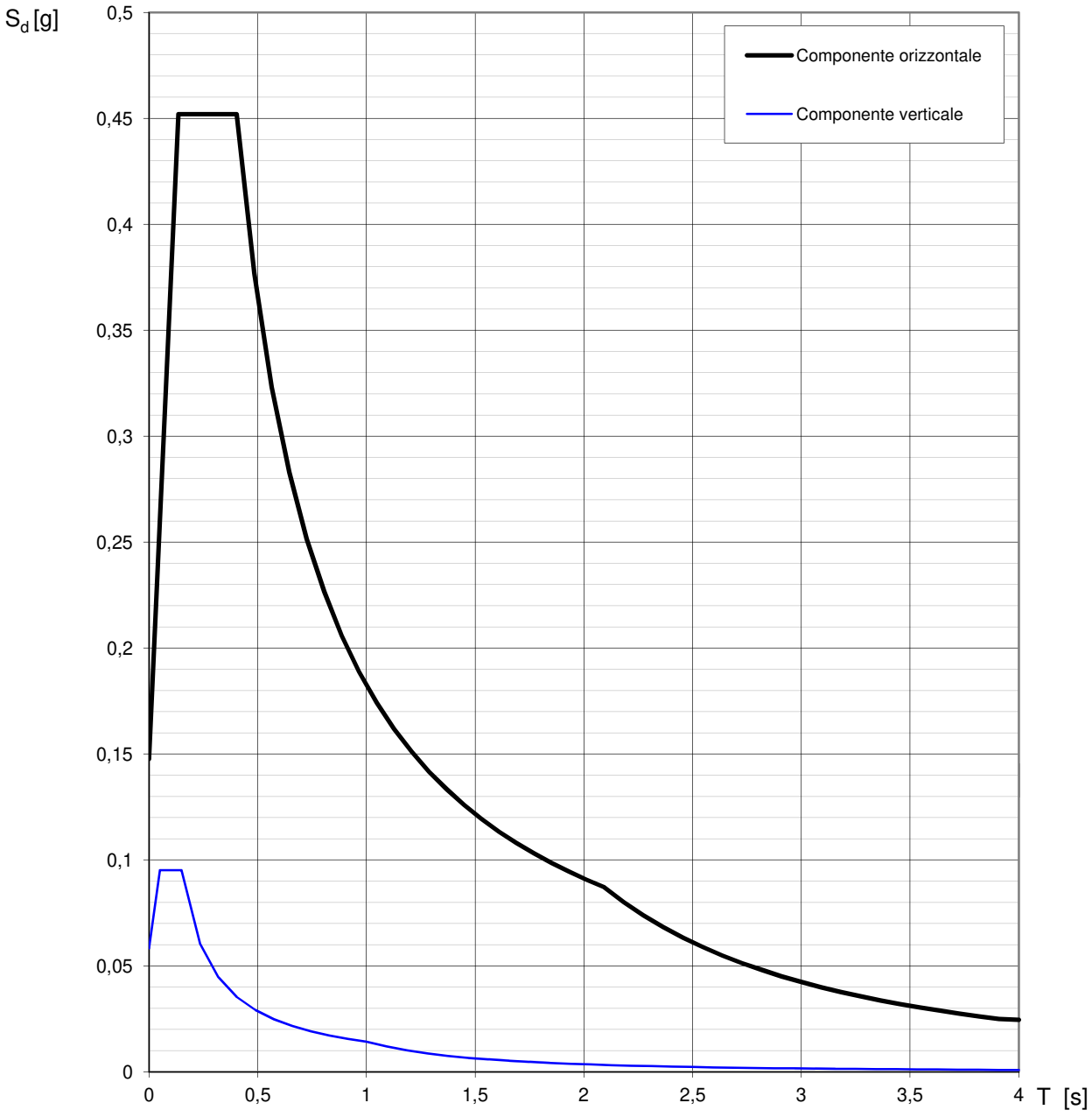
La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



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

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



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

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,123 g
F_o	2,449
T_C^*	0,286 s
S_S	1,200
C_C	1,413
S_T	1,000
q	0,800

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,250
T_B	0,135 s
T_C	0,404 s
T_D	2,092 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$

$T_B \leq T < T_C$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$

$T_D \leq T$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,148
T_B ←	0,135	0,452
T_C ←	0,404	0,452
	0,484	0,377
	0,565	0,323
	0,645	0,283
	0,725	0,252
	0,806	0,226
	0,886	0,206
	0,967	0,189
	1,047	0,174
	1,127	0,162
	1,208	0,151
	1,288	0,142
	1,369	0,133
	1,449	0,126
	1,529	0,119
	1,610	0,113
	1,690	0,108
	1,771	0,103
	1,851	0,099
	1,931	0,094
	2,012	0,091
T_D ←	2,092	0,087
	2,183	0,080
	2,274	0,074
	2,365	0,068
	2,456	0,063
	2,546	0,059
	2,637	0,055
	2,728	0,051
	2,819	0,048
	2,910	0,045
	3,001	0,042
	3,092	0,040
	3,182	0,038
	3,273	0,036
	3,364	0,034
	3,455	0,032
	3,546	0,030
	3,637	0,029
	3,727	0,027
	3,818	0,026
	3,909	0,025
	4,000	0,025

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

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0,058 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,160
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T$$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$$\eta = 1/q$$ (NTC-08 §. 3.2.3.5)

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$$ (NTC-08 Eq. 3.2.11)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \le T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$$T_B \le T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \le T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \le T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

Punti dello spettro di risposta

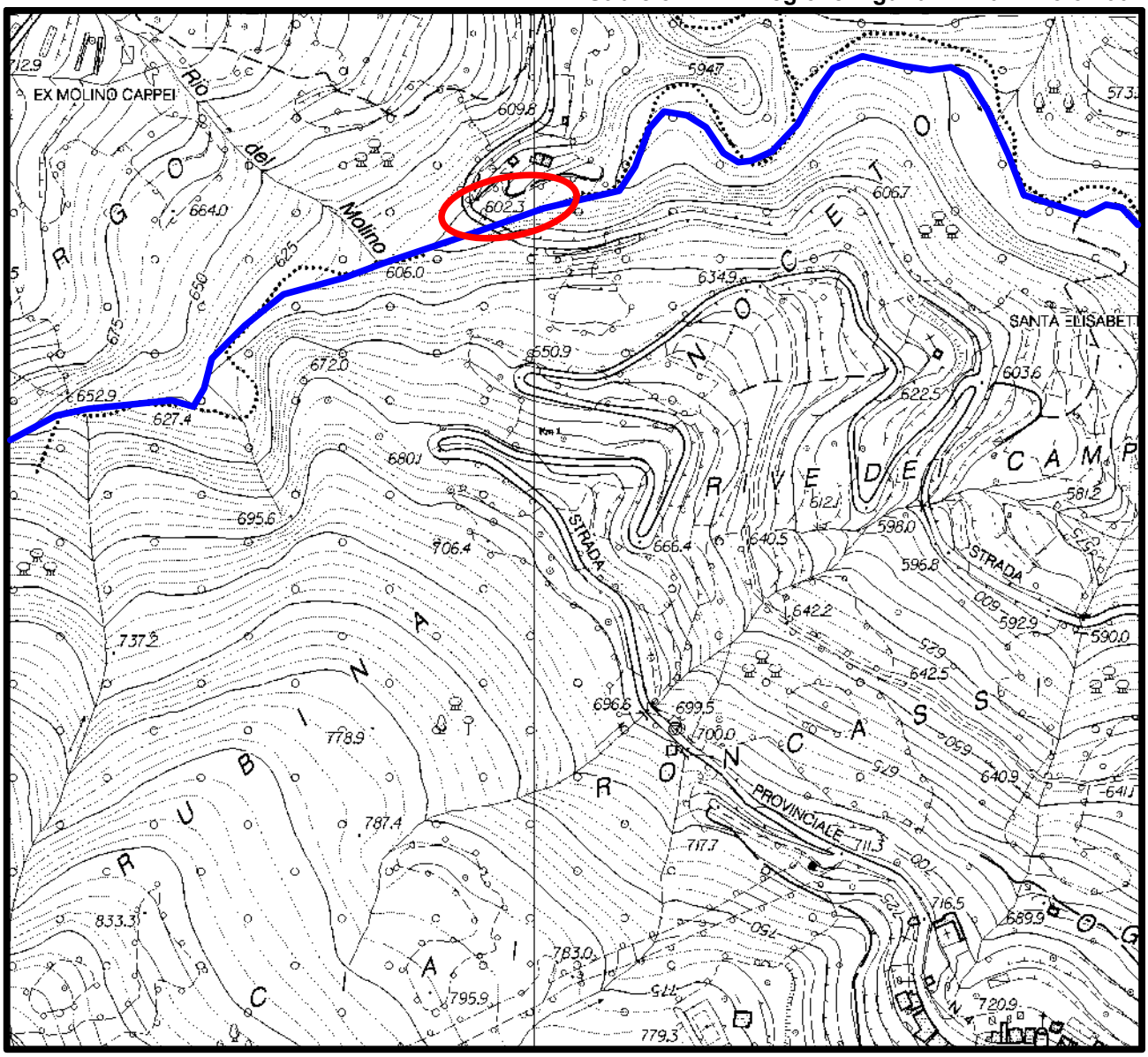
	T [s]	Se [g]
	0,000	0,058
T_B ←	0,050	0,095
T_C ←	0,150	0,095
	0,235	0,061
	0,320	0,045
	0,405	0,035
	0,490	0,029
	0,575	0,025
	0,660	0,022
	0,745	0,019
	0,830	0,017
	0,915	0,016
T_D ←	1,000	0,014
	1,094	0,012
	1,188	0,010
	1,281	0,009
	1,375	0,008
	1,469	0,007
	1,563	0,006
	1,656	0,005
	1,750	0,005
	1,844	0,004
	1,938	0,004
	2,031	0,003
	2,125	0,003
	2,219	0,003
	2,313	0,003
	2,406	0,002
	2,500	0,002
	2,594	0,002
	2,688	0,002
	2,781	0,002
	2,875	0,002
	2,969	0,002
	3,063	0,002
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,001
	4,000	0,001

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

TAV.1 - COROGRAFIA - Scala 1:5.000

Oggetto: ripristino officiosità idraulica e messa in sicurezza dei versanti
Località: Antico Mulino - Comune di Mendatica (IM)
Committente: Comune di Mendatica (IM)

Stralcio C.T.R. Regione Liguria 244102 - Volo 2002



Ubicazione tratto della sponda oggetto di intervento di consolidamento

N

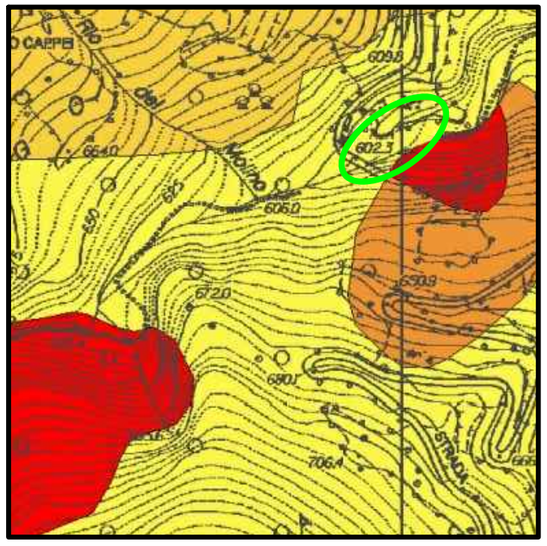
Corso d'acqua T.Arroscia

Studio di Geologia MACCIÒ M. Roberto Via Bellò 4/A -San Fedele 17031 Albenga (SV)

TAV.2 STRALCI DA PIANO DI BACINO - Scala 1:5.000

(Estratto da Piano di Bacino - Ambito n.9 Centa - Torrente Arroscia)

Oggetto: ripristino officiosità idraulica e messa in sicurezza dei versanti
Località: Antico Mulino - Comune di Mendatica (IM)
Committente: Comune di Mendatica (IM)



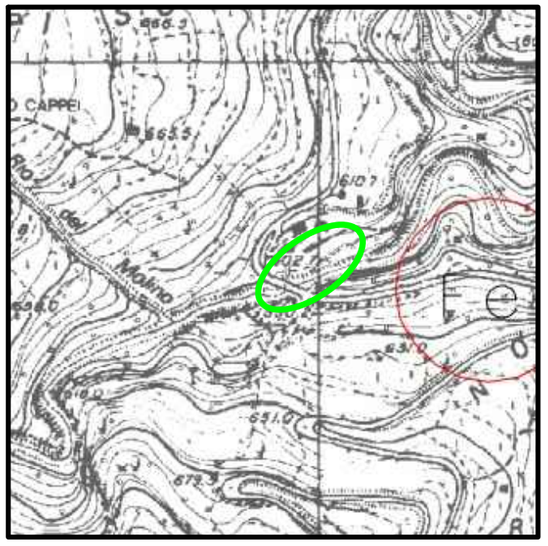
Il sito ricade in area **Pg2**

Carta della suscettività al dissesto

(stralcio dalla Scala 1:10.000 - Aggiornamento 2018)

LEGENDA

- Pg4 - (Aree a suscettività MOLTO ALTA - aree in frana attiva)
- Pg3a - (Aree a suscettività ALTA - frane quiescenti)
- Pg3b - (Aree a suscettività ALTA - aree non di frana quiescente)
- Pg2 - (Aree a suscettività MEDIA)
- Pg1 - (Aree a suscettività BASSA)
- Pg0 - (Aree a suscettività MOLTO BASSA)
- A - (Aree speciali di tipo A - Cave attive, Miniere attive)
- A - (Aree speciali di tipo A - Discariche in esercizio)
- B1 - (Aree speciali di tipo B1 - Cave inattive, Miniere abbandonate)
- B2 - (Aree speciali di tipo B2 - Discariche dismesse e Riporti antropici)



Il sito non ricade in area di interventi

Carta degli interventi

(stralcio dalla Scala 1:10.000 - Aggiornamento 2004)

Ubicazione intervento in oggetto

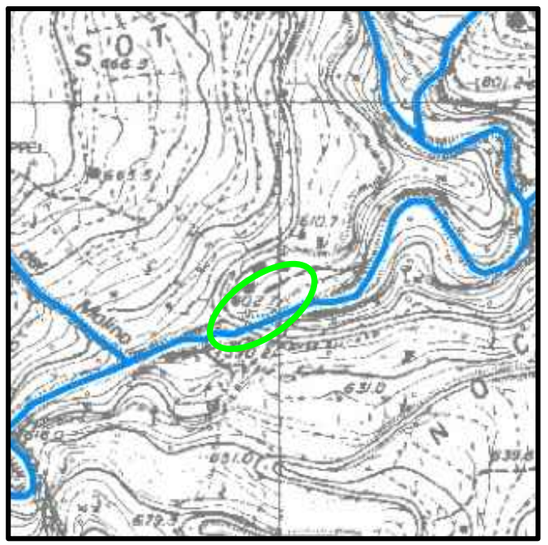
Il sito non indagato idraulicamente

Il sito non ricade in area esondabile

Carta delle fasce fluviali

LEGENDA

- Fascia A
- Fascia A*
- Fascia B
- Fascia C
- -
- Fascia di riassetto
- Alveo a cielo aperto
- Alveo tombinato
- -
- Limite del bacino



TAV.17c- Carta dei corsi d'acqua(scala:10.000)

(stralcio dalla Scala 1:10.000 - Aggiornamento 2012)

Asta principale del corso d'acqua

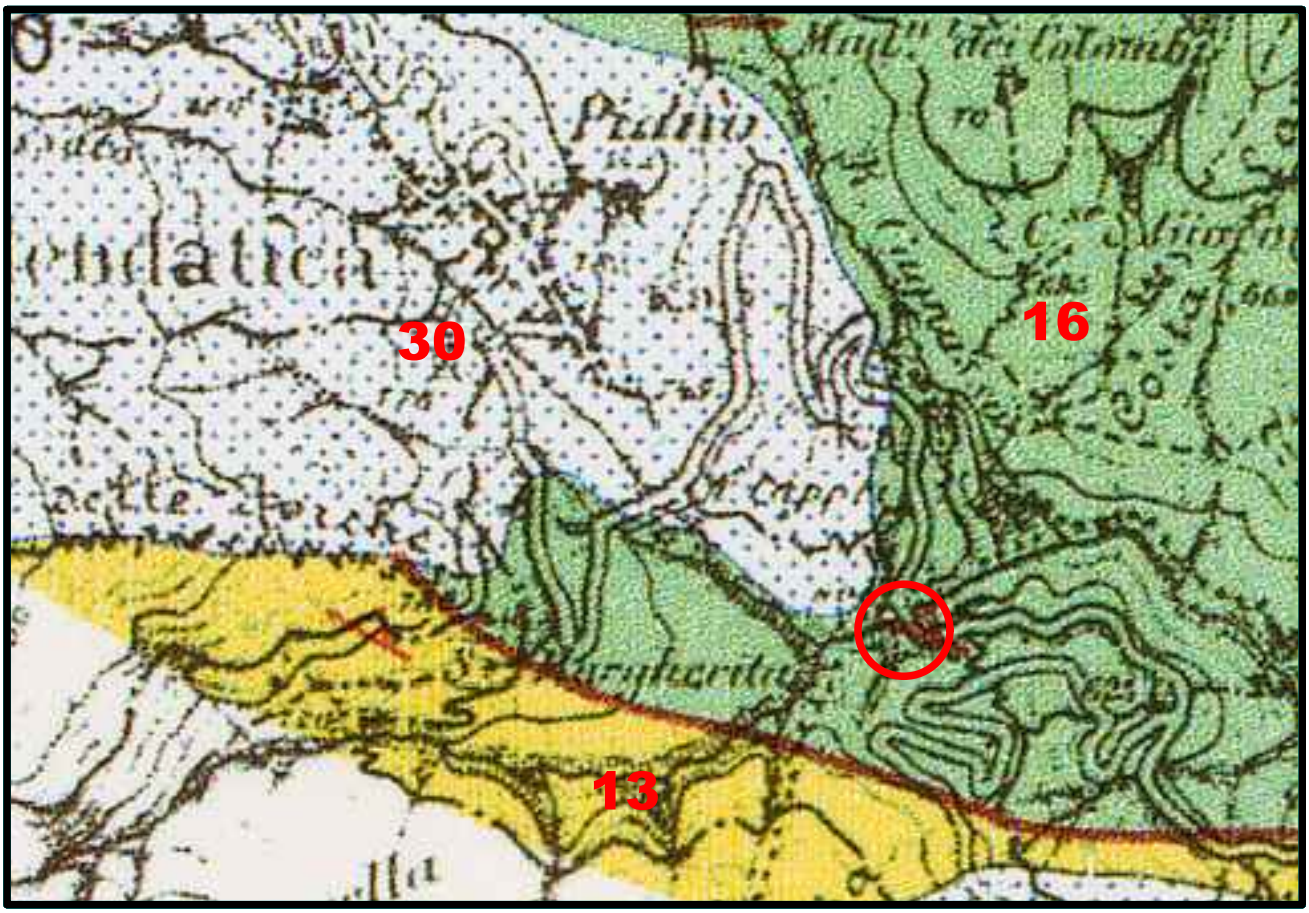
Ubicazione intervento in progetto

Ricade all'interno di area di tutela di corso d'acqua

Studio di Geologia MACCIO' M. Roberto Via Bellò 4/A -San Fedele 17031 Albenga (SV)

TAV.3A - CARTA GEOLOGICA - Scala 1:10.000

Oggetto: ripristino officiosità idraulica e messa in sicurezza dei versanti
Località: Antico Mulino - Comune di Mendatica (IM)
Committente: Comune di Mendatica (IM)



Stralcio da "Carta Geologica dei terreni compresi tra il Brianzonese ligure ed il flysh ad elmintoidi" di Boni e Vanossi.

Ubicazione sito d'intervento

N

LEGENDA GEOLOGICA

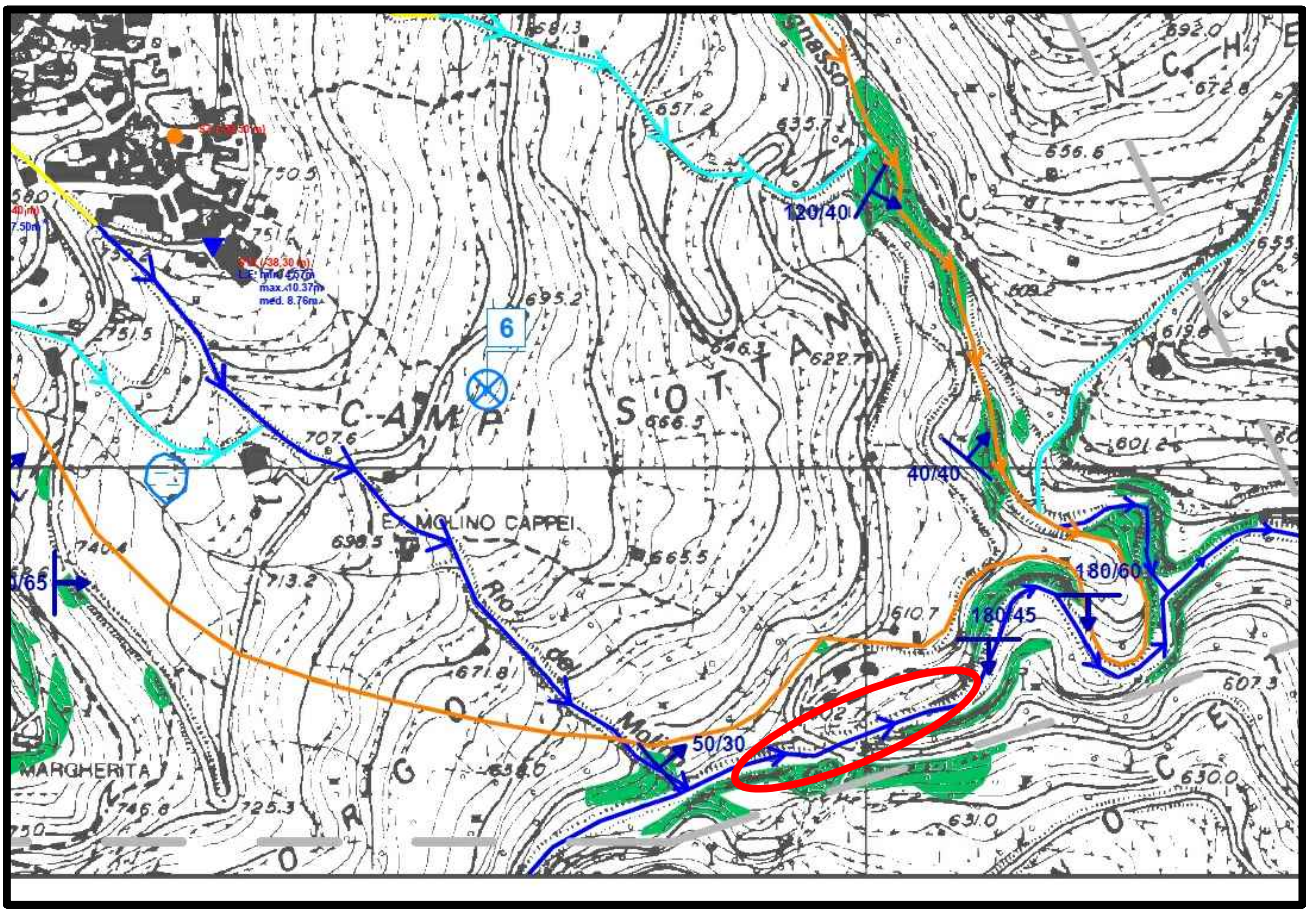
30. Detrito sciolto e cementato - deposito di paleofrana.

13. Peliti di Moglio: Peliti manganesifere brune e, localmente rosse o verdi, parzialmente silicizzate, con intercalazioni frequenti di siltiti quarzose manganesifere e di rocce silicee a grana minuta.

16. Formazione di Testico, Membro di Pieve di Teco: Successione monotona di marne più o meno calcaree ed arenacee, di colore grigio-azzurro, con caratteristica patina di alterazione giagglo-grigiastra, con intercalazioni di strati (10-80 cm) di calcari marnosi debolemente quarzosi.

TAV.3B - STRALCIO CARTA IDROGEOLOGICA
(da relazione paleofrana Mendatica, 2008)

Oggetto: ripristino officiosità idraulica e messa in sicurezza dei versanti **Scala 1:5.000**
Località: Antico Mulino - Comune di Mendatica (IM)
Committente: Comune di Mendatica (IM)



Stralcio da "Carta Idrogeologica" (Macciò, Arrighetti - 2008).

Ubicazione sito d'intervento

N

LEGENDA

SIMBOLOGIA GEOLOGICA

Affioramenti rocciosi
(Formazione di Testico - Membro di Pieve di Teco)

220/45
Giacitura piano di stratificazione
(Immersione/Inclinazione)

SIMBOLOGIA GEOMORFOLOGICA

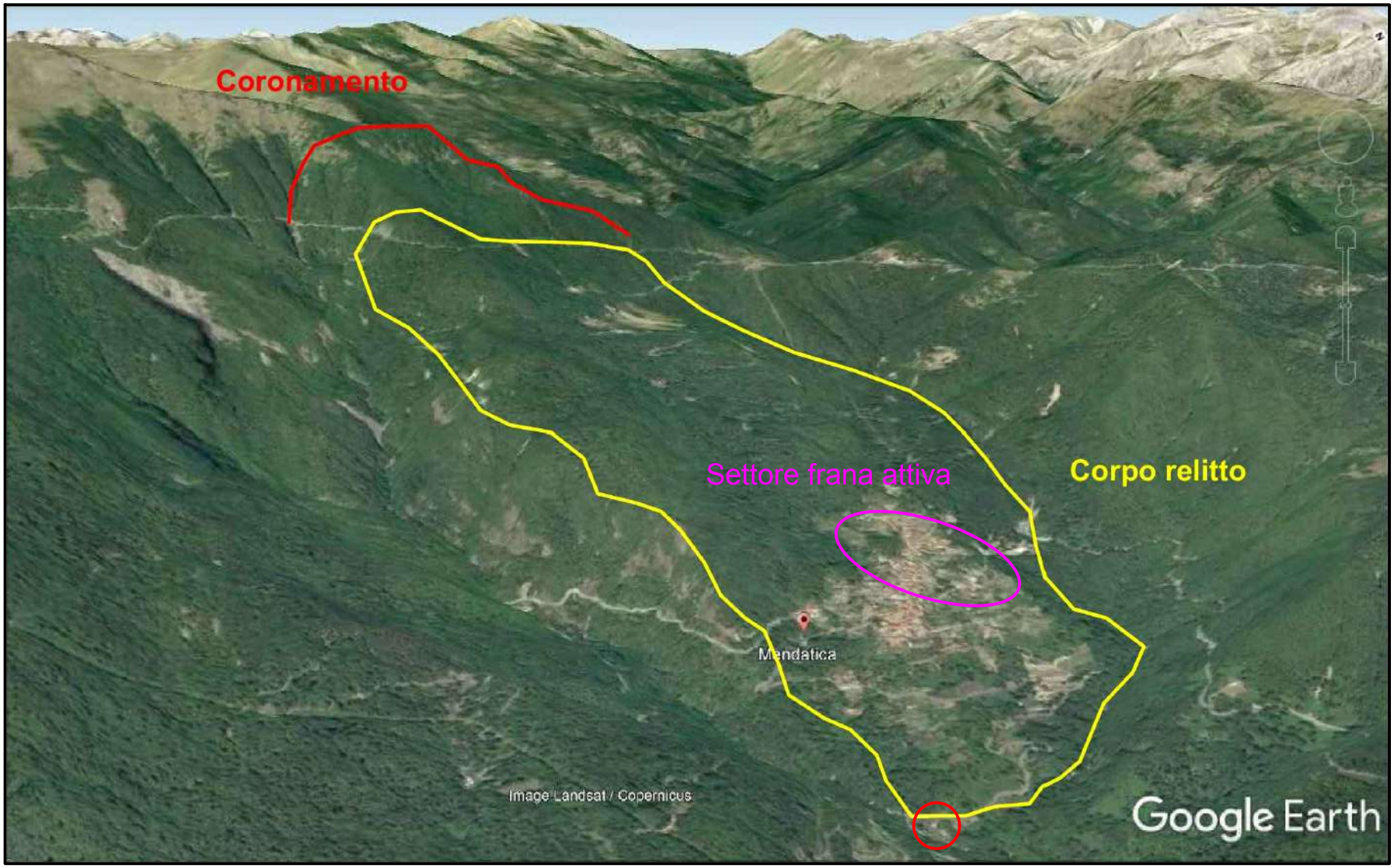
Deposito di paleofrana e sua perimetrazione all'interno dell'area indagata
(Frana antica e relitta)

Rii in erosione significativa
(vari colori: in arancione quando coincidente con il limite di paleofrana)

Studio di Geologia MACCIO' M. Roberto Via Bellò 4/A -San Fedele 17031 Albenga (SV)

TAV.4 DELIMITAZIONE PALEOFRANA

Oggetto: ripristino officiosità idraulica e messa in sicurezza dei versanti
Località: Antico Mulino - Comune di Mendatica (IM)
Committente: Comune di Mendatica (IM)



Ubicazione sito oggetto di intervento

TAV.5 - CARTA DI ANALISI - Scala 1:500

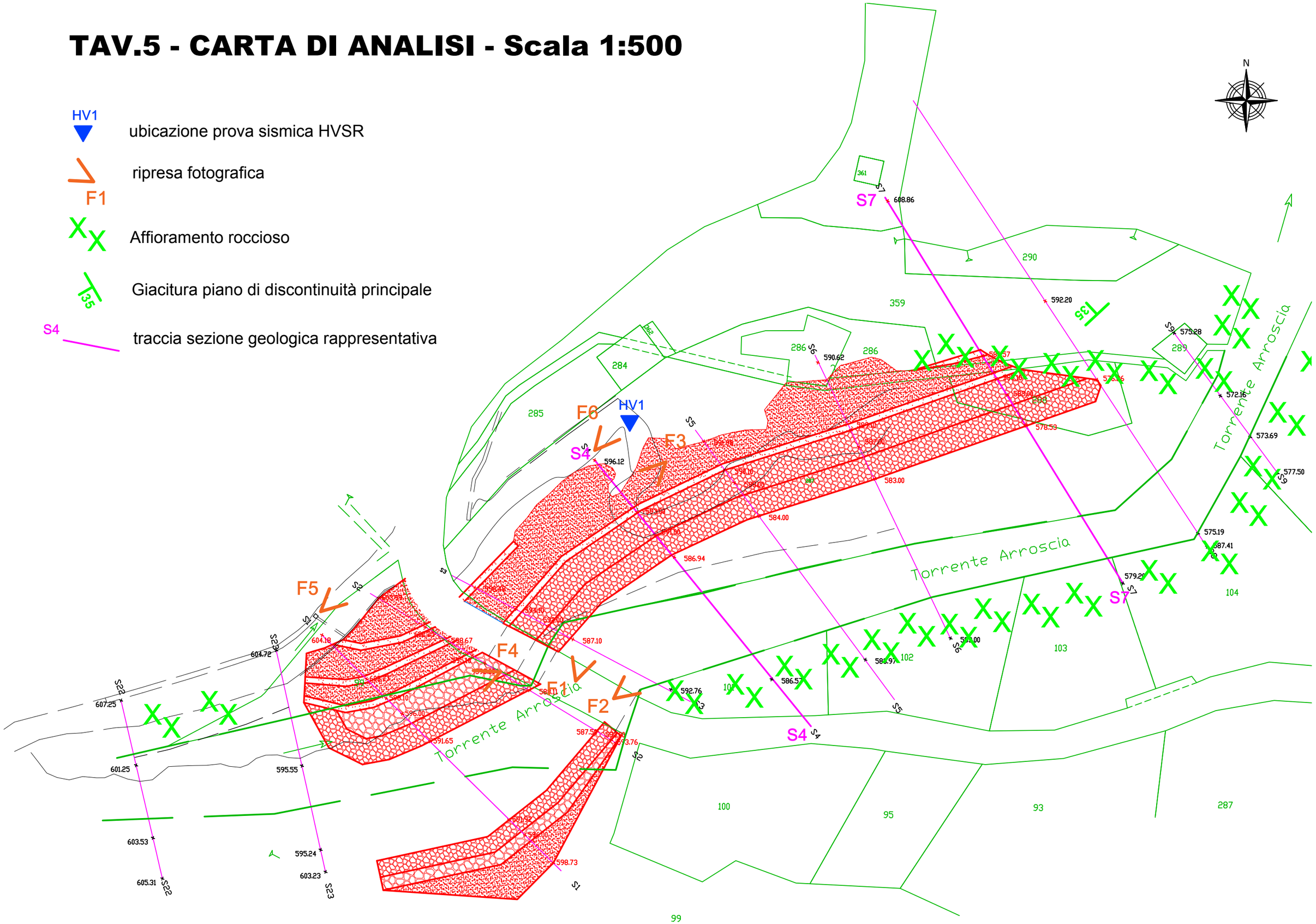
HV1 — ubicazione prova sismica HVSR

F1 — ripresa fotografica

Affioramento roccioso

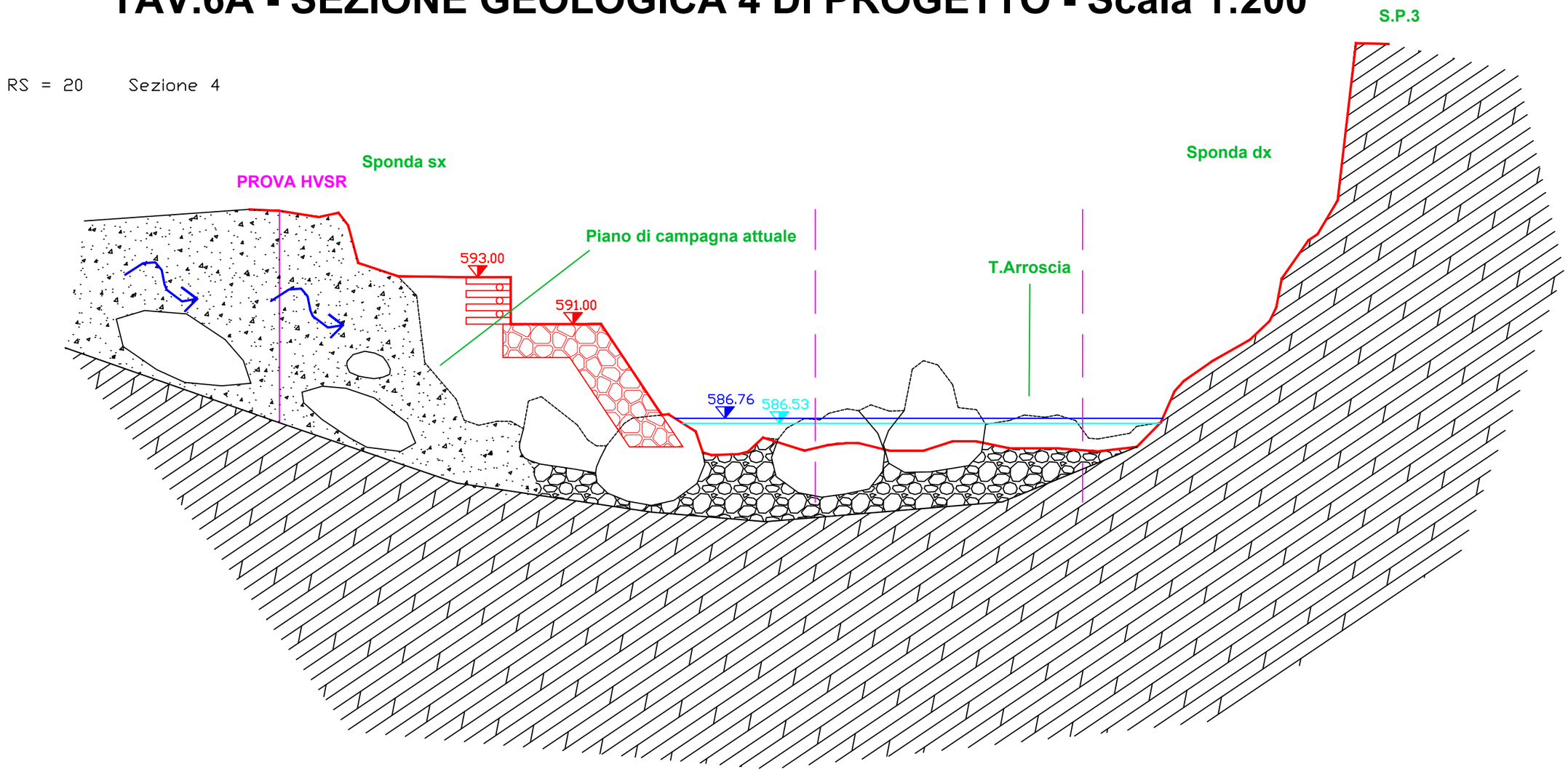
135 — Giacitura piano di discontinuità principale

S4 — traccia sezione geologica rappresentativa



TAV.6A - SEZIONE GEOLOGICA 4 DI PROGETTO - Scala 1:200

RS = 20 Sezione 4



Deposito di paleofrana a matrice limoso - argillosa contenente detriti litoidi arrotondati eterometrici a litologia calcarea ed arenacea con blocchi a volume plurimetrico

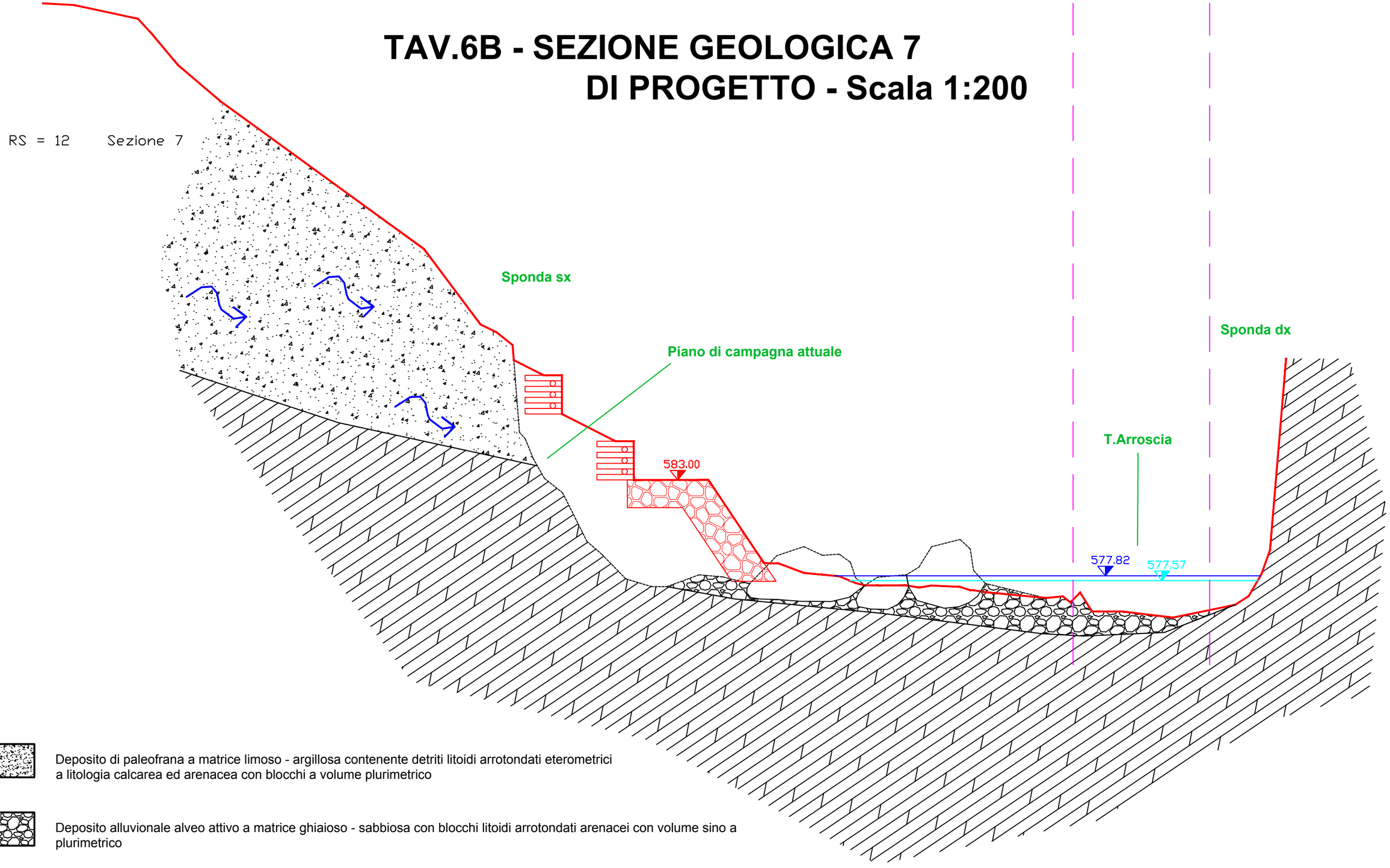
Deposito alluvionale alveo attivo a matrice ghiaioso - sabbiosa con blocchi litoidi arrotondati arenacei con volume sino a plurimetrico

Substrato roccioso (Form. di Testico - Membro di Pieve di Teco) calcari marnosi, stratificati e interessati da giunti di fratturazione

Scorrimenti idrici che si attivano nel deposito di paleofrana a seguito di eventi pluviometrici

Studio di Geologia MACCIO' M. Roberto Via Bellò 4/A -San Fedele 17031 Albenga (SV)

TAV.6B - SEZIONE GEOLOGICA 7
DI PROGETTO - Scala 1:200



Deposito di paleofrana a matrice limoso - argillosa contenente detriti litoidi arrotondati eterometrici a litologia calcarea ed arenacea con blocchi a volume plurimetrico

Deposito alluvionale alveo attivo a matrice ghiaioso - sabbiosa con blocchi litoidi arrotondati arenacei con volume sino a plurimetrico

Substrato roccioso (Form. di Testico - Membro di Pieve di Teco) calcari marnosi, stratificati e interessati da giunti di fratturazione

Scorrimenti idrici che si attivano nel deposito di paleofrana a seguito di eventi pluviometrici

Studio di Geologia MACCIO' M. Roberto Via Bellò 4/A -San Fedele 17031 Albenga (SV)