Firmato digitalmente da
Fabio Arrighetti
CN = Arrighetti Fabio
O = Ordine Regionale Geologi Liguria
C = IT

COMUNE di COSIO D'ARROSCIA

Provincia di Imperia

RELAZIONE GEOLOGICA, PERICOLOSITA' SISMICA
E
COMPATIBILITA' CON IL PIANO DI BACINO

D.M. 17-01-2018

O.P.C.M.3519/2006

OGGETTO:

"LAVORI DI MANUTENZIONE E MESSA IN SICUREZZA IN TRATTI SALTUARI DELLA SP 3 ACQUETICO-MENDATICA"

COMMITTENTE: PROVINCIA DI IMPERIA – Settore Strade

PROGETTISTI: Studio Tecnico Associato FERRI GAZZANO

DOTT. GEOL. FABIO ARRIGHETTI
Iscrizione O.R.G.L. n°583
Via Acqui 8/15 – 17023 – Ceriale (SV)
Cell.3497743036
e-mail: fabio_arrighetti@libero.it
C.F.: RRGFBA78M10D600F
P.I.:01529430090



Ceriale, Giugno 2024

INDICE

1. PREMESSA pag.2
1.1 Quadro normativo di riferimento pag.3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO pag.3
3. IDROGEOLOGIA LOCALE pag.5
4. ANALISI CARTOGRAFIA DEL PIANO DI BACINO ARROSCIA pag.6
4.1 Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale pag.7
5. PROVE SISMICHE IN SITO pag.7
5.1 Stesa sismica masw pag.8
5.2 Stesa sismica a rifrazione pag.8
5.3 Prova sismica puntuale HVSR pag.9
6. RILIEVO GEOMECCANICO DEL SUBSTRATO ROCCIOSO pag.17
6.1 Prove con il Martello di Schmidt pag.17
7. ANALISI DELLA SISMICITA' DEL SITO DELL'INTERVENTO pag.18
8. SUSCETTIVITA' ALLA LIQUEFAZIONE DEL TERRENO pag.23
9. PARAMETRI GEOTECNICI pag.25
10. OPERE DI INTERVENTO IN PROGETTO pag.26
11. CONCLUSIONI pag.27

ALLEGATI

Allegato n°1	Documentazione fotografica stato dei luoghi ed esecuzione stesa sismica masw-rifrazione (17-05-2024) e prova sismica puntuale hvsr (13-05-2024)
Allegato n°2	Prove sclerometriche sull'ammasso roccioso
Allegato n°3	Indagini sismiche MASW ed a rifrazione
Allegato n°4	Spettri di risposta sismica

TAVOLE

TAV 1	COROGRAFIA	scala 1: 5.000
TAV 2A	STRALCI DA PIANO DI BACINO	scala 1: 5.000
TAV 2B	CARTA RETICOLI IDROGRAFICI	scala 1: 5.000
TAV 2C	CARTA STRALCI DAL PAI	scala 1: 5.000
TAV 3A	CARTA GEOLOGICA	scala 1: 10.000
TAV 3B	CARTA GEOMORFOLOGICA	scala 1: 5.000
TAV 4	CARTA DI ANALISI	scala 1: 400
TAV 5A-C	SEZIONI GEOLOGICHE RAPPRESENTATIVE 1-2-3	scala 1: 100

1. PREMESSA

La presente relazione espone i risultati dell'indagine geologica riferita all'intervento di ripristino e messa in sicurezza di un tratto della SP 3 Mendatica-Acquetico, nel Comune di Cosio d'Arroscia, a seguito del dissesto gravante su parte della viabilità avvenuto successivamente ad eventi meteorici intensi; in particolare l'intervento riguarda il ripritino e realizzazione di due attraversamenti stradali su corsi d'acqua e relativo muro di sostegno sottostradale, che presentano lesioni e cedimenti locali, la cui recente evoluzione negativa ha compromesso l'agibilità della strada, che attualmente risulta interdetta.

In riferimento al D.M. 17.01.2018 la Classe d'uso delle costruzioni in progetto è la **Classe III** (Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV) (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** che è imprescindibile per la redazione del successivo **modello geotecnico**, facente parte della relazione d'opera geotecnica.

Sono stati perseguiti i seguenti obiettivi:

- definizione del modello geologico dell'intervento in progetto;
- stima della stratigrafia geologico-tecnica fondazionale delle opere di attraversamento corso d'acqua e di sostegno murario oggetto dell'intervento;
- indicazioni delle condizioni idrogeologiche del sito;

I risultati esposti di seguito si basano su:

- rilevamento geologico di dettaglio del sito oggetto d'intervento e del suo intorno;
- **esecuzione di stesa sismica a rifrazione e MASW** nel sito intervento (cfr. Allegato n.3)
- **esecuzione di prove sclerometriche** con martello di Schmidt su affioramento roccioso attiguo al sito di intervento (cfr. Allegato n.2);
- **risultati di prova sismica puntuale HVSR** con tromografo digitale svolta in sito (cfr. foto n.11 in allegato n.1);
- esame della cartografia del Piano di Bacino e del PAI.

Secondo la cartografia ufficiale, **l'intervento non è soggetto al vincolo idrogeologico per il**

R.D. n°3267/1923, mentre **ricade in vincolo ambientale** (ex D.M. 24/04/1985 Galassini) essendo interno all'area "Alture Della Valle Arroscia, Sfondo Allo Arco Costiero Caratterizzata Da Percorsi Collinari Da Abitati Con Architettura Tipica".
Inoltre esso **ricade all'esterno di area Z.S.C.** (ex S.I.C. Siti di Interesse Comunitario).

1.1 *Quadro normativo di riferimento*

- D.M. 17.01.2018 "*Decreto Ministeriale – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*",
- Circolare 21 Gennaio 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*",
- O.P.C.M. n.3274/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";*
- D.G.R. 216/2017 *"Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria";*
- D.L. 180/1998 convertito in L.267/1998 *"Normativa di Piano di Bacino Stralcio",* approvata con D.C.P. 47/2003 e successivi aggiornamenti;
- D.D.G.176/2018 *"Norme di attuazione – Normativa di Piano",*
- Delibera della C.I.P. dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale n. 40/2024;
- D.G.P.120/2017 *"Disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo".*

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'intervento in progetto è previsto alla quota di ca. 755 m s.l.m. in un tratto della strada provinciale n.3 che collega il borgo di Cosio d'Arroscia all'abitato di Mendatica, sull'attraversamento stradale a pontino di un corso d'acqua senza nome (cfr. TAV.1 Corografia); l'areale è interessato da un dissesto franoso che ha coinvolto principalmente il pontino di attraversamento ed il settore retrostante il muro di contenimento attiguo della S.P.3, originato dall'erosione concentrata esercitata dal regime di piena torrentizio di due corsi d'acqua, in occasione di eventi meteorici significativi, che hanno confluenza a monte del pontino; a seguito di uno smottamento avvenuto a notevole distanza dal sito in oggetto, a seguito dell'evento alluvionale di ottobre 2020, si è formato un nuovo alveo parallelo e ubicato a poca distanza verso ovest rispetto al rivo esistente indicato sulla cartografia tecnica (cfr. TAV.4); l'azione impetuosa dell'acqua con relativo trasporto solido detritico in occasione di

eventi piovosi importanti ha portato all'occlusione del pozzetto di smaltimento acque lungo l'attraversamento del recente alveo e la conseguente esondazione dell'acqua sulla sede stradale e alla confluenza con il rio verso est, provocandone erosioni concentrate alla fondazione del pontino e nel settore stradale retrostante il muro di sostegno (cfr. foto n.1-2-3-4-5 in Allegato n.1). Il dissesto ha provocato un cedimento della sede stradale e fratture e traslazioni delle spalle del pontino di attraversamento che hanno portato ad interdire la viabilità provinciale.

In prossimità delle spalle del pontino ed alla base del muro sottostradale sono presenti alcuni scivolamenti di materiale detritico dovuti alla mobilitazione gravitativa di materiale incoerente, in parte rimaneggiato dall'opera di riporto di terreno non consolidato.

Il modello geologico del sottosuolo è costituito da una coltre detritica colluviale di modesto spessore nell'assetto naturale, in parte costituita da materiale di riporto rimaneggiato e pietrisco sottostradale posizionato a tergo del muro durante la sua realizzazione; la coltre è caratterizzata da una matrice sabbioso-argillosa di colore bruno-nocciola con frammenti rocciosi lamellari sparsi ed inglobante sporadicamente blocchi rocciosi provenienti dal trasporto solido dei corsi d'acqua; lungo tratti spondali erosi a tergo ed a valle del sito intervento il letto dei corsi d'acqua ha messo a nudo porzioni del sottostante cappellaccio roccioso (cfr. foto n.6-7 in Allegato n.1).

A tal proposito sono presenti affioramenti rocciosi sia verso monte che verso valle rispetto agli attraversamenti, lungo la sponda sinistra di monte dell'alveo inciso più recente, sono state eseguite prove sclerometriche per classificare la qualità geotecnica dell'ammasso roccioso (cfr. foto n.8 in Allegato n.1).

Il piano di stratificazione individuato presenta una giacitura a franapoggio (Immersione N225°, inclinazione 75°) che rispecchia per la maggiorparte l'assetto giaciturale della scarpata in oggetto, fattore predisponente all'instabilità globale del versante.

L'ammasso roccioso rilevato in sito ha un aspetto complessivo molto fratturato che si sgretola in un prodotto lamellare tipico della litologia marnosa-pelitica, con deformazioni e pieghe alla micro e mesoscala. La roccia marnosa-calcarea appartiene alla **Formazione di Testico - Membro di Pieve di Teco**, appartenente **all'Unità Moglio-Testico**, costituita da una successione monotona di marne più o meno calcaree ed arenacee, di colore grigio-azzurro, con caratteristica patina di alterazione giallo-grigiastra, a stratificazione non sempre evidente, con intercalazioni di strati di calcari marnosi e calcari quarzosi grossolani.

Le prove sclerometriche e i rilievi geomeccanici di caratterizzazione geotecnica lungo gli affioramenti in sito hanno riguardato il cappellaccio di alterazione del substrato roccioso che

presenta, come suddetto, una facies litologica molto fratturata, con caratteristiche scadenti, che conferisce appunto alle scarpate una discreta suscettività al dissesto.

La stratificazione del cappellaccio roccioso è in condizioni generali di franapoggio, i cui valori della giacitura presentano:

Immers. N 195°-225° / Incl. 65°-75°

L'areale in oggetto risulta coinvolto in un movimento franoso di tipo superficiale, **dovuto all'attività erosiva dei corsi d'acqua attivi nel sito a seguito di eventi meteorici significativi**, con fenomeni di scalzamento e scivolamenti traslativi di materiale detritico verosimilmente interessanti la coltre superficiale e la roccia disarticolata.

Sulle TAV.5A-C sezioni geologiche 1-2-3 rappresentative sono riportate le stratigrafie dei tratti di strada oggetto degli interventi in progetto, finalizzati al ripristino e consolidamento della viabilità stradale ed all'efficienza idraulica dei due attraversamenti, dedotte dal rilevamento geologico di campo e dalle prove geognostiche e sismiche svolte in sito (cfr. Allegato n.2-3).

3. IDROGEOLOGIA LOCALE

Nel sito in oggetto è assente una falda acquifera superficiale continua ma solo una falda di subalveo non perenne che interessa i primi metri del sottosuolo, **alimentata dai corsi d'acqua solo in concomitanza di regime idrico attivo; sono altresì presenti scorrimenti idrici all'interno della coltre detritica e a contatto con il cappellaccio di alterazione del substrato roccioso, conseguenti a eventi meteorici intensi**. A testimonianza di quanto sopra citato, durante il rilevamento di campo è stato individuato uno scorrimento idrico proveniente dal versante a monte della SP3 a ca. 50m verso est rispetto al pontino dissestato che recapita l'acqua lungo la cunetta stradale sino alla spalla sinistra dell'attraversamento (cfr. foto n.12 in Allegato n.1 e TAV.4 per l'ubicazione in planimetria).

Il regime attivo del recente alveo del corso d'acqua proveniente da ovest favorisce infiltrazioni sottofondazionali e fenomeni erosivi concentrati lungo la base e le spalle del pontino esistente di attraversamento al rio più antico, come verificato dallo stato attuale con dissesto di crollo in spalla dx. L'opera di sbarramento in terreno di riporto ha favorito l'apporto di acqua a regime torrentizio verso il pontino che ha prodotto un'erosione concentrata lungo le spalle della

struttura che è evoluta in dissesto con crollo parziale dell'opera muraria.

L'intervento in progetto di ricostruzione dei due attraversamenti stradali ha la finalità di ripristinare l'efficienza idraulica dei due corsi d'acqua sottostante la viabilità provinciale tramite la realizzazione di due scatolari di adeguata sezione idraulica secondo normativa vigente (cfr. relazione idraulica di progetto).

4. ANALISI CARTOGRAFIA DEL PIANO DI BACINO ARROSCIA

Sono stati esaminati gli stralci cartografici del Piano di Bacino in vigore dal 14/11/2002, aggiornato con D.P.C. n° 47/2003 e successivi aggiornamenti e di seguito se ne sintetizzano i risultati rappresentati in TAV.2A-B, tratte dalle varie cartografie tematiche del Piano di Bacino dell'ambito n.9 Centa – T.Arroscia:

CARTA DI SINTESI	***NORMATIVA INTERVENTO***
SUSCETTIVITA' AL DISSESTO DEI VERSANTI	L'intervento ricade in **Pg2**, area con suscettività al dissesto media
FASCE DI INONDABILITA'	Non ricade in fascia sondabile non essendo indagato il sito
INTERVENTI	Non sono previsti interventi nel sito in oggetto
RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE	L'intervento ricade in area di tutela del corso d'acqua
FRANOSITA' REALE	L'intervento non ricade in area franosa ma in zona soggetta a erosione concentrata di fondo

Si certifica che la realizzazione degli interventi in progetto di ripristino attraversamenti stradali di corsi d'acqua e di consolidamento muro sottostradale non interferiscono negativamente con le attuali condizioni di stabilità dell'areale, andando a costituire un'opera di miglioramento idraulico e di ripristino della viabilità attuale, coinvolta in un dissesto franoso circoscritto attivo, pertanto non è in contrasto con le previsioni del Piano di Bacino e del R.R.n.3/2011 e s.m.i.

4.1 *Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale*

Ai sensi dell'art. 2 c. 1 della Delibera della C.I.P. dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale n. 40/2024, a far data dall'8/04/2024, trovano applicazione le mappe di cui all'art. 6 della disciplina di Piano del PAI distrettuale che, dalla medesima data, sostituiscono quelle dei PAI vigenti, in particolare le mappe di cui all'art. 6 c. 1 della disciplina del PAI dissesti costituiscono il riferimento cartografico unico in materia di pericolosità da dissesti di natura geomorfologica. Ai sensi dell'art. 4 della Delibera CIP 40/2024, nelle more dell'emanazione delle disposizioni regionali di attuazione in campo urbanistico, continuano a trovare applicazione le disposizioni dei PAI vigenti e le ulteriori disposizioni regionali.

A far data dall'1/01/2024 i Piani di Bacino Stralcio sono superati dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni per quanto riguarda la disciplina dell'assetto idraulico. Le mappe della pericolosità di riferimento sono le mappe del PGRA. Tuttavia, ai sensi dell'art. 75 della L.R. 20/2023, fino alla emanazione del regolamento regionale ex art. 91 c. 1 ter 2 della L.R. 18/1999 trova applicazione la disciplina per l'assetto idraulico dei previgenti Piani Stralcio.

A tal proposito, di seguito si riporta la tabella sinottica mentre in TAV.2C si riportano le mappe ora in vigore sopracitate, che comunque non cambiano la situazione rispetto al Piano di Bacino.

CARTA DI SINTESI	***NORMATIVA INTERVENTO***
MAPPA PAI DISSESTI – Pericolosita', Subsidenza	L'intervento ricade in **P2b**, area con media propensione al dissesto
PGRA - Mappa della Pericolosità da alluvione fluviale e costiera	Non ricade in area di pericolosità dominio fluviale

5. PROVE SISMICHE IN SITO

Nel sito oggetto di intervento sono state svolte **n.1 stesa sismica MASW, n.1 stesa sismica a rifrazione** e **n.1 prova sismica puntuale di microtremore HVSR** con tromografo digitale in data 13-05-2024 (cfr. foto 11 in Allegato n.1 e TAV.4 carta di analisi); sono inoltre state eseguite prove sclerometriche sull'affioramento roccioso presente in sito (cfr. foto n.8 in Allegato n.1) per caratterizzare geomeccanicamente il litotipo. I risultati delle suddette prove, riportati nel prosieguo, sono volti alla definizione del modello geologico ed alla caratterizzazione geotecnica del sottosuolo fondazionale degli interventi in progetto.

5.1 *Stesa Sismica Masw*

E' stata eseguita ed interpretata una stesa sismica di tipo MASW dalla ditta Indago s.r.l. di Genova il cui report di trattazione ed i risultati dell'indagine sismica è contenuto nell'allegato n.3.

La prova è stata eseguita lungo il tratto della strada provinciale S.P.3 dissestato, ove sono previste le opere di ripristino e consolidamento in progetto, con uno stendimento di ca. 51m, in funzione della disponibilità di spazio dello stato dei luoghi (cfr. foto n.9-10 in Allegato n.1 e TAV.4 carta di analisi).

L'elaborazione dei dati sismici ottenuti dalle indagini sismiche MASW, sulla base di quanto descritto nei paragrafi precedenti, ha consentito di ricavare **il modello medio di distribuzione delle velocità delle Onde S ed il parametro VSeq relativo al tratto di sottosuolo del sito in esame.**

L'elaborazione dei risultati della stesa sismica MASW è sintetizzata nella tabella seguente, in cui sono stati suddivisi i valori delle velocità delle Onde S, ipotizzando i seguenti modelli di velocità:

Tabella A: Sismostrati desunti dalla prova MASW

Profondità dal p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)
2	2	370
4	2	400
7,5	3,5	450
Inf.	Inf.	900

Il valore relativo del parametro Vseq (0-7,5m), è pari a:

Vseq = 412 m/sec

ricadendo secondo la normativa italiana D.M. 17/01/2018 (vigente alla data di esecuzione), in **classe B,** considerando la quota del piano strada su cui è stata svolta la stesa sismica.

5.2 *Stesa Sismica a rifrazione*

Unitamente alla stesa masw è stata eseguita un'indagine di sismica a rifrazione dalla ditta Indago s.r.l. di Genova, volta alla caratterizzazione fisico-meccanica e geometrica degli strati litologici ed il cui report di la trattazione ed i risultati sono contenuti nell'allegato n.3.

La prova è stata eseguita lungo il medesimo tratto stradale, utilizzando lo stesso stendimento di 51m della precedente prova, che ha permesso di indagare una profondità di ca. 15m di sottosuolo (cfr. foto n.9-10 in Allegato n.1 e TAV.4 carta di analisi).

L'elaborazione dei dati sismici ottenuti ha permesso di ottenere le dromocrone (ovvero i segmenti relativi ai tempi diretti e rifratti), da cui si è potuto identificare il valore degli spessori per le diverse velocità iesime calcolate e quindi tracciare gli orizzonti fisici intercettati per i diversi sismostrati attraversati dalla radiazione sismica generata. L'elaborazione dei risultati della stesa sismica a rifrazione è sintetizzata nella tabella seguente, in cui sono stati sono stati individuati 3 rifrattori che definiscono la seguente stratigrafia suddivisa dai valori delle velocità delle Onde P:

Tabella B: Sismostrati desunti dalla prova sismica a rifrazione

Profondità dal p.c. (m)	Spessore (m)	Vp (m/sec)
1.5	1.5	793,5
7	5.5	1437,8
>7	-	2023,6

In conclusione, sulla base della misura geofisica di tipo Masw, confermata dalla stratigrafia sismica dell'indagine a rifrazione svolte in sito e della prova HVSR descritta successivamente, la categoria sismica del sottosuolo in riferimento alla quota del piano campagna, 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).

5.3 *Indagine Puntuale Hvsr*

Il giorno 13-05-2024 è stata eseguita una prova puntuale geofisica HVSR la cui ubicazione è riportata sulla documentazione fotografica in Allegato n.1 e TAV.4 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.1 – 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.11 in allegato n.1, presso cui è stata effettuata una registrazione di durata pari a 30 minuti in funzione del limitato livello di disturbi antropici presente nel sito; durante la misura non pioveva e non era presente una brezza tale da comportare la protezione dello strumento 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 – HVSR

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).

Dati riepilogativi:

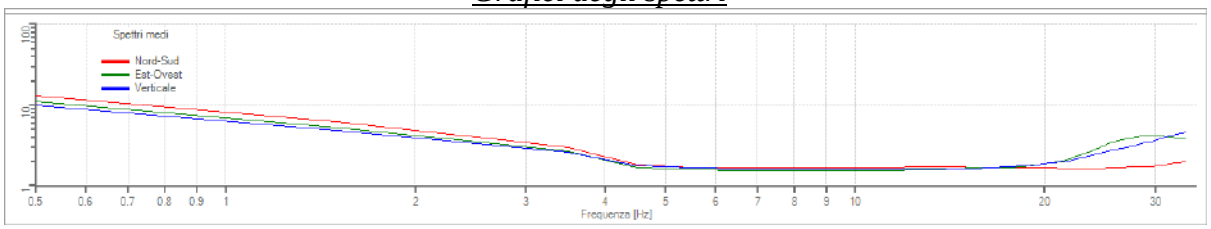
Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1800 s
Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Numero campioni:	450000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Ai fini della determinazione dei rapporti H/V è stato impiegato il software di elaborazione Easy HVSR 2023 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.

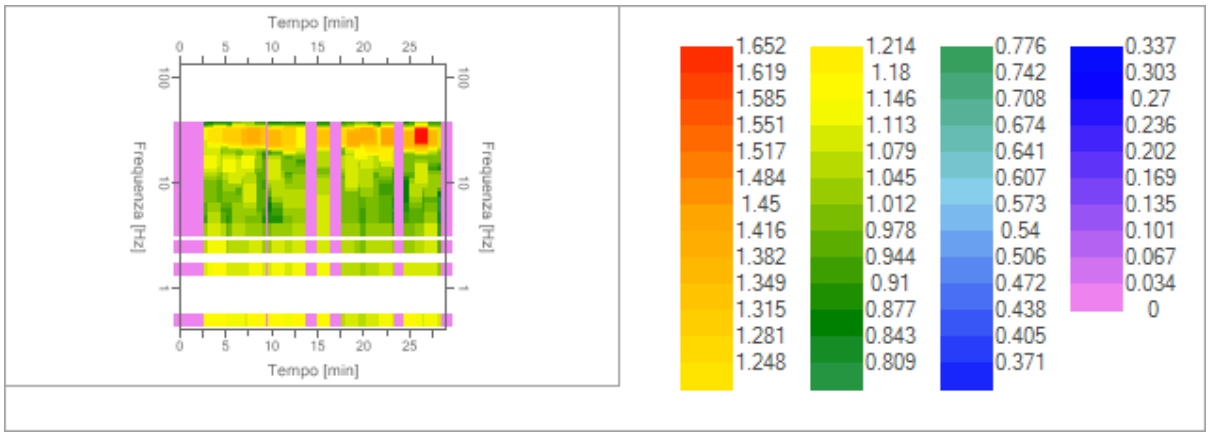
Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate:	37
Numero finestre incluse nel calcolo:	30
Dimensione temporale finestre:	20.000 s
Tipo di lisciamento:	Triangolare costante
Percentuale di lisciamento:	10.00 %

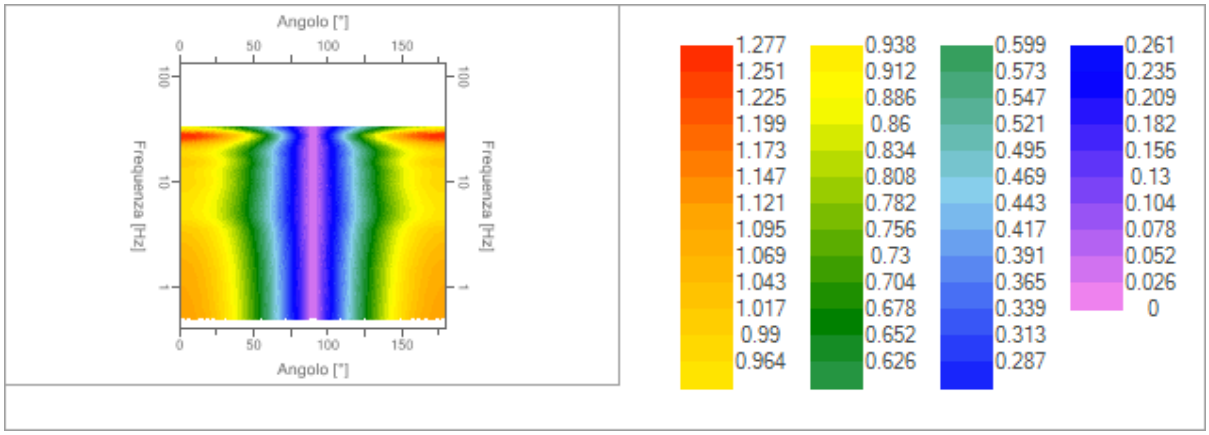
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

ANALISI ED INTERPRETAZIONE DELLA CURVA H/V

Le registrazioni dei dati sono avvenute in discrete condizioni, che comunque hanno lasciato intervalli sufficientemente ampi per permettere e rispettare le condizioni consigliate dalle verifiche Sesame:

Rapporto spettrale H/V

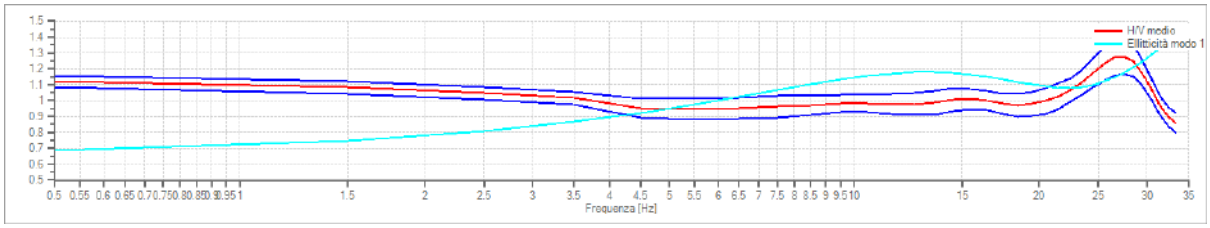
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	35.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	1.00 Hz
Tipo lisciamento::	Triangolare costante
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Nessuna (Direzione EO)

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.

Risultati:
Frequenza del picco del rapporto H/V:27.50 Hz ±0.09 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
$\sigma_A(f) < 3 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 < 0.5H$	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Non superato
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

INTERPRETAZIONE DELLA CURVA H/V

L'interpretazione della misurazione eseguita ha consentito di correlare un valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del bedrock geofisico (con l'ausilio delle velocità delle Vs ricavate dalla prova MASW svolta in sito) 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.

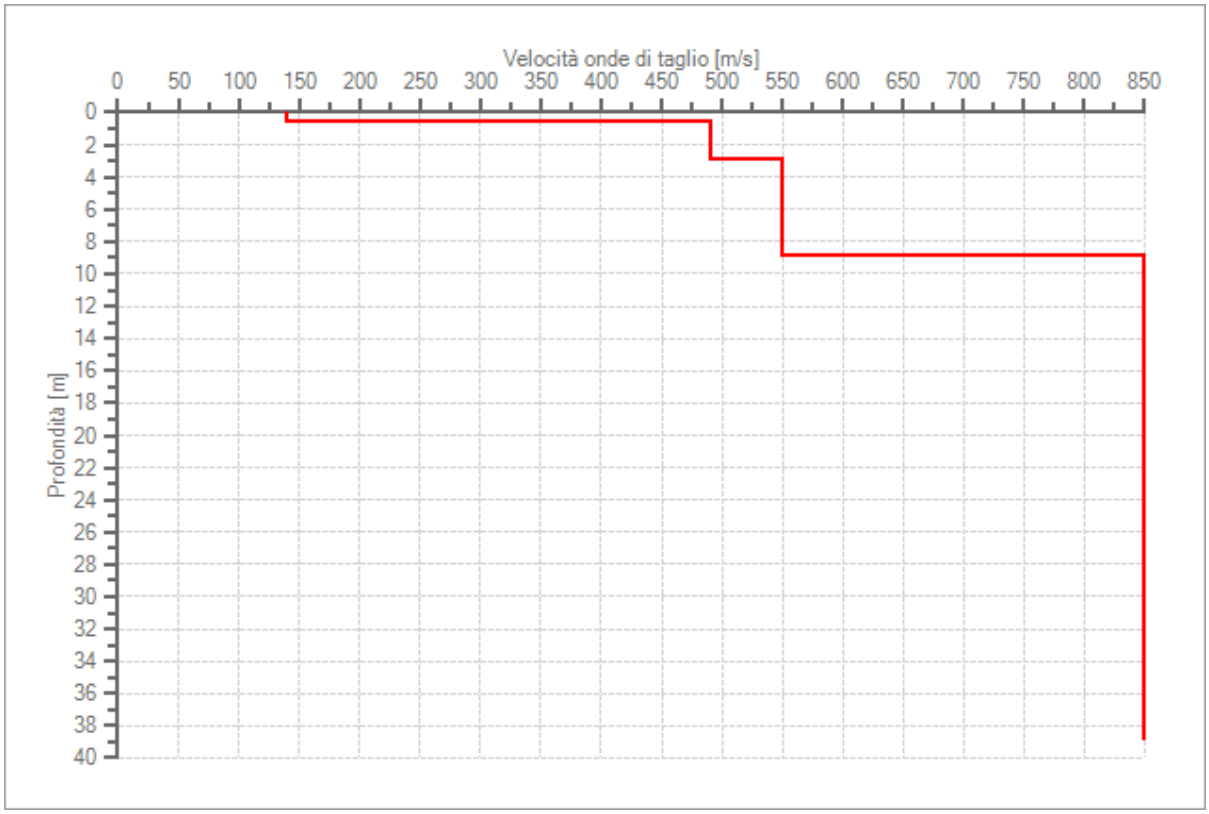
MODELLO STRATIGRAFICO GEOFISICO

Dati riepilogativi:

Numero strati: 4
Frequenza del picco dell'ellitticità: 33.50 Hz
Valore di disadattamento: 0.19
Valore Vseq: 447.49 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	0.6	17	0.4	140
2	0.6	2.3	20	0.35	490
3	2.9	6	23	0.3	550
4	8.9	30	25	0.3	850



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} = 447.49 m/s

In conclusione, sulla base della misura geofisica del rapporto spettrale H/V e dei risultati della prova MASW svolte in sito, la categoria sismica del sottosuolo in riferimento alla quota del piano campagna, 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).

6. RILIEVO GEOMECCANICO DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Le fondazioni dell'opera di consolidamento in progetto prevedono la realizzazione di micropali sottofondazionali che dovranno basarsi sulla roccia, presente in profondità nel sito in oggetto (cfr. TAV.5A-C Sezioni Geologiche). Pertanto, è stato condotto un rilievo geomeccanico situato nel sito intervento, in dettaglio nell'affioramento roccioso a monte del tratto in dissesto, per definirne le caratteristiche geotecniche.

Si è operato su una stazione di rilievo, denominata S1 (cfr. TAV.4 per l'ubicazione) e la resistenza a compressione monoassiale è stata ottenuta con lo sclerometro/martello di Schmidt modello "L" (cfr. Allegato n.2).

6.1 Prove con il Martello di Schmidt

Il martello di Schmidt, noto come sclerometro, è ampiamente utilizzato come prova non distruttiva e volta a misurare la "durezza di rimbalzo" della roccia. Dalla prova si ricava l'indice di rimbalzo R che è possibile correlare alla resistenza alla compressione uniassiale mediante varie relazioni.

La procedura per l'esecuzione delle prove sclerometriche consiste nel misurare la risposta della roccia all'urto di un pistoncino in direzione perpendicolare alla superficie rocciosa, direttamente in sito, mediante l'utilizzo appunto dello sclerometro (o"Martello di Schmidt").

I cinque valori maggiori dei rimbalzi ottenuti, mediati e corretti in funzione dell'orientazione dello sclerometro, conducono, attraverso la formula di Miller, alla stima del valore di resistenza alla compressione uniassiale JCS; analogo il risultato ottenibile da un apposito abaco.

Le prove sono state eseguite sulla superficie di stratificazione (S0) con un'inclinazione del martello di ca. 90°.

Il valore medio così ottenuto, **JCS = 34.5** definisce una roccia a bassa resistenza alla compressione monoassiale (cfr. Tabella seguente, intervallo 25-50).

TABELLA A

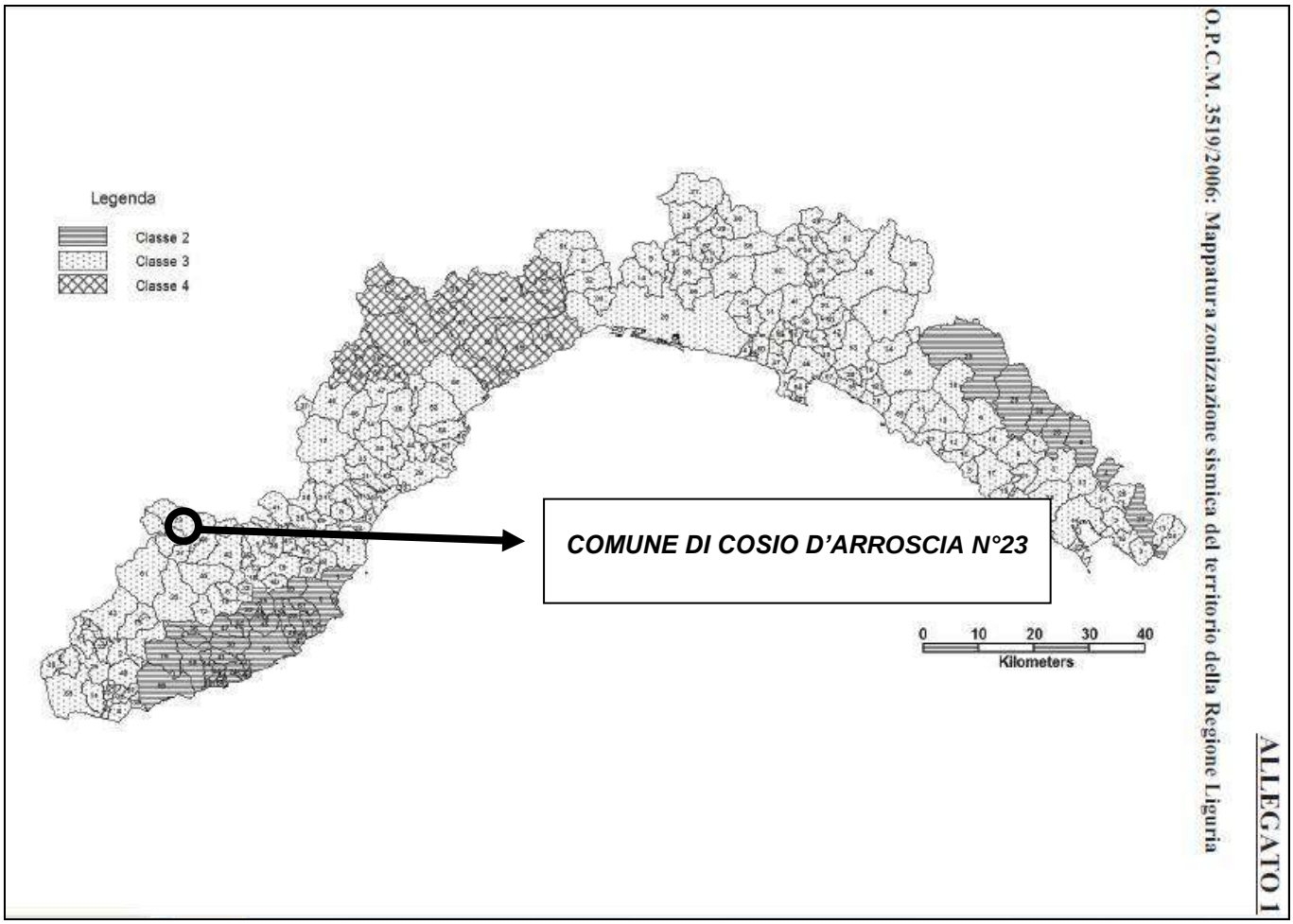
	JCS (MPa)	Resistenza della roccia alla compressione monoassiale
	< 25	molto bassa
⇒	**25-50**	**bassa**
	50-100	media
	100-250	alta
	>250	molto alta

Si tratta di un ammasso roccioso di scadenti qualità geomeccaniche, cavabile con facilità, con utilizzo del martellone pesante.

7. ANALISI DELLA 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, con ultimo aggiornamento dato dalla D.G.R. 962/2018.**



Il Comune di Cosio d'Arroscia è stato classificato, secondo la nuova classificazione, in Classe Sismica 3 con rispettivamente il n°23 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 delle N.T.C. 2018 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 *PV*R, *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:

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0,244
Effetto sismico secondo	Paolucci e Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0,0926

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	75,0 [anni]

Sito in esame.

latitudine:	44,07924
longitudine:	7,8204

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18011	Lat: 44,0969	Lon: 7,7795	Distanza: 4061,573
Sito 2	ID: 18012	Lat: 44,1003	Lon: 7,8489	Distanza: 2995,553
Sito 3	ID: 18234	Lat: 44,0504	Lon: 7,8536	Distanza: 4021,381
Sito 4	ID: 18233	Lat: 44,0471	Lon: 7,7842	Distanza: 4862,401

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45,0	0,4	2,58	0,21
S.L.D.	75,0	0,55	2,57	0,23
S.L.V.	712,0	1,66	2,48	0,3
S.L.C.	1462,0	2,2	2,5	0,32

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe III

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,576	1,0	0,0587	0,0294
S.L.D.	0,792	0,47	0,038	0,019
S.L.V.	2,3904	0,38	0,0926	0,0463
S.L.C.	3,1037	1,0	0,3165	0,1583

Si precisa che si è considerato come sottosuolo di riferimento del sito in oggetto una **categoria di suolo B -** *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s* (Tabella 3.2.II – NTC 2018), secondo la prova sismica MASW svolta in sito (cfr. Allegato n.3) e l'assetto stratigrafico dell'areale stimato dai risultati delle prove sismiche e del rilevamento di campo, rappresentato sulle sezioni geologiche in TAV.5A-C;

è stata considerata la correzione topografica (T2) dato che il sito si trova in un'area di versante con acclività >15°.

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

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

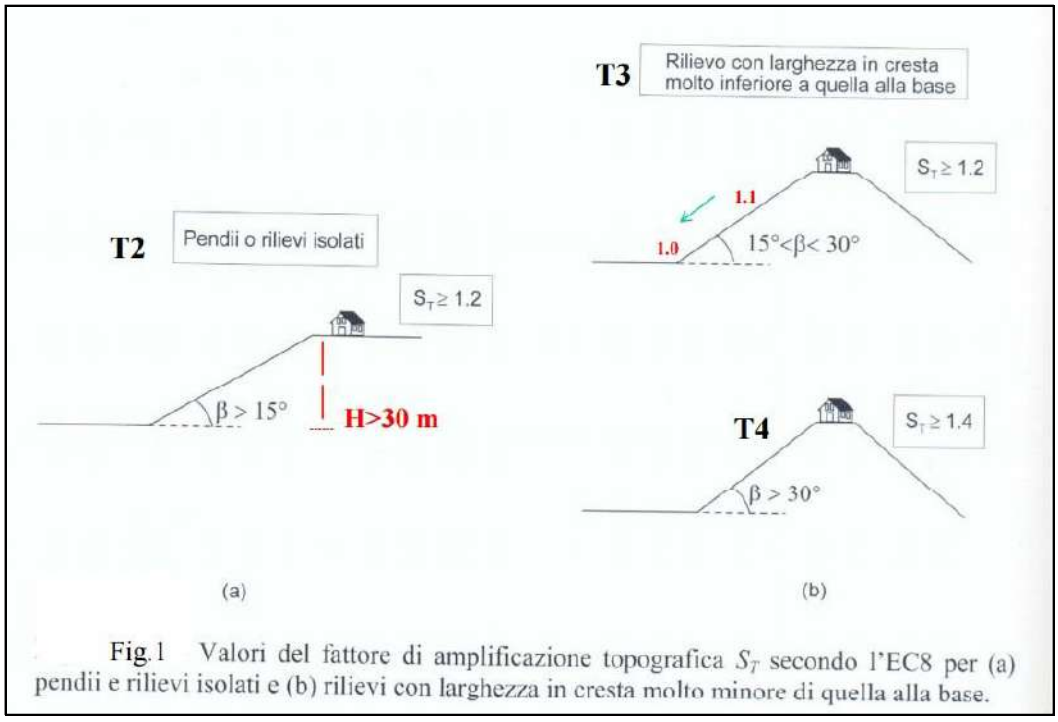


Fig.1 Valori del fattore di amplificazione topografica S_T secondo l'EC8 per (a) pendii e rilievi isolati e (b) rilievi con larghezza in cresta molto minore di quella alla base.

8. SUSCETTIVITA' ALLA LIQUEFAZIONE DEL TERRENO

Il fenomeno della liquefazione di un terreno consiste nella riduzione della sua resistenza al taglio causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo, durante un evento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative.

Fattori predisponenti la suscettività di liquefazione sono la presenza della falda acquifera in prossimità del piano di campagna, il terreno di fondazione con lenti/strati di sabbie sciolte o poco addensate sottofalda, basso contenuto di materiale fine ed il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo (M>5) e lunga durata.

La verifica a liquefazione può non essere eseguita se risulta essere soddisfatta una sola delle seguenti circostanze:

- eventi sismici attesi non superiori a magnitudo M>5;
- accelerazioni massime attese al piano di campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal piano campagna, per p.c. sub-orizzontale e fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata N1(60)>30;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure seguenti per U_C<3.5 e per U_C>3.5:

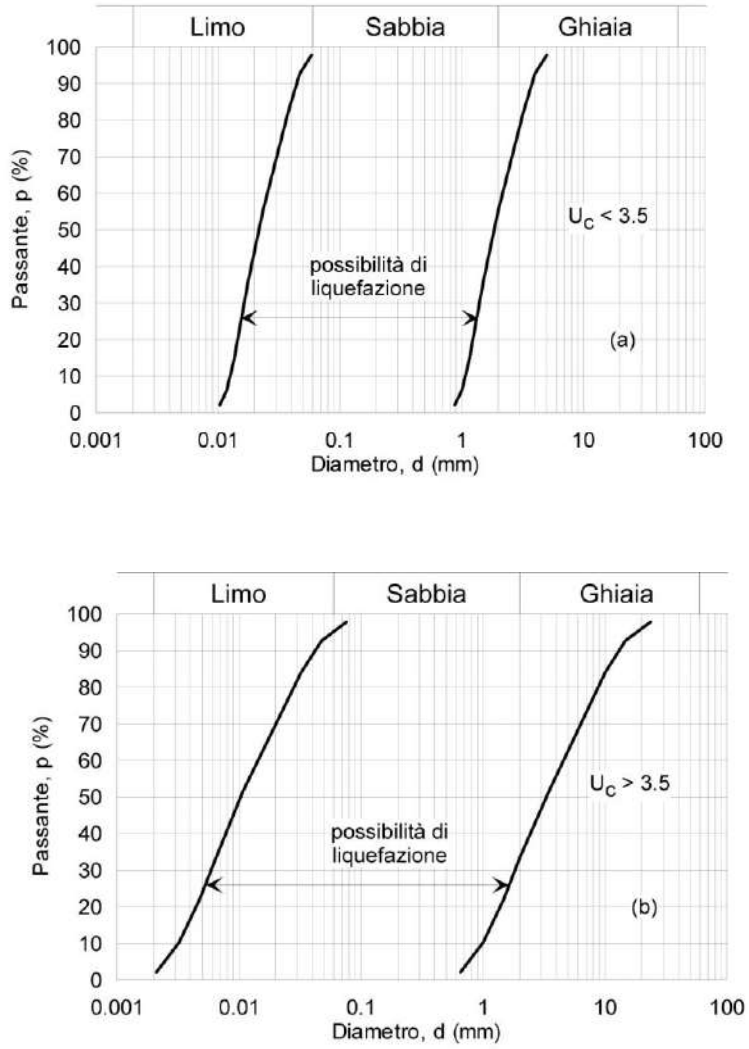


Figura 7.11.1 – *Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.*

Pertanto, non essendo presente una falda superficiale ed essendo presente il substrato roccioso nel sottosuolo, non idoneo a sviluppare fenomeni di liquefazione, non sussistono caratteristiche predisponenti al verificarsi di fenomeni di liquefazione del terreno e quindi potrà non eseguirsi la verifica a liquefazione.

9. PARAMETRI GEOTECNICI

L'opera d'intervento prevede un ripristino delle funzionalità idrauliche di due attraversamenti sottostradali di corsi d'acqua tramite la realizzazione di scatolari in cls e ricostruzione muro sottostradale di sostegno e di collegamento tra i due attraversamenti, soggetti a lesioni e cedimenti; **le opere dovranno essere basate tramite fondazioni su micropali sull'ammasso roccioso** presente in profondità come indicato nelle sezioni geologiche di TAV.5A-C, secondo la stima della stratigrafia dedotta dall'esecuzione delle prove sismiche e del rilevamento geomorfologico.

Si forniscono allo strutturista i valori geotecnici indicativi del sottosuolo, derivanti da prove speditive in sito con Pocket Penetrometer sulla coltre detritica e con analisi geomeccanica e ausilio del martello di Schmidt sull'ammasso roccioso più fratturato (cappellaccio di alterazione del substrato roccioso) affiorante in prossimità del sito intervento, unitamente all'ausilio delle correlazioni di letteratura con i parametri sismici ottenuti nelle prove svolte.

Tabella 1. Parametri geotecnici medi

PARAMETRO	**Coltre detritica** (argilloso-sabbiosa con frammenti litoidi lamellari) **comprensiva del terreno di riporto sottostradale**	**Cappellaccio di alterazione e substrato roccioso stratificato**
Angolo di attrito	Φ=28°	Φ=35°
Peso di volume naturale	$Y_{nat.}$=1.8 t/m^3	$Y_{nat.}$=2.5 t/m^3
Coesione efficace	C'=0.1 kg/cm^2	C'=0.8 kg/cm^2
Coesione non drenata	C_u=0.3 kg/cm^2	-
Modulo di Winkler* (direz. Z)	$K_1(b_1)$=5 Kg/cm^3	$K_1(b_1)$=18 Kg/cm^3
Coefficiente di Poisson	μ=0.4	μ=0.3
Coefficiente di permeabilità	K=10^{-6}m/s	K=10^{-5}m/s (intervalli fratturati della roccia)
Velocità onde sismiche di taglio Vs (da prova sismica MASW in sito)	Vs=370-450 m/s	Vs=900 m/s
Velocità onde sismiche di taglio Vp (da prova sismica a rifrazione in sito)	Vp= 793.5-1437.8 m/s	Vp= 2023.6 m/s
Qualità ammasso roccioso	-	Scadente, classe IV di Biewniaski

* valore indicativo poiché dipende anche dalla forma e dimensione della fondazione e dai carichi della struttura, valori non conosciuti dallo scrivente.

10. OPERE DI INTERVENTO IN PROGETTO

Sulla base di quanto evidenziato allo stato attuale, con la viabilità interdetta a causa dell'avanzata erosione sulle spalle e la struttura muraria del pontino ed il cedimento di un tratto della sede stradale a valle del muro di sostegno anch'esso dissestato, sono da prevedere, a seguito di eventi meteorici intensi, evoluzioni negative del dissesto gravante sul tratto della S.P.3, con aumento dei cedimenti e dell'instabilità delle opere strutturali.

Pertanto si prevedono interventi di miglioramento dell'efficienza idraulica degli attraversamenti dei due corsi d'acqua e di consolidamento del tratto stradale con ricostruzione del muro sottostradale di collegamento tra i due attraversamenti.

Il progetto prevede la realizzazione di due nuovi scatolari di idonea sezione idraulica come opere di attraversamento sottostradale dei corsi d'acqua, sia del rivo esistente verso est (indicato con il numero 1 in TAV.4 e segnato sulla CTR) che del rivo presente verso ovest (indicato con il numero 2 in TAV.4 e di più recente formazione a seguito evento franoso avvenuto nel versante di monte, non riportato sulla CTR). Tali opere avranno la finalità di regimare e contenere l'erosione torrentizia, ripristinando il corretto deflusso dei rii che porterà alla rimozione del tratto di confluenza del rivo ovest verso quello est formatesi subito a monte della S.P.3, a seguito dell'otturazione del pozzetto di decantazione antistante le tombinature di attraversamento. **Gli scatolari saranno fondati su platea in continuità con la fondazione del muro di contenimento sottostradale di raccordo tra i due attraversamenti, la cui fondazione dovrà essere basata nel substrato roccioso tramite micropali**.

L'intervento è finalizzato ad impedire l'avanzamento del dissesto e del quadro fessurativo esistente sui manufatti stradali, la cui messa in sicurezza permetterà la riapertura della viabilità del tratto di strada in oggetto.

L'adozione di una fondazione in micropali è resa necessaria dal contesto geomorfologico dei luoghi, con presenza di spessori di coltre plurimetrici secondo i risultati stratigrafici ottenuti dalle prove sismiche svolte lungo la sede stradale e riportati nelle sezioni geologiche di TAV.5A-C; inoltre, lo stato di dissesto attivo del sito, potenzialmente riattivabile a seguito di eventi meteorologici intensi, impone un'opera di consolidamento strutturale importante per la messa in sicurezza del tratto di S.P.3 in oggetto.

Si rimane a disposizione per l'assistenza geologica alla fase di cantiere.

11. CONCLUSIONI

Sulla base delle caratteristiche geotecniche del terreno e delle condizioni idrogeologiche rilevate si sintetizzano i risultati e si forniscono alcune indicazione operative a supporto del progetto.

Realizzazione muro sottostradale e regimazione acque meteoriche

L'intervento in progetto comporta la ricostruzione di un tratto di muro di contenimento in c.a. rivestito in pietra locale sul lato sottostradale a sostituzione di quello in parte lesionato e dissestato.

L'opera muraria di sostegno e consolidamento in progetto dovrà basarsi su micropali di lunghezza tale da basarsi nell'ammasso roccioso.

Il muro dovrà essere dotato di file di barbacani e di strato di materiale arido drenante a tergo, nel settore controterra, per evitare pressioni interstiziali e favorire il drenaggio delle acque meteoriche di infiltrazione; inoltre dovrà essere provvisto di canale/condotta di raccolta longitudinale (alla base) per consentire la raccolta e lo smaltimento degli scorrimenti idrici con recapito finale lungo l'impluvio presente a valle.
Oltre alle tipologie strutturali essenziali a garantire la stabilità della carreggiata stradale nel suo insieme, il progetto dovrà proporre quali opere di drenaggio superficiale la realizzazione di una sede stradale con una pendenza trasversale non inferiore al 2% al fine di raccogliere le acque superficiali di ruscellamento in una cunetta con smaltimento finale nei corsi d'acqua presenti in sito.

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

Opera di scavo (N.T.C.2018 par. 6.8.6)

L'intervento in progetto comporta un'opera di scavo nel terreno per la realizzazione del piano fondazionale del nuovo muro sottostradale e degli scatolari in progetto, pertanto si forniscono alcune indicazioni operative:

- Per fronti di scavo che superano l'altezza di 1.5m è vietato il sistema di scavo manuale per potenziale scalzamento alla base e conseguente franamento della parete in scavo;
- Deve essere evitato il deposito di terreno e materiale soprastante il ciglio dello scavo e il passaggio di automezzi, tali da comportare sovraccarichi anche provvisori;
- Deve essere evitato il ristagno d'acqua di ruscellamento meteorico alla base del fronte di scavo che possa provocare il rammollimento del terreno con conseguenti crolli/scivolamenti di materiale.

Si consiglia di eseguire lo scavo per la realizzazione delle opere in progetto secondo campioni laterali di lunghezza massima 3m per operare in condizioni di assoluta sicurezza nel breve periodo, con la repentina realizzazione del tratto di muro di sostegno.
Per ulteriori specifiche si rimanda alle prescrizioni del Piano di Sicurezza secondo il D.Lgs. 81/2008 e s.m.i.

Utilizzo delle Terre e Rocce da Scavo:

In relazione agli scavi fondazionali si certifica che il terreno che verrà scavato, costituito da terreno prevalente limoso-sabbioso con frammenti e blocchi rocciosi, sarà idoneo, previa separazione della frazione fine, per opere di riempimento/reinterro e per la sistemazione delle aree ed avrà una discreta volumetria che il progettista dovrà stabilire con precisione.

Si riporta lo stato della normativa in vigore allo stato attuale, in considerazione del riutilizzo finale delle terre da scavo; **per il terreno che sarà riutilizzato in sito,** ovvero negli stessi mappali in cui sono previste le opere in progetto, come in parte nel presente caso come materiale di sistemazione fondiaria, 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.**

L'eventuale parte del terreno di scavo in esubero, a seguito comunicazione del progettista, **verrà conferita in discarica autorizzata e non dovrà essere svolta la pratica "terre e rocce da scavo".**

Se diversamente questa verrà riutilizzata 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.**

In rapporto ai terreni presenti nel sito di intervento si può certificare che lo scavo non interesserà litologie potenzialmente contaminanti per la presenza delle "Pietre Verdi"; così come delimitato sulla carta del repertorio cartografico Regione Liguria denominata "Pietre Verdi" del 2013.

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 inerti.**

Falda Acquifera

È assente la falda freatica superficiale, ma sono presenti scorrimenti idrici isolati lungo la coltre detritica e lungo livelli fratturati dell'ammasso roccioso provenienti dalle acque di infiltrazione dei rivi presenti, che in occasione di eventi meteorici significativi risultano copiose; il rilevante apporto di acqua proveniente dal versante ha infatti portato alla marcata erosione concentrata di fondo dei corsi d'acqua che ha causato il dissesto e l'interdizione del tratto stradale in oggetto.

Il sito non ricade nell'elenco delle **"aree carsiche"** individuate dalle Regione secondo l'art.4 della L.R. n.14/90.

Compatibilita' Piano di Bacino ed idraulica

A seguito dell'analisi della cartografia dei Piani di Bacino Stralcio del T. Arroscia**, lo scrivente certifica che la realizzazione delle opere in progetto non produrrà alcuna interferenza negativa sull'attuale condizione di stabilità dell'areale e che l'intervento è compatibile con la normativa del Piano di Bacino.**

Si rimanda allo studio idraulico progettuale per la verifica dell'idoneità idraulica degli attraversamenti sottostradali.

Rischio Sismico

La situazione stratigrafica del sito dell'intervento verificato con l'esecuzione di prova sismica, consiglia di fare riferimento al **suolo di categoria B e classe sismica 3** secondo la D.G.R. 216/2017 (cfr. paragrafo 7).

il valore massimo dell' accelerazione orizzontale nel periodo di riferimento calcolato mediante l'Allegato B delle N.T.C. 2018 (SLV, T_R=712 anni), risulta:

$$\mathbf{a_{max} = S_S * S_T * a_g = 0.24\ g}$$

TABELLA E – DATI SISMICI

Categoria suolo	B
Classe sismica comunale	3
Accelerazione orizzontale max	Ag=0.24g

Con l'adempimento delle indicazioni operative gli interventi in progetto miglioreranno le attuali condizioni idrauliche e di stabilità del tratto di strada in oggetto **e si certifica che i lavori sono compatibili secondo la Normativa del Piano di Bacino ed il rispetto dell'assetto geomorfologico ed idraulico dell'areale interessato.**

Dott. Geol. ARRIGHETTI Fabio

(Iscrizione O.R.G.L.n°583)



……

ALLEGATO 1 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA STATO DEI LUOGHI ED ESECUZIONE STESA SISMICA MASW-RIFRAZIONE (17-05-2024) E PROVA SISMICA PUNTUALE HVSR (13-05-2024)



Foto 1. Veduta da ovest del dissesto che interessa il pontino e un tratto della S.P.3 Cosio-Mendatica; cedimento stradale a tergo del muro di sostegno con rigetto di alcuni decimetri.



Foto 2. Veduta da est del dissesto che interessa il pontino e un tratto della S.P.3 Cosio-Mendatica, con spalla dx traslata e danneggiata per l'azione erosiva del corso d'acqua.

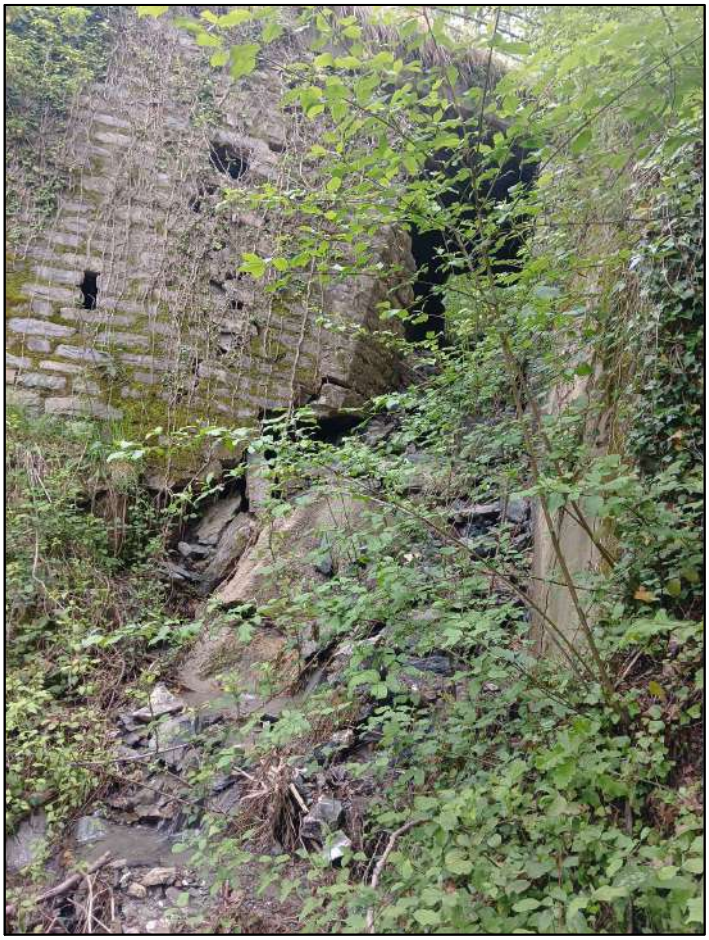


Foto 3. Veduta da valle del pontino oggetto di ricostruzione con scatolare a causa del dissesto che ha interdetto la SP3.



Foto 4. Veduta del settore di muro che verrà ricostruito con scatolare a causa dell'inefficienza dei tubi di attraversamento, di non idonea sezione idraulica.



Foto 5. Erosione concentrata che ha interessato la spalla dx del pontino proveniente dalla confluenza del nuovo tracciato del corso d'acqua sul rio originario.



Foto 6. Veduta di affioramento roccioso a valle della SP3 lungo l'alveo del corso d'acqua a ca una decina di metri dal muro di sostegno.

Dott. Geol. FABIO ARRIGHETTI - Via Acqui 8/15 - 17023 Ceriale (SV)



Foto 7. Veduta di affioramento roccioso fittamente stratificato, con giacitura a franapoggio, a monte della SP3 e in sponda sx dell'alveo del corso d'acqua ad ovest del pontino.



Foto 8. Veduta affioramento roccioso a monte del tratto dissestato della SP3, su cui sono state svolte prove sclerometriche con Martello di Schmidt.



Foto 9. Ubicazione stesa sismica MASW ed a rifrazione in sito eseguita il 17-05-2024, veduta da ovest verso est.



Foto 10. Ubicazione stesa sismica MASW ed a rifrazione in sito eseguita il 17-05-2024, veduta da est verso ovest.



Foto 11. Ubicazione prova sismica HVSR in sito eseguita il 13-05-2024 nel settore ovest del dissesto.



Foto 12. Scorrimento idrico proveniente dal versante del settore est rispetto al sito intervento la cui acqua si riversa lungo la spalla sx del pontino dissestato.

Allegato n.2

Committente :	Provincia di Imperia
Località :	S.P.3 - Cosio d'Arroscia
Oggetto :	intervento di messa in sicurezza tratto S.P.3

PROVA SCLEROMETRICA

Martello di Schmidt (mod. 45-D561 Controls)

Stazione S1

Litologia : marne calcaree

Discontinuità : Stratificazione S0 - Imm./incl.: 225°/75°

JCS JCS=10^[(Mc*0.00088*γ) + 1.01]

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

essendo :

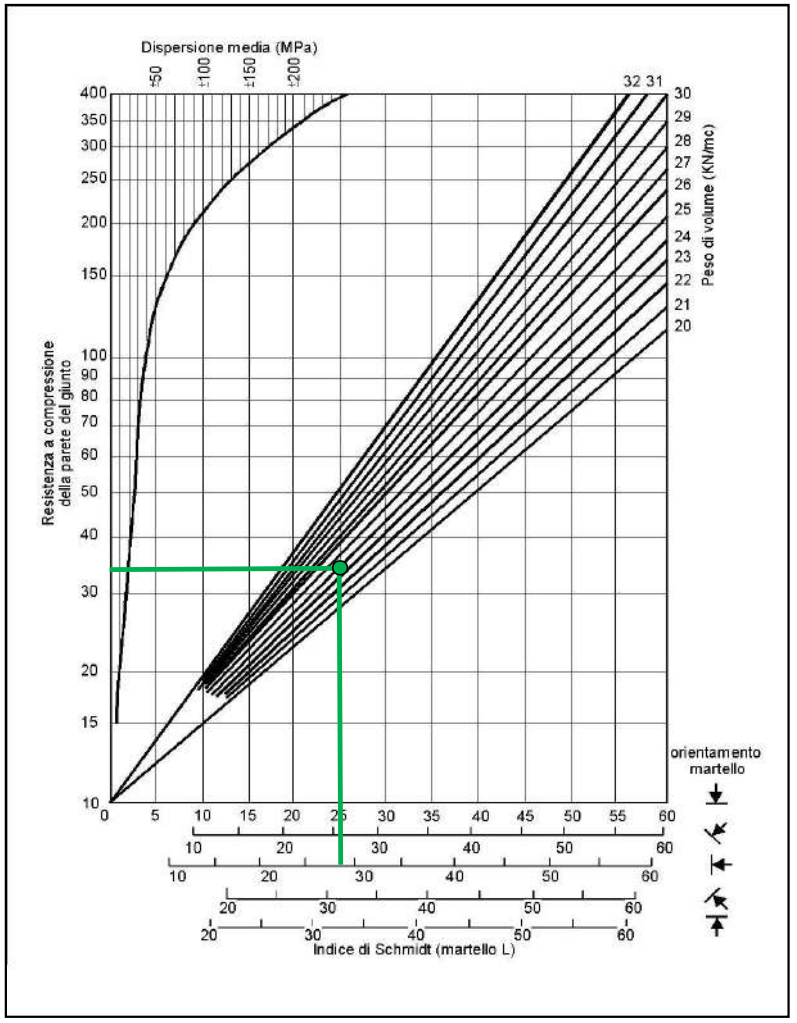
JCS = stima della resistenza uniassiale (MPa)

Mc = media corretta rimbalzi, funzione dell'orientazione del martello di Schmidt

γ = peso di volume assegnato = 24 (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	⇨		**38**	**30**	**28**	**22**	**22**	20	20	18	10	10	28,0	25,0	**34,5**



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

INDAGINE SISMICA MASW ED A RIFRAZIONE

(Indago s.r.l.)

COMUNE DI COSIO D'ARROSCIA

Provincia di IMPERIA

FRANA STRADA COSIO-MENDATICA

INDAGINE SISMICA

COMMITTENTE: Dott. Geol. Fabio Arrighetti

Indago S.r.l.
Sede legale: Via Giuseppe Casaregis 26-17, Genova (GE)
P.Iva: 01945550992 –
Reg. Impr e C.F.: GE0194550992 – R.E.A. n. 447184
✉: indagosrl@libero.it - indago@pec.it

PREMESSA

Con la presente, per incarico del Dott. Geol. Fabio Arrighetti, si riportano le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di un profilo sismico con la metodologia M.A.S.W. e un profilo a rifrazione eseguita dalla società Indago srl di Genova in Comune di Cosio d'Arroscia (IM) lungo un tratto franato della strada di collegamento tra Cosio e Mendatica (SP3).

Scopo dell'indagine è quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (Vs-z) e la stratigrafia.

In: allegato 1 – Elaborati prova M.A.S.W. allegato 2 – Elaborati prova a rifrazione

indagine geofisica m.a.s.w.: DESCRIZIONE DEL METODO

L'interesse verso i metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde superficiali è cresciuto notevolmente negli ultimi anni, data la necessità di identificare le caratteristiche dei terreni in condizioni dinamiche insieme al profilo verticale della velocità delle onde di taglio V_S facendo ricorso a tecniche poco costose e non invasive. La Normativa sismica nazionale (OPCM 3274 del 2003 e successive modifiche ed integrazioni, DM 14/01/2008 ed aggiornamento 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni") riprendendo l'Eurocodice 8, definisce la classificazione sismica del sottosuolo in base al parametro V_{Seq} per la progettazione in zona sismica. Tale parametro, che rappresenta la velocità equivalente delle onde di taglio fino al raggiungimento del substrato rigido o nei primi 30 metri di sottosuolo, può essere calcolato facilmente una volta noti gli spessori degli strati presenti e la velocità di propagazione delle onde S all'interno di ogni strato.

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito dispersione in frequenza ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

I metodi di prospezione sismica come M.A.S.W. e Re.Mi. che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico-matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati sovrapposti con caratteristiche elastiche lineari, definendo per ogni strato i parametri rappresentativi.

A partire dai parametri del sottosuolo è quindi possibile ricavare le proprietà dispersive delle onde di Rayleigh, per il sito in esame. Quanto detto rappresenta il problema diretto: quello cioè che a partire dalla conoscenza delle caratteristiche del terreno permette di descrivere la dispersione delle onde di Rayleigh. Nella prospezione occorre invece affrontare il problema inverso: a partire dalla curva di dispersione rilevata, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri meccanici e sismici.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi:

1. Acquisizione: registrazione e osservazione dei dati sismici contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;

2. Processing: trattamento dei dati attraverso filtraggio e altre tecniche finalizzate all'estrazione delle caratteristiche di dispersione, in particolare espresse come velocità di fase in funzione della frequenza;

3. Inversione: uso di un modello del terreno che permette di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed altri parametri in funzione della profondità.

E' importante distinguere fra loro i metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie in base al tipo di sorgente con la quale viene prodotta la perturbazione sismica da osservare.A tale proposito si parla di **metodi attivi** (M.A.S.W.) e **metodi passivi** (Re.Mi.). Con la prima denominazione si indicano quei metodi nei quali il terreno è energizzato con una sorgente artificiale appositamente creata per registrarne la perturbazione. I metodi di indagine passivi, al contrario, non usano alcuna sorgente di energizzazione ma registrano un segnale di maggiore durata generato da qualsiasi tipo di attività, antropica e non. In sostanza i microtremori generati dall'ambiente e in superficie, presenti soprattutto in contesti urbani, sostituiscono la sorgente puntuale rendendo possibili misure in siti particolarmente rumorosi. La metodologia M.A.S.W. prevede l'acquisizione simultanea di molti canali, che aumentano la ridondanza statistica.

Il Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica che viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. La strumentazione necessaria è la stessa del metodo MASW e della più nota sismica a rifrazione; per registrare i microtremori si usa infatti un normale sismografo con uno stendimento di 12 o più geofoni verticali.

I vantaggi permessi da questi metodi sono molteplici:

1. è molto veloce e semplice da organizzare;

2. è molto economico rispetto ai metodi più invasivi;

3. raggiunge una buona profondità e risoluzione di indagine, ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

INDAGINE GEOFISICA M.A.S.W.: DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando un sistema sismico digitale multicanale (SoilSpy Rosina) disposto sul terreno secondo un array lineare da 17 geofoni con spaziatura pari a 3 m.

SoilSpy Rosina è costituito da un cavo di trasmissione digitale dei dati lungo il quale sono disposti i moduli di amplificazione/digitalizzazione da collegare ai sensori (comunemente geofoni). Il principale vantaggio di questo strumento è che il segnale non si degrada lungo il cavo, il rapporto segnale/rumore è superiore a qualsiasi corrispondente analogico, non ci sono fenomeni di cross-talk e vi è sincronizzazione reale delle tracce.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione delle prove M.A.S.W. eseguite in situ:

- ✓ Unità di acquisizione sismografo SoilSpy "Rosina" a 25 bit distribuito da Micromed S.p.A.;
- ✓ 17 Geofoni verticali con f_0= 4.5 Hz e puntale per accoppiamento su terreni teneri;
- ✓ Alimentazione diretta da PC/Palmare;
- ✓ Spaziatura di 3 m tra i moduli;
- ✓ Tempo di registrazione: 4 sec
- ✓ Frequenza di campionamento: 512 Hz
- ✓ Massa battente: mazza 10 kg
- ✓ Uscita dati in formato SEG-2 e TRC compatibile con il software Grilla distribuito da Micromed S.p.A.

ELABORAZIONE DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2 e TRC, sono stati trasferiti su PC e per mezzo di una apposita interfaccia USB per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (**Grilla** della Micromed S.p.A.).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

E' possibile la modellazione diretta di curve di dispersione della velocità di fase di onde di Rayleigh e onde di Love anche nei modi superiori per la modellazione delle Vs .

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

Il software **Grilla** contiene un modulo per il calcolo degli spettri di velocità di fase delle onde di superficie (tecniche ReMi™, MASW,SPAC, ESAC ecc.) e la modellazione di curve di dispersione teoriche nel modo fondamentale e superiori, permette di creare virtualmente infiniti spettri di velocità a partire dalle registrazioni in continua effettuate da SoilSpy Rosina consentendo di distinguere diversi modi anche nell'indagine sismica passiva, operazione essenziale per una corretta interpretazione dei dati.

CALCOLO DELLA V_S EQUIVALENTE

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vsequivalente si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 17.01.2018 ("Agg. 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:

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

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Prova M.A.S.W. 1 (Allegato 1)

La prova ha evidenziato tra substrato rigido con Vs superiore a 800 m/s a partire da circa 7,5 m di profondità dal p.c .

La prova ha evidenziato una **Vseq = 412 m/s**

In riferimento al modello semplificato proposto dal D.M. 17.01.2018 ("Agg. Norme tecniche per le costruzioni") l'andamento delle Vs/profondità appare compatibile con una categoria di suolo di fondazione di tipo B (si veda la tabella seguente).

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

N.B. Le indagini commissionate sono mirate alla definizione dell'andamento Vs/profondità.
La definizione della categoria di suolo di fondazione così come la scelta di adottare o meno il modello semplificato contenuto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni resta in ogni caso a carico del committente e/o del professionista/progettista incaricato.

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE: DESCRIZIONE DEL METODO

Lo scopo dell'indagine sismica è quello di indagare i tipi litologici del sottosuolo differenziandoli in base al parametro "velocità delle onde elastiche"; in particolare la sismica a rifrazione rappresenta, nell'ambito delle prospezioni geofisiche volte alla caratterizzazione fisico-meccanica e geometrica di strati litologici, la metodologia più speditiva ed affidabile, se eseguita secondo delle procedure tecniche rigorose e dopo un'attenta analisi di fattibilità.

Dalla misura delle velocità delle onde sismiche generate meccanicamente che attraversano il mezzo da indagare, è possibile dedurne le caratteristiche fisico-meccaniche. Le onde, infatti, rifrangendosi sulle superfici di confine dei mezzi fisici, caratterizzati da una differenza di velocità tra sismostrato (ovvero una porzione litologica riferita a valori di velocità sismiche costanti) superiore (V_0) e sismostrato ad esso sottostante (V_1), producono dei raggi rifratti, oltre che riflessi, i quali viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello stato più veloce) rifrangendo continuamente energia elastica verso l'alto, pertanto verso lo strato più lento.

Una delle condizioni essenziali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità di propagazione delle onde aumenti con la profondità, ovvero $V_0 < V_1 < V_2$.

Operativamente ciò che viene eseguito in campagna è una disposizione "distante in linea" di trasduttori velocimetrici (geofoni) posizionati seguendo una ripetitività geometrica (equidistanti) lungo l'allineamento che si desidera ispezionare.

La produzione meccanica delle onde sismiche viene definita energizzazione sismica e può avvenire attraverso martello percussore, massa battente o attraverso una vera e propria esplosione; ogni punto di energizzazione viene definito shot (dall'inglese scoppio). Se la sorgente di energia risulta costituita da una massa battente, l'energia sviluppata sarà sufficiente ad indagare il terreno sino ad una profondità pari a circa 10-15 metri, per profondità superiori sarà necessario l'uso di esplosivi o sistemi pneumatici.

Il numero di tali energizzazioni e dei geofoni da utilizzare, nonché i punti di produzione dell'energia elastica dipenderanno dalle finalità diagnostiche sia in termini di profondità di investigazione sia in termini di definizione finale dei risultati. Nella maggior parte dei casi il numero di scoppi non supera le nove unità, mentre quello dei geofoni è condizionato dai canali della strumentazione utilizzata (comunemente variabile da 12 a 99 unità); le energizzazioni in ogni caso dovranno essere disposte secondo geometrie coniugate, ovvero di uguale quantità e situate in modo simmetrico rispetto alla copertura geofonica.

Come detto in precedenza lo scopo principale dell'indagine risulta essere la ricostruzione sismostratigrafica lungo l'allineamento geofonico di investigazione, secondo i tempi di primo arrivo delle onde P, o onde di profondità (o di volume, o di compressione) e le distanze relative alla configurazione geometrica adottata (interspazio geofonico e offset,

ovvero la distanza dallo shot ai geofoni estremi), dimensionando gli spessori dei sismostrati attraversati dalla radiazione elastica.

L'esecuzione di un profilo sismico a rifrazione consiste nel disporre nel terreno, lungo un allineamento rettilineo una serie di sensori (geofoni) tra loro equidistanti (a distanza funzionale dalla lunghezza della stesa e dalla profondità dei terreni da indagare) e di utilizzarli per tracciare le tracce sismiche generate mediante il dispositivo d'energizzazione.

Le tracce digitali raccolte in campagna possono essere analizzate ed interpretate attraverso diversi metodi, nel seguito verrà preso in considerazione in particolare il metodo delle intercette (o convenzionale), usato per strati (orizzonti fisici) paralleli e sub-orizzontali, come nel caso in esame; un parametro necessario per l'applicazione del metodo anzidetto è che la velocità dei rifrattori aumenti con la profondità.

L'elaborazione dei risultati verrà eseguita attraverso la lettura dei tempi d'arrivo e l'interpretazione dei diagrammi curve tempo - distanze, denominate dromocrone, tra i punti di energizzazione e la serie dei geofoni disposti lungo la stesa. Tali tempi risultano funzione della velocità delle onde attraversanti gli strati di terreno, a diversa densità, e dalla profondità degli strati stessi, raggiunti dalle onde elastiche.

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE: DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Nell'area di indagine, per l'esecuzione della prospezione simica a rifrazione è stato utilizzato un array sismico digitale a 17 canali distribuito da Micromed S.p.A., le cui caratteristiche tecniche vengono riportate nel seguito.

- 17 canali con geofoni da 4,5 Hz:
- Energizzazione attraverso massa battente da 10 kg su una piastra di battuta con starter meccanico;
- Filtraggio ed amplificazione del segnale;
- Possibilità di sommatoria del segnale;
- Possibilità di acquisizione, registrazione ed elaborazione in andata (dromocrona diretta) e ritorno (dromocrona inversa).

La traccia simica è stata acquisita utilizzando 16 canali lungo un profilo avente una lunghezza totale dello stendimento pari a 51 metri, con una interdistanza geofonica (Dx) di 3 metri; tale parametro è stato scelto sulla base delle ipotetiche caratteristiche litologiche del sottosuolo, sull'intensità e/o sul tipo di energizzante utilizzato, sulla profondità massima che si vuole investigare, in base alle possibilità logistiche, ecc.

Per l'esecuzione della stesa, sono state realizzate energizzazioni sui due estremi dello stendimento, ricavando i tempi di arrivo delle onde dei 17 canali presi in considerazione.

Tali valori hanno permesso di ottenere le dromocrone (ovvero i segmenti relativi ai tempi diretti e rifratti), si tratta di diagrammi nei quali in ascissa è presente la distanza in m ed in ordinata i tempi di percorrenza in millisecondi; i dati sono stati elaborati attraverso il metodo delle intercette con programma INTERSISM.

Le velocità Va1, Va2 Va3 ecc. relative alla struttura sotterranea risultano uguali alla derivata inversa dei segmenti rettilinei sul grafico distanza-tempo, pertanto basterà ricavare i coefficienti angolari delle rette ovvero le tangenti degli angoli di inclinazione delle rette stesse con l'ordinata.

$V1 = 1/\text{tang}\ \alpha$; $V2 = 1/\text{tang}\ \beta$; $V3 = 1/\text{tang}\ \gamma$ ecc.

Semplificando l'operazione consiste nel misurare l'inclinazione delle linee dirette e rifratte e quindi calcolare la velocità dei sismostrati attraversati dalla radiazione sismica. Il rapporto tra il tempo Δt (Ta1-Ta2; Ta3-Ta2) registrato al geofono corrispondente al punto di ginocchio delle rette e la distanza ΔX (Sa2-Sa1; Sa3-Sa2) misurata dallo stesso geofono al punto di energizzazione definisce l'inclinazione (o coefficiente angolare).

Le velocità dei singoli strati vengono espresse in metri/secondo ed identificate con i simboli Va1, Va2 e Va3, ecc. lo spessore degli strati è espresso in metri così come la loro distanza dal piano di campagna, ovvero la profondità; le lettera A ed R indicano i due punti terminali dello stendimento sismico.

La procedura eseguita per l'elaborazione dei dati porta alcune limitazioni, riportate nel seguito. La velocità di ogni strato deve mantenersi pressoché costante. Ogni strato deve avere velocità inferiore rispetto al sottostante, ovvero non deve avvenire il fenomeno dell'inversione di velocità. La linea di delimitazione degli strati deve essere rettilinea per quanto non necessariamente orizzontale.

La nomenclatura per descrivere il grafico distanza-tempo è la seguente:

- il primo arrivo dei dati, misurato dalla posizione A viene definito dalla spezzata a 3 segmenti, nel caso di 3 strati come quello in esame.
- Le derivate inverse di queste linee vengono chiamate velocità apparenti e sono indicate con i simboli Va1, Va2 Va3 .
- La seconda terza linea, prolungate verso sinistra, intersecano l'asse a valori definiti Tia2 Tia3.

Analogamente le velocità apparenti misurate dalla posizione (R) vengono denominate Vr1, Vr2 Vr3 ed i tempi di intersezione Tir2 Tir3.

Generalmente il numero di segnali rettilinei è pari a quello degli strati: nel caso di 3 strati, come quello in esame, vi saranno 3 velocità apparenti e tre tempi di intersezione, sia in andata sia in ritorno.

Dai tempi intercetti vengono calcolati gli spessori minimi in prossimità dei punti di energizzazione per poi passare al calcolo degli spessori sismostratigrafici reali.

Avendo eseguito le medesime operazioni anche per il ritorno si è potuto identificare il valore degli spessori per le diverse velocità iesime calcolate. Sarà quindi possibile riportare su un grafico distanza-profondità i valori ottenuti e tracciare secondo una semplice interpolazione gli orizzonti fisici intercettati per i diversi sismostrati attraversati dalla radiazione sismica generata.

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE: DESCRIZIONE DEI RISULTATI

Dall'elaborazione dei risultati della stesa sismica a rifrazione, sulla base dei diagrammi tempi-distanze delle dromocrone coniugate, sono stati individuati 3 rifrattori che definiscono la seguente stratigrafia:

- primo strato, con spessore circa 1,5 m e velocità delle onde P (Vp) di circa 790 m/sec, con caratteristiche compatibili a quelle di terreni di copertura mediamente addensati;
- secondo strato con profondità dal piano campagna tra circa 1,5 e mediamente 7 m e velocità delle onde sismiche di circa 1430 m/sec, con caratteristiche compatibili a quelle di terreni addensati (roccia molto fratturata/alterata/coltre compatta)
- terzo strato a mediamente 7 m di profondità (da circa 5 m all'estremo lato est dello stendimento a 9 m di profondità all'estremo lato ovest) e velocità delle onde sismiche di circa 2020 m/sec, con caratteristiche compatibili a quelle di terreni molto addensati o roccia compatta;

La profondità di indagine raggiunta è di circa 15 m

Genova, li 03/06/2024

STRADA COSIO-MENDATICA, MASW

Inizio registrazione: 17/05/2024 15:59:09 Fine registrazione: 17/05/2024 16:00:11

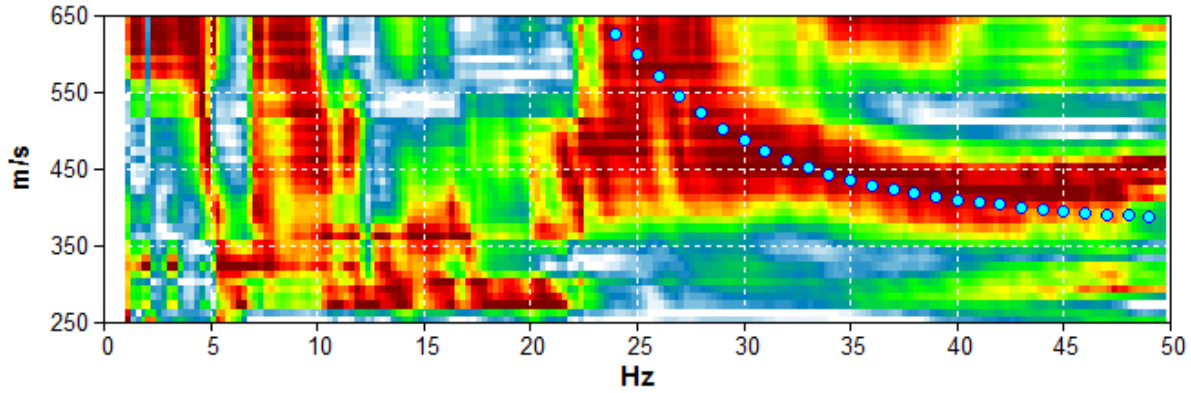
Durata registrazione: 0h00'04".

Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali: TR01 TR01 ; TR02 TR02 ; TR03 TR03 ; TR04 TR04 ; TR05 TR05 ; TR06 TR06 ; TR07 TR07 ; TR08 TR08 ; TR09 TR09 ; TR10 TR10 ; TR11 TR11 ; TR12 TR12 ; TR13 TR13 ; TR14 TR14 ; TR15 TR15 ; TR16 TR16 ; TR17 TR17

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 36.0 39.0 42.0 45.0 48.0 m.

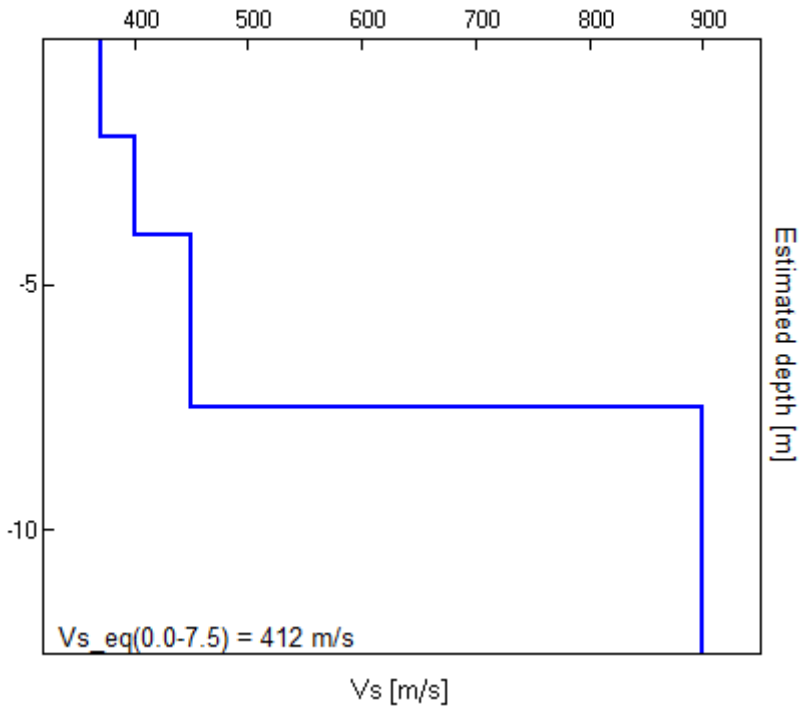
MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	370	0.40
4.00	2.00	400	0.40
7.50	3.50	450	0.40
inf.	inf.	900	0.33

Vs_eq(0.0-7.5) = 412 m/s

Indago S.r.l.
Sede legale: Via Giuseppe Casaregis 26-17, Genova (GE)
P.Iva: 01945550992 –
Reg. Impr e C.F.: GE0194550992 – R.E.A. n. 447184
✉: indagosrl@libero.it - indago@pec.it


400
500
600
700
800
900
-5
-10
Estimated depth [m]
Vs_eq(0.0-7.5) = 412 m/s
Vs [m/s]

ALLEGATO 2 RIFRAZIONE

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE

Comune di Cosio di Arroscia (IM)

Strada Cosio di Arroscia - Mendatica

Committente: Geol. Fabio Arrighetti

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
0.00	0.00	cosio rifr_1.dat
51.00	0.00	cosio rifr_2.dat

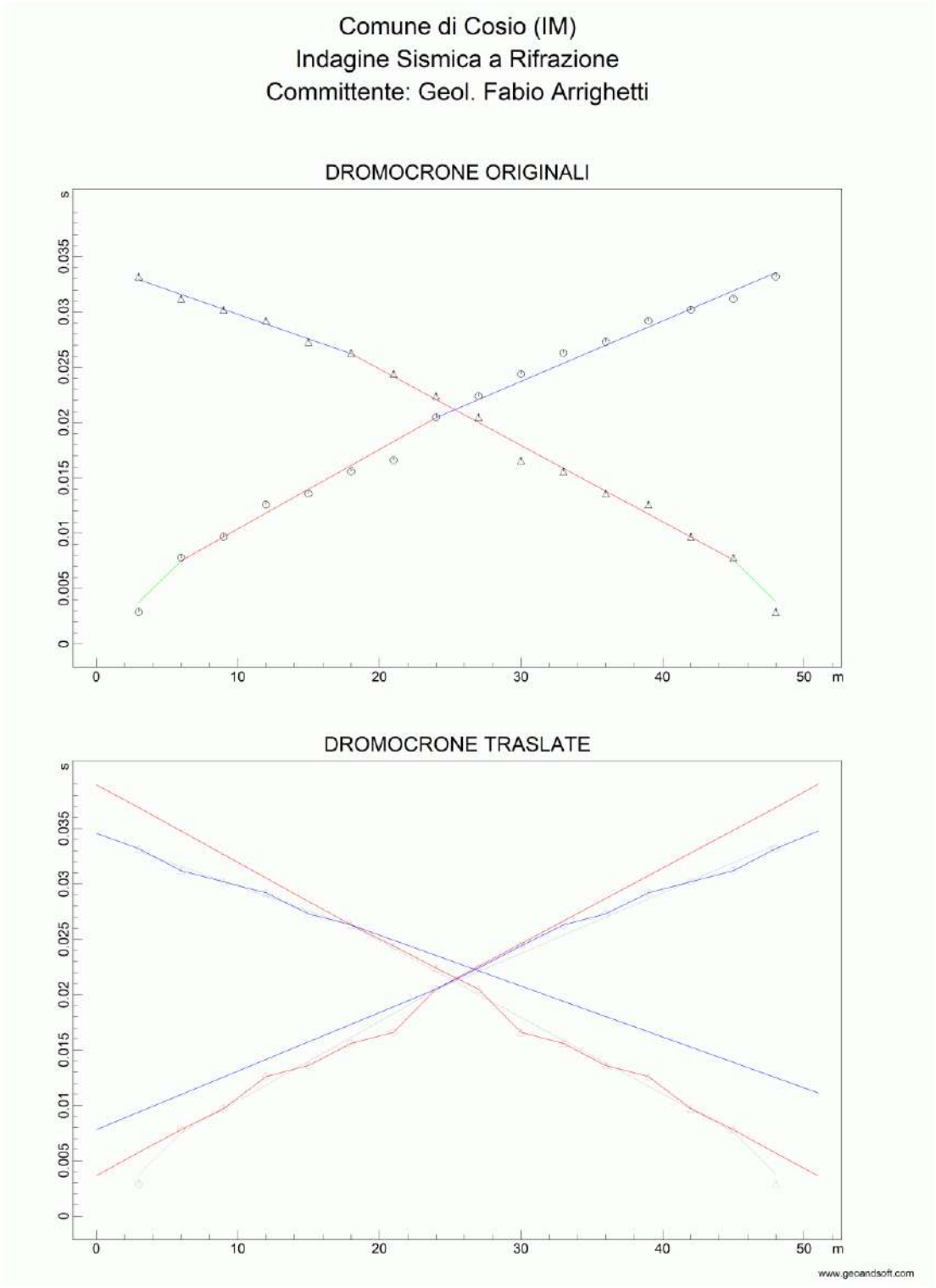
POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 51 [ms]
1	3.00	0.00	2.90	33.20
2	6.00	0.00	7.80	31.20
3	9.00	0.00	9.70	30.20
4	12.00	0.00	12.60	29.20
5	15.00	0.00	13.60	27.30
6	18.00	0.00	15.60	26.30
7	21.00	0.00	16.60	24.40
8	24.00	0.00	20.50	22.40
9	27.00	0.00	22.40	20.50
10	30.00	0.00	24.40	16.60
11	33.00	0.00	26.30	15.60
12	36.00	0.00	27.30	13.60
13	39.00	0.00	29.20	12.60
14	42.00	0.00	30.20	9.70
15	45.00	0.00	31.20	7.80
16	48.00	0.00	33.20	2.90

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	1.5	5.3
2	1.5	5.5
3	1.6	5.8
4	1.6	6.1
5	1.6	6.3
6	1.6	6.6
7	1.6	6.9
8	1.6	7.1
9	1.6	7.4
10	1.6	7.7
11	1.6	7.9
12	1.6	8.2
13	1.6	8.5
14	1.6	8.7
15	1.6	9.0
16	1.7	9.3

DROMOCRONE

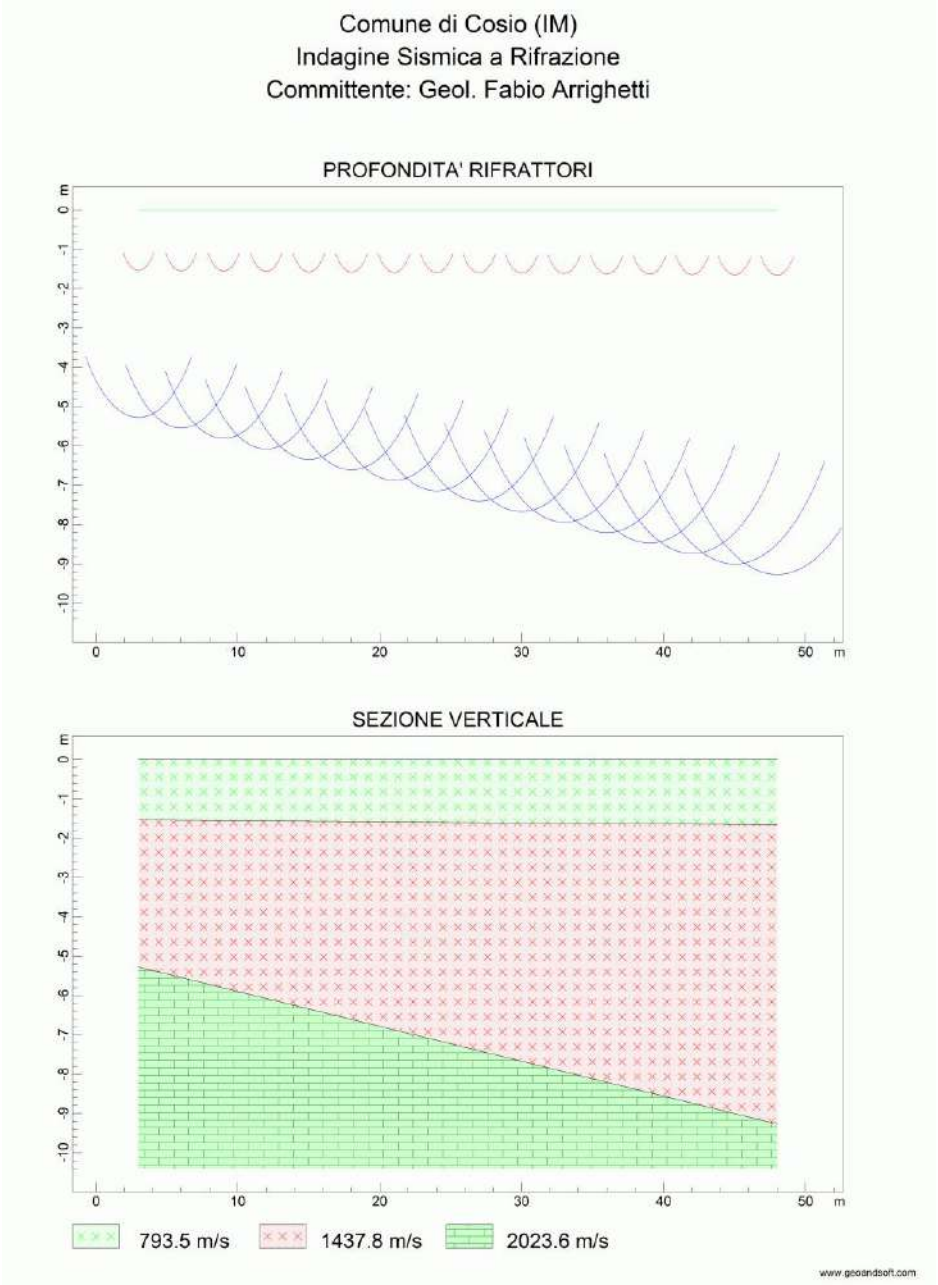


Indago S.r.l.
Sede legale: Via Giuseppe Casaregis 26-17, Genova (GE)
P.Iva: 01945550992 –
Reg. Impr e C.F.: GE0194550992 – R.E.A. n. 447184
✉: indagosrl@libero.it - indago@pec.it

VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	793.5
2	1437.8
3	2023.6

PROFONDITA' RIFRATTORI - SEZIONE INTERPRETATIVA

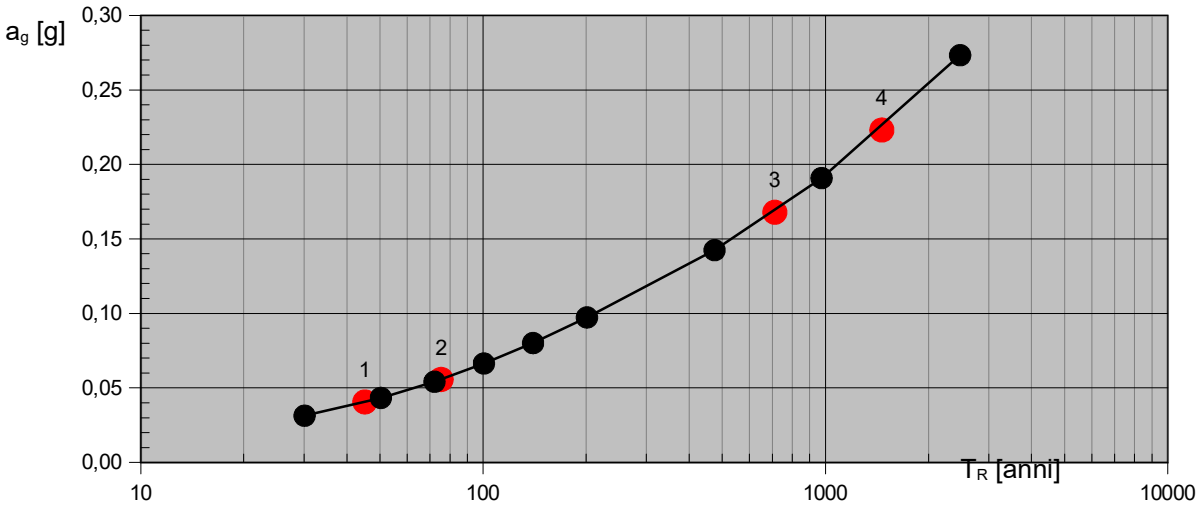


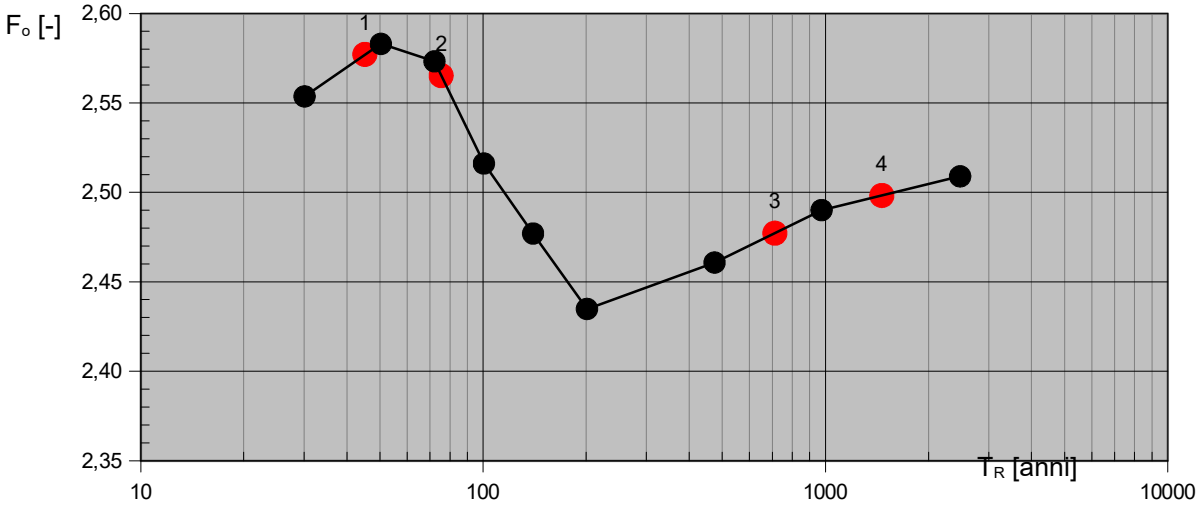
ALLEGATO 4

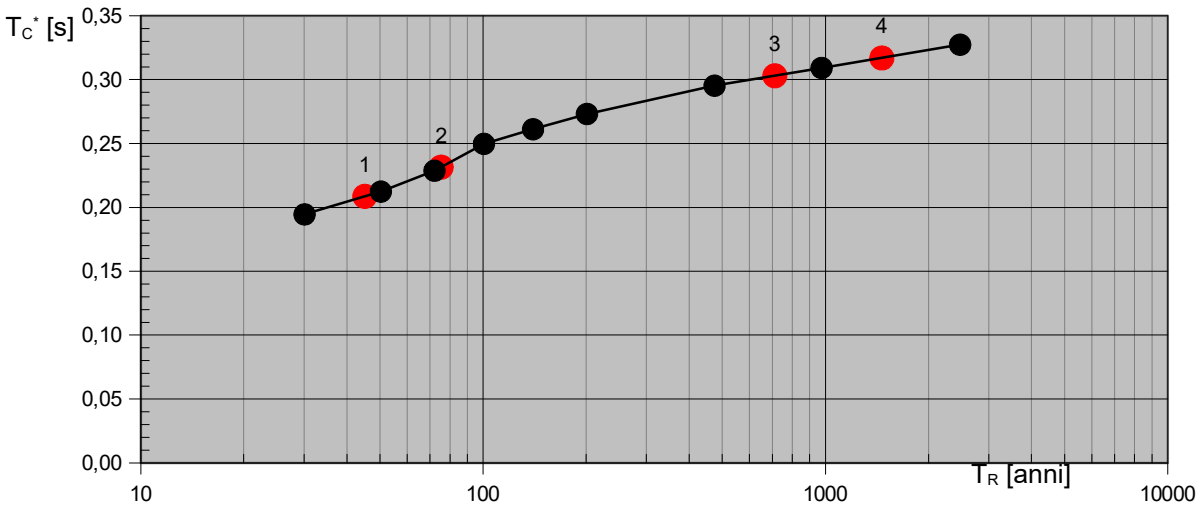
SPETTRI DI RISPOSTA SISMICA

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

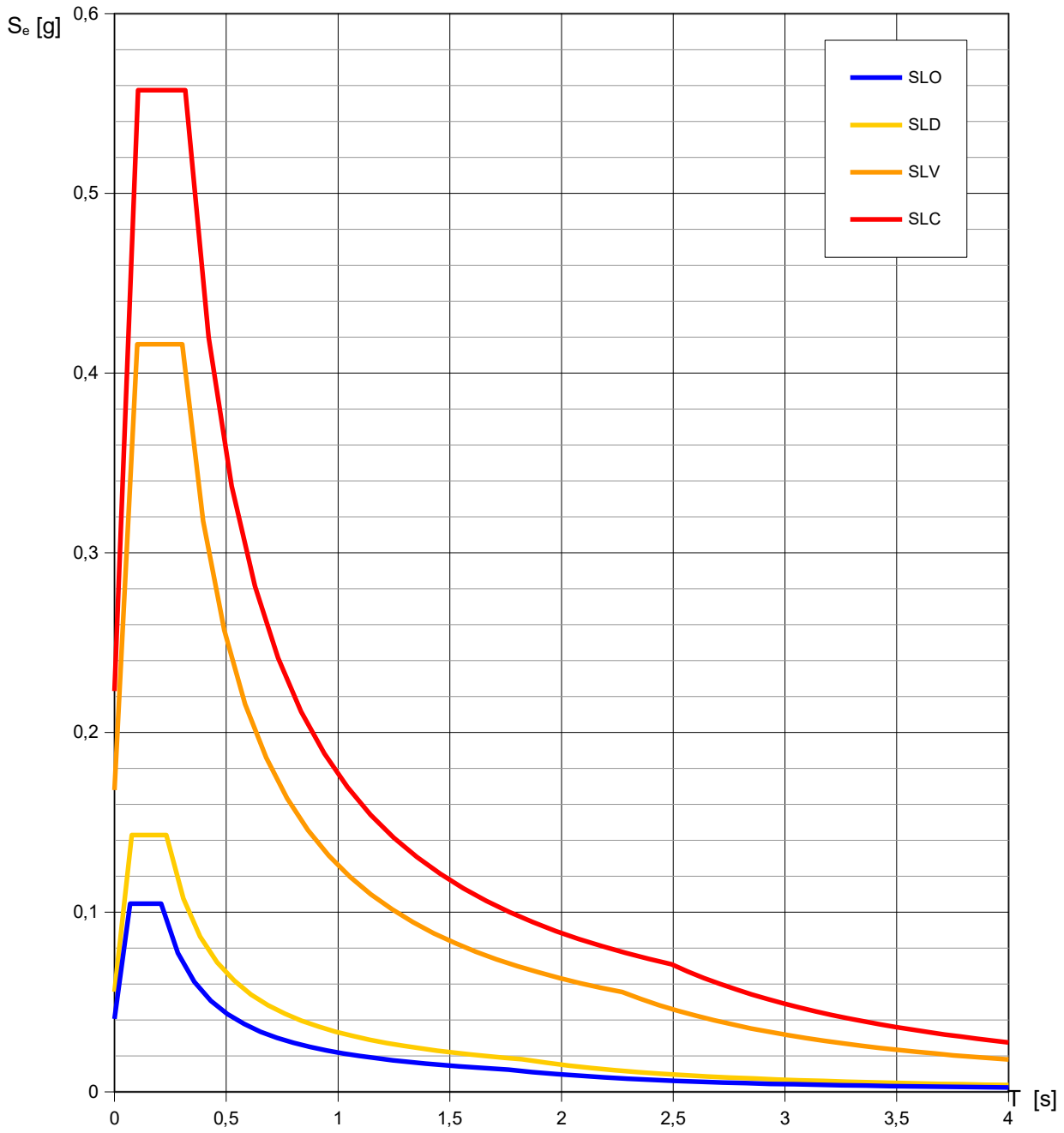
Valori di progetto dei parametri a_g, F_o, T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R





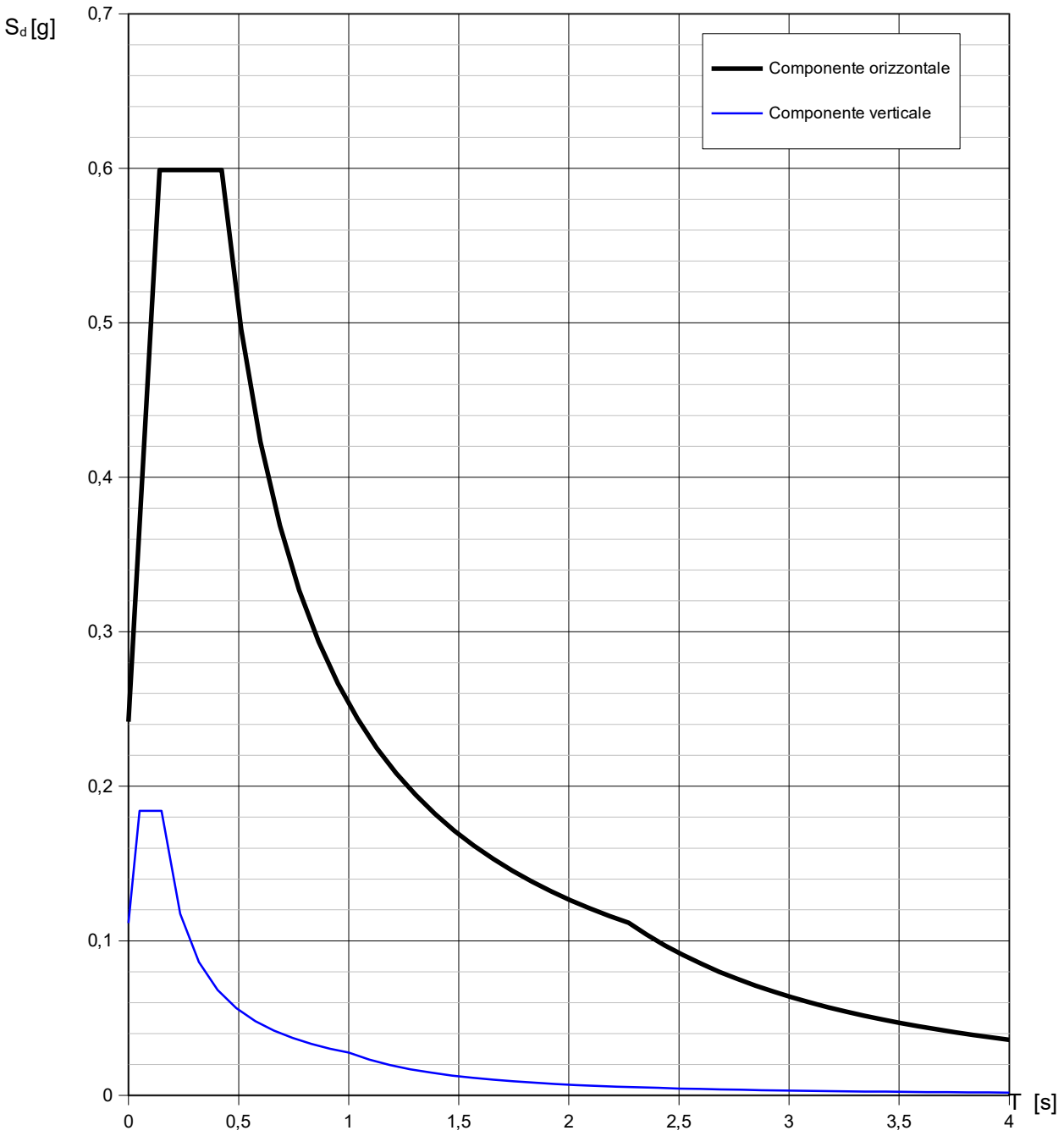


Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



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	0,168 g
F_o	2,477
T_C^*	0,303 s
S_S	1,200
C_C	1,397
S_T	1,200
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,440
η	1,000
T_B	0,141 s
T_C	0,423 s
T_D	2,272 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	0,242
T_B ←	0,141	0,599
T_C ←	0,423	0,599
	0,511	0,496
	0,599	0,423
	0,687	0,369
	0,775	0,327
	0,863	0,294
	0,951	0,266
	1,039	0,244
	1,127	0,225
	1,215	0,209
	1,303	0,194
	1,391	0,182
	1,479	0,171
	1,567	0,162
	1,656	0,153
	1,744	0,145
	1,832	0,138
	1,920	0,132
	2,008	0,126
	2,096	0,121
	2,184	0,116
T_D ←	2,272	0,112
	2,354	0,104
	2,436	0,097
	2,519	0,091
	2,601	0,085
	2,683	0,080
	2,765	0,075
	2,848	0,071
	2,930	0,067
	3,012	0,063
	3,095	0,060
	3,177	0,057
	3,259	0,054
	3,342	0,052
	3,424	0,049
	3,506	0,047
	3,588	0,045
	3,671	0,043
	3,753	0,041
	3,835	0,039
	3,918	0,038
	4,000	0,036

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}	0,093 g
S_S	1,000
S_T	1,200
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,370
S	1,200
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

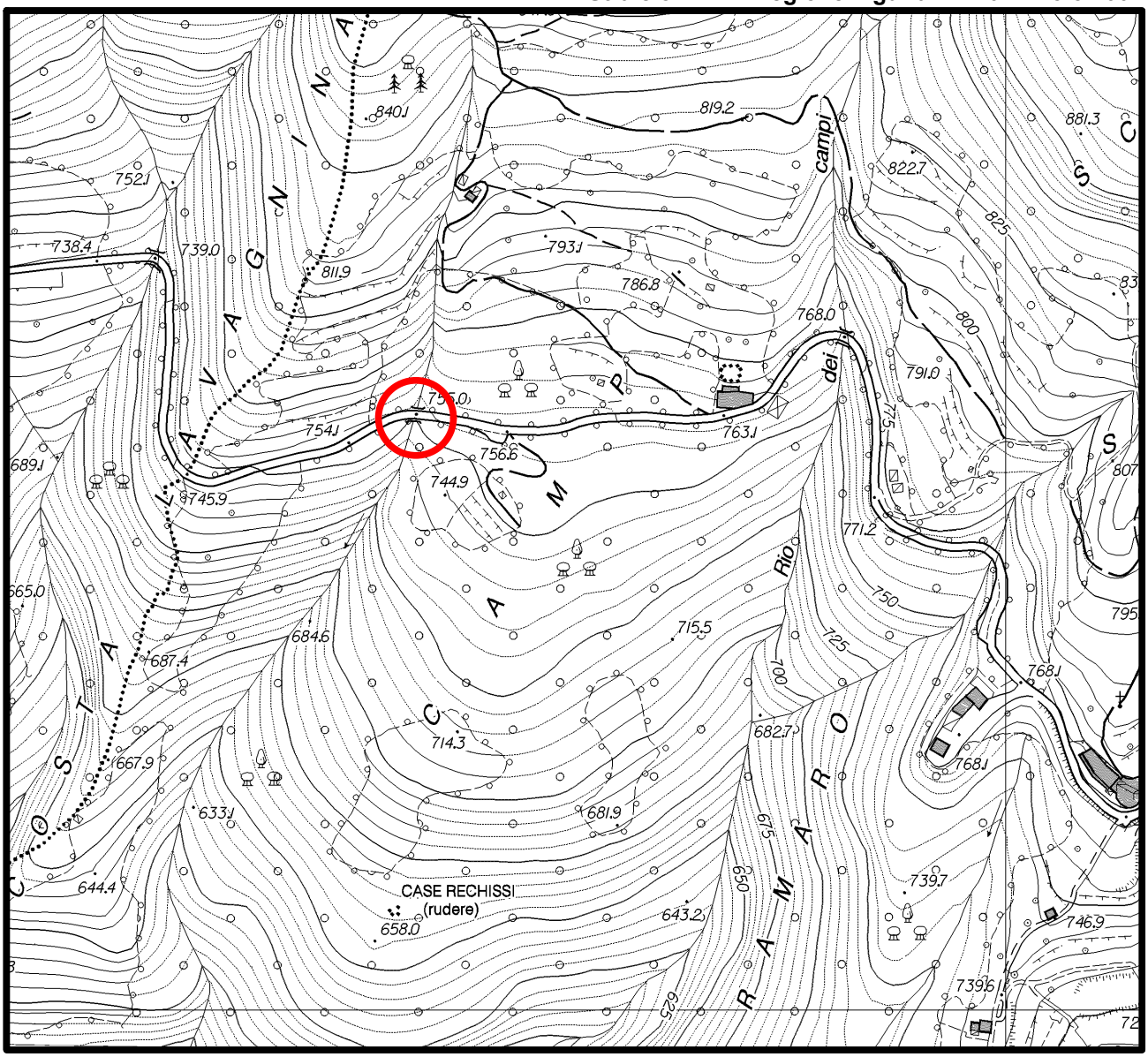
	T [s]	Se [g]
	0,000	0,111
T_B ←	0,050	0,184
T_C ←	0,150	0,184
	0,235	0,117
	0,320	0,086
	0,405	0,068
	0,490	0,056
	0,575	0,048
	0,660	0,042
	0,745	0,037
	0,830	0,033
	0,915	0,030
T_B ←	1,000	0,028
	1,094	0,023
	1,188	0,020
	1,281	0,017
	1,375	0,015
	1,469	0,013
	1,563	0,011
	1,656	0,010
	1,750	0,009
	1,844	0,008
	1,938	0,007
	2,031	0,007
	2,125	0,006
	2,219	0,006
	2,313	0,005
	2,406	0,005
	2,500	0,004
	2,594	0,004
	2,688	0,004
	2,781	0,004
	2,875	0,003
	2,969	0,003
	3,063	0,003
	3,156	0,003
	3,250	0,003
	3,344	0,002
	3,438	0,002
	3,531	0,002
	3,625	0,002
	3,719	0,002
	3,813	0,002
	3,906	0,002
	4,000	0,002

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**:* Messa in sicurezza tratto S.P.3 Mendatica-Acquetico
***Località**:* Comune di Cosio d'Arroscia (IM)
***Committente**:* Provincia di Imperia - Servizio Strade

Stralcio C.T.R. Regione Liguria 244101 - Volo 2002



Ubicazione sito intervento

N

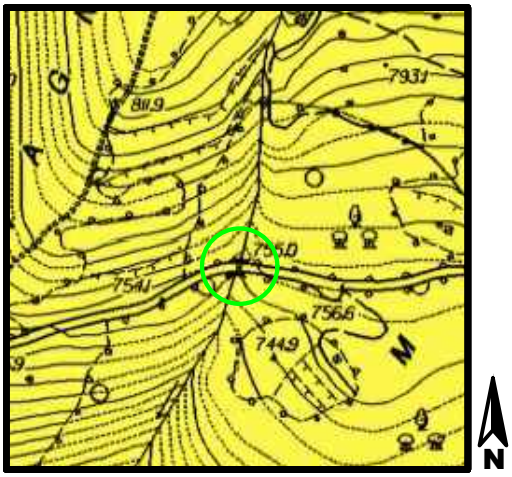
Areale non sottoposto alla tutela del vincolo idrogeologico per il R.D. 3267/1923.

Dott. Geol. FABIO ARRIGHETTI - Via Acqui 8/15 - 17023 Ceriale (SV)

TAV.2A STRALCI DA PIANO DI BACINO Scala 1:5000

***Oggetto**:* Messa in sicurezza tratto S.P.3 Mendatica-Acquetico
***Località**:* Comune di Cosio d'Arroscia (IM)
***Committente**:* Provincia di Imperia - Servizio Strade

Bacino: ARROSCIA



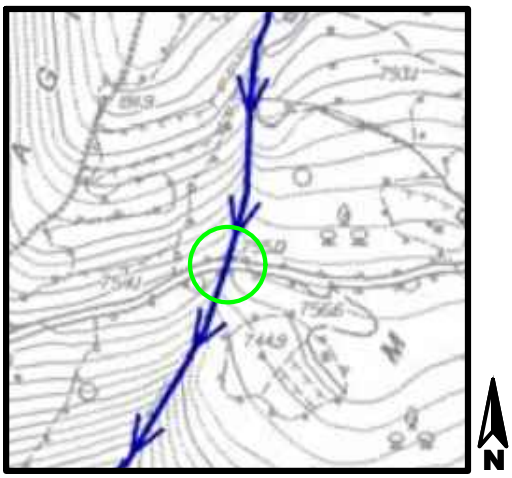
L'intervento ricade in area **Pg2**

Carta della scuscettività al dissesto dei versanti

(stralcio alla Scala 1:10.000 - Aggiornamento 2021)

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)



Carta della franosità reale

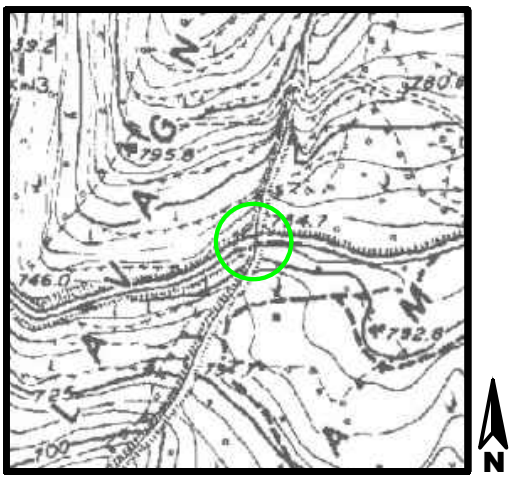
(stralcio alla Scala 1:10.000 - Aggiornamento 2021)

LEGENDA

FRANE
- attive
- fenomeni idrogeologici conseguenti all'evento alluvionale 2016
- fenomeni idrogeologici conseguenti agli eventi alluvionali 2019
- quiescenti
- relitte/paleofrane
- ciglio di frana attivo
- ciglio di frana quiescente
- fenomeni idrogeologici non cartografabili conseguenti all'evento alluvionale 2016
- ruscellamento diffuso
- rotture di pendio attive
- erosione concentrata di fondo
- erosione spondale
- limite del bacino

Etichetta identificativa della frana:
FCQ 2/48
FC - classificazione (tipologia)
Q - stato di attività
2 - numerazione progressiva (dal 201 in poi indica le frane del 2000)
48 - identificativo del comune

Classificazione:
P - paleofrana
CL - frana per crollo
CLr - per crollo rotazionale
DF - frana per colamento (debris flow)
DFp - per colamento planare
FC - frana complessa
FCp - di tipo planare
FCr - di tipo rotazionale
SC - frana per scorrimento o scivolamento
SCp - di tipo planare
SCr - di tipo rotazionale
SS - frana superficiale (di colata o soil slip)
SSp - di tipo planare
NC - frana non classificabile



Il sito **non ricade** in **zona di intervento**

Carta degli Interventi

(stralcio dalla Scala 1:10.000 - Aggiornamento 2004)

LEGENDA

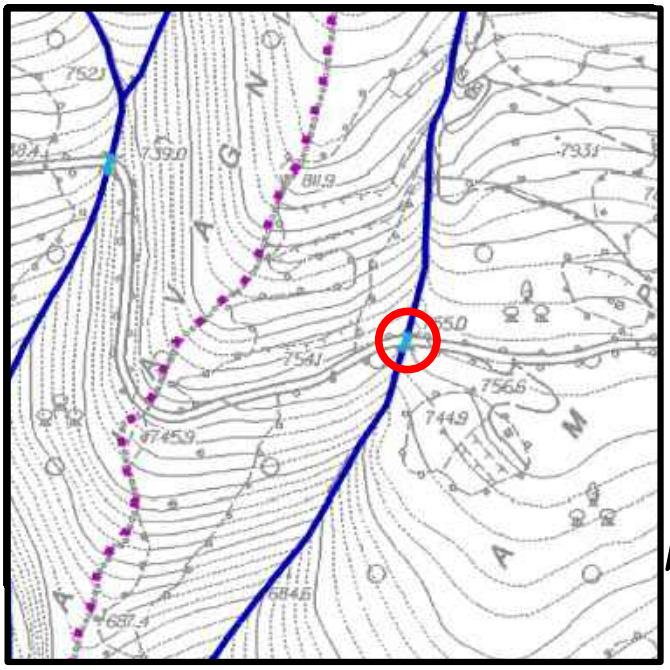
- Interventi strutturali:
- - Opere di consolidamento
- - Interventi di tipo idraulico
- Ubicazione sito intervento

Dott. Geol. FABIO ARRIGHETTI - Via Acqui 8/15 - 17023 Ceriale (SV)

TAV.2B CARTA RETICOLI IDROGRAFICI Scala 1:5000

***Oggetto**:* Messa in sicurezza tratto S.P.3 Mendatica-Acquetico
***Località**:* Comune di Cosio d'Arroscia (IM)
***Committente**:* Provincia di Imperia - Servizio Strade

Bacino: CENTA



Carta del Reticolo Idrografico Regionale
(stralcio alla Scala 1:5.000 - Aggiornamento 2023)

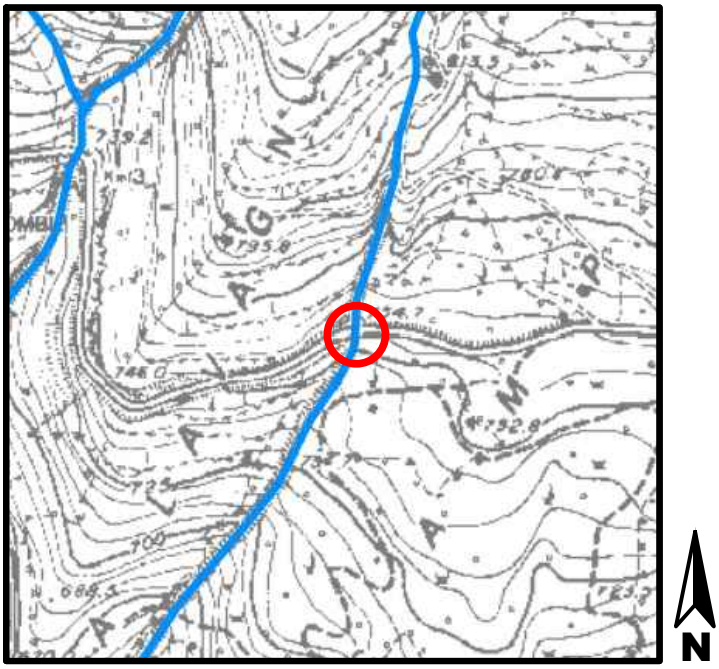
Legenda

Reticolo idrografico

- a cielo aperto
- tombinato
- scolmatore/opera idraulica

Ubicazione sito intervento

Limite comunale



TAV.17c- Carta dei corsi d'acqua(scala:10.000)
(stralcio dalla Scala 1:10.000 - Aggiornamento 2012)

Asta principale del corso d'acqua

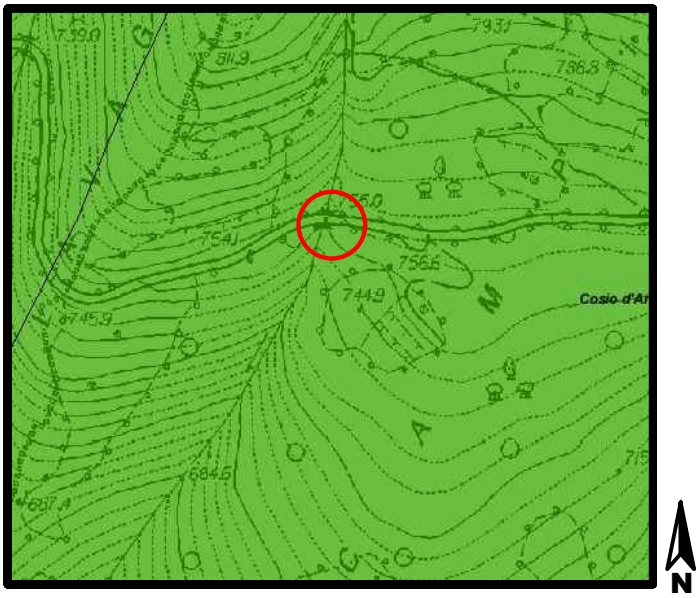
Ubicazione intervento in progetto

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

Dott. Geol. FABIO ARRIGHETTI - Via Acqui 8/15 - 17023 Ceriale (SV)

TAV.2C CARTA STRALCI DAL PAI Scala 1:5.000

***Oggetto**:* Messa in sicurezza tratto S.P.3 Mendatica-Acquetico
***Località**:* Comune di Cosio d'Arroscia (IM)
***Committente**:* Provincia di Imperia - Servizio Strade



L'intervento ricade in area **P2b**

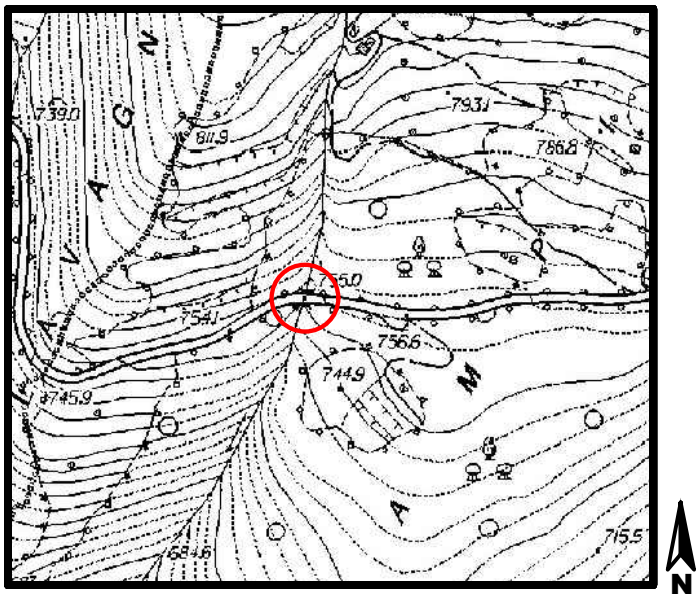
Delibera C.I.P. n. 40 del 28.03.2024
Mappe PAI dissesti - pericolosità, subsidenza
(Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale)

Mappa pericolosità LIGURIA

UoM Liguria

Aree speciali
- Area speciale - tipo A
- Area speciale - tipo B1
- Area speciale - tipo B2

pericolosità Liguria
- P1 - moderata propensione al dissesto
- P2b - media propensione al dissesto
- P3a - pericolosità elevata tipo a
- P3b - pericolosità elevata tipo b
- P4 - pericolosità molto elevata



L'intervento non ricade in area di pericolosità dominio fluviale

Delibera C.I.P. n. 40 del 28.03.2024
PGRA - Mappa della Pericolosità da alluvione fluviale e costiera
(Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale

PGRA Pericolosità

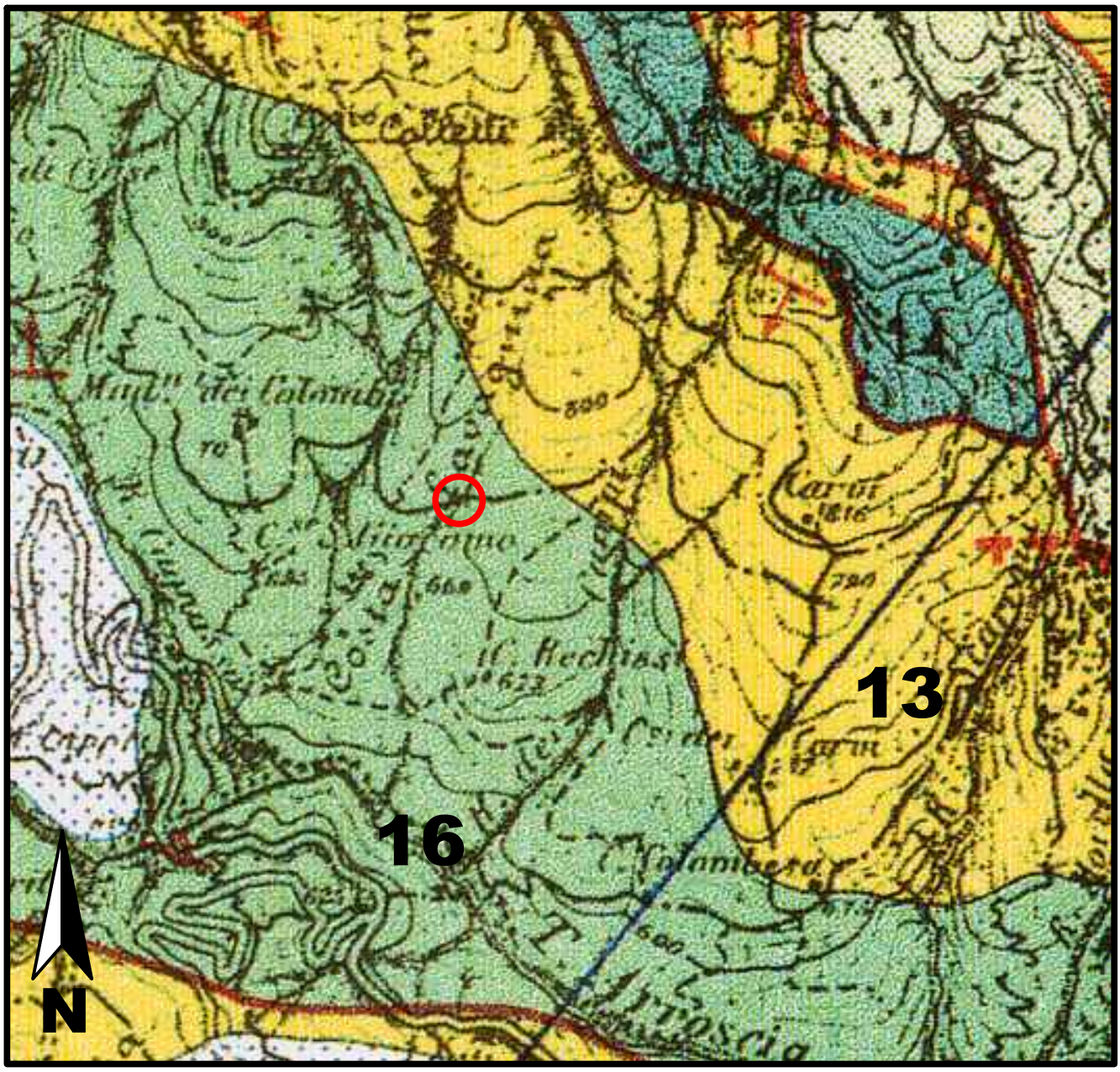
Pericolosità Dominio Costiero
- P2
- P3

Pericolosità Dominio Fluviale
- P1
- P2
- P3

Ubicazione sito intervento

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

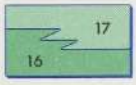
***Oggetto**:* Messa in sicurezza tratto S.P.3 Mendatica-Acquetico
***Località**:* Comune di Cosio d'Arroscia (IM)
***Committente**:* Provincia di Imperia - Servizio Strade



Ubicazione sito intervento

Stralcio dalla "Carta Geologica dei terreni compresi tra il Brianzonese ed il Flysch ad Helmintoidi" Boni & Vanossi - 1972

LEGENDA GEOLOGICA



FORMAZIONE DI TESTICO. Successione costituita da un flysch arenaceo passante verso la base a marne mal stratificate (*nella serie di Moglio - Testico*). ***Eocene? - Paleocene***

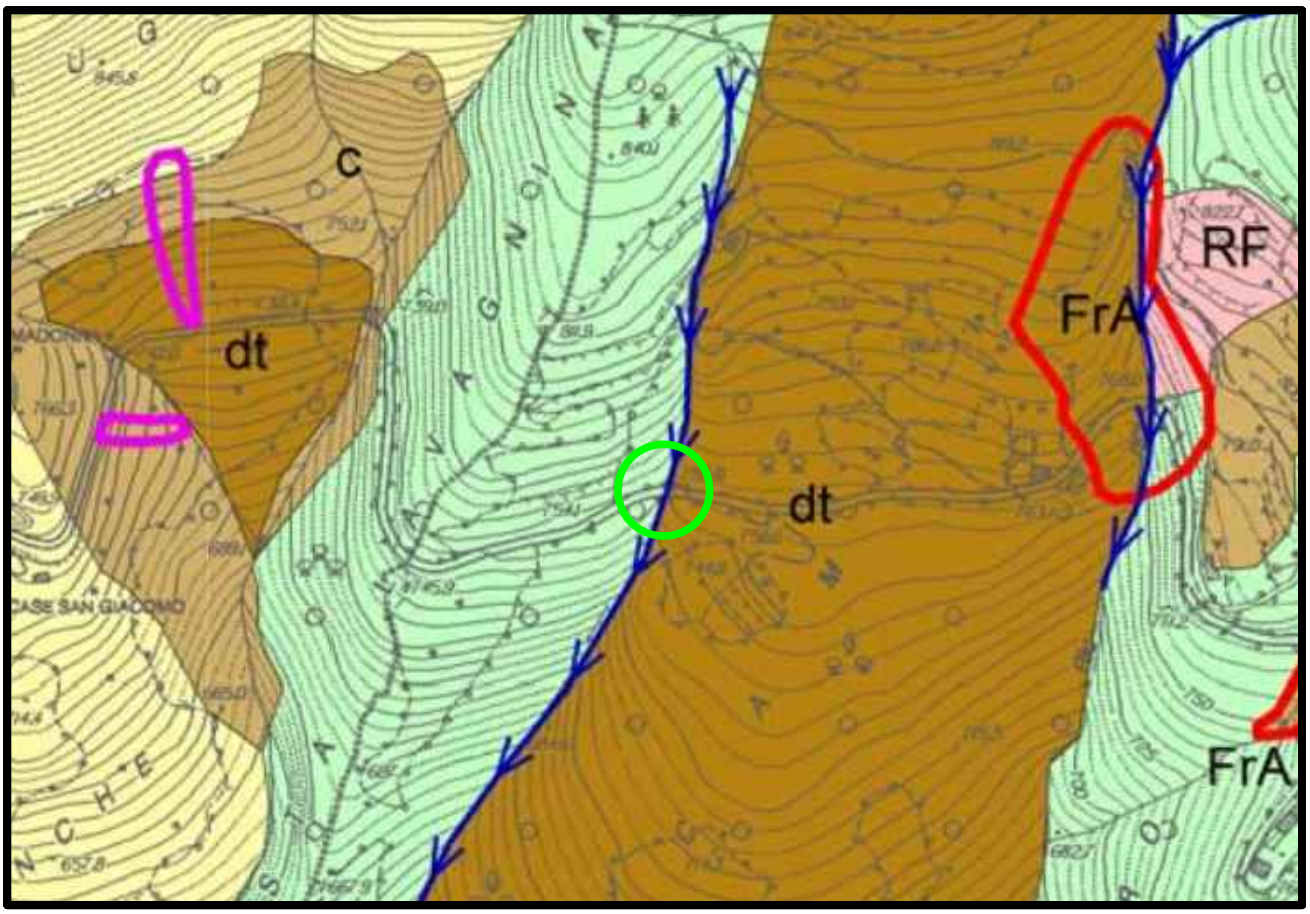
- **Membro di Cesio** (17): alternanze ritmiche, in strati per lo più sottili, di areniti da grossolane a medio fini, gradate, ricche di matrice, quarzoso micacee, di colore bruno-giallastro, e di peliti più o meno siltose, quarzose, di colore ocraceo. Abbastanza frequenti le strutture da corrente alla base degli strati arenacei. Non rare le intercalazioni di strati di calcari marnosi e marne. Per lo più sterili, con rare globorotalie di tipo paleocenico associate a microfaune rimaneggiate del Cretaceo superiore (Vellego).

- **Membro di Pieve di Teco** (16): successione monotona di marne più o meno calcaree ed arenacee, di colore grigio-azzurro, con caratteristica patina di alterazione giallo-grigiastra, a stratificazione spesso non ben evidente, con intercalazioni di strati (10-80 cm) di calcari marnosi debolmente quarzosi e, soprattutto verso la base, di calcari quarzosi grossolani.

Dott. Geol. FABIO ARRIGHETTI - Via Acqui 8/15 - 17023 Ceriale (SV)

TAV.3B - CARTA GEOMORFOLOGICA

***Oggetto**:* Messa in sicurezza tratto S.P.3 Mendatica-Acquetico **Scala 1:5.000**
***Località**:* Comune di Cosio d'Arroscia (IM)
***Committente**:* Provincia di Imperia - Servizio Strade



Stralcio da "Carta Geomorfologica" da Piano di Bacino - Torrente Arroscia (2021)

N

ROCCIA AFFIORANTE E SUBAFFIORANTE con coperture detritiche discontinue fino a 1 metro di spessore
R - in buone condizioni di conservazione e/o disposizione favorevole delle strutture rispetto al pendio
Rs - in buone condizioni di conservazione con disposizione sfavorevole delle strutture rispetto al pendio
Rf - in scadenti condizioni di conservazione, alterata e/o particolarmente fratturata rispetto al pendio
COLTRI
c - coperture detritiche e depositi eluvio-colluviali da 1 a 3 metri a granulometria indistinta
dt - coperture detritiche potenti di spessore superiore a 3 metri a granulometria indistinta
DEPOSITI ALLUVIONALI
am - alluvioni mobili attuali
ar - alluvioni terrazzate recenti
aa - alluvioni terrazzate antiche
MOVIMENTI FRANOSI
FrA - corpo di frana attivo
FrA - fenomeni idrogeologici conseguenti all'evento alluvionale 2016
FrQ - corpo di frana quiescente
P - paleofrane, frane relitte o stabilizzate
ciglio di frana attivo
ciglio di frana quiescente
fenomeni idrogeologici non cartografabili conseguenti all'evento alluvionale 2016
FORME D'EROSIONE
erosione concentrata di fondo
erosione spondale
ruscellamento diffuso
ELEMENTI MORFOLOGICI
orli di terrazzo fluviali
radici di terrazzo
rotture di pendio attive
FORME ANTROPICHE
riporti antropici
cave abbandonate
limite del bacino

Ubicazione sito d'intervento

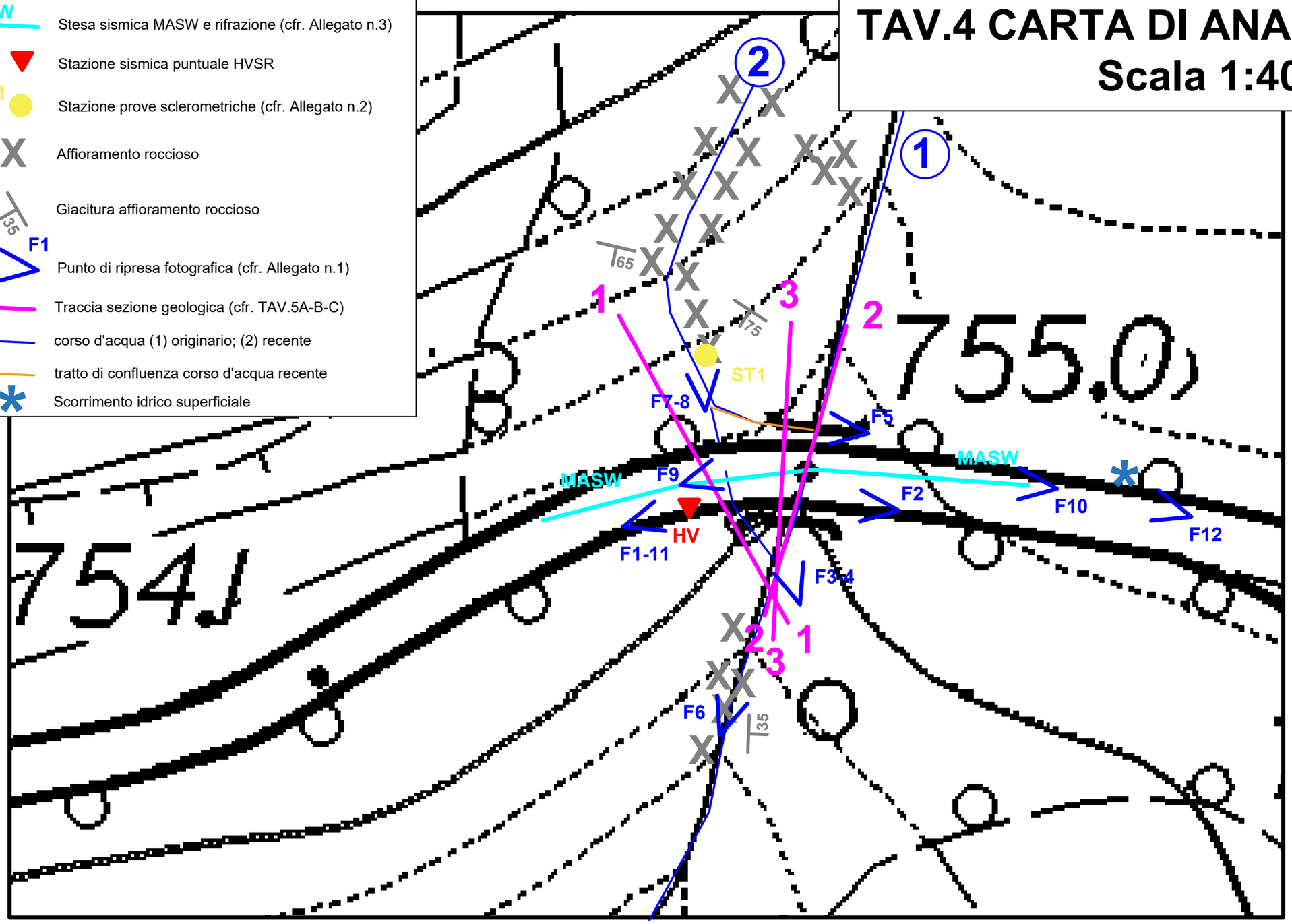
LEGENDA

Dott. Geol. FABIO ARRIGHETTI - Via Acqui 8/15 - 17023 Ceriale (SV)

TAV.4 CARTA DI ANALISI
Scala 1:400

LEGENDA

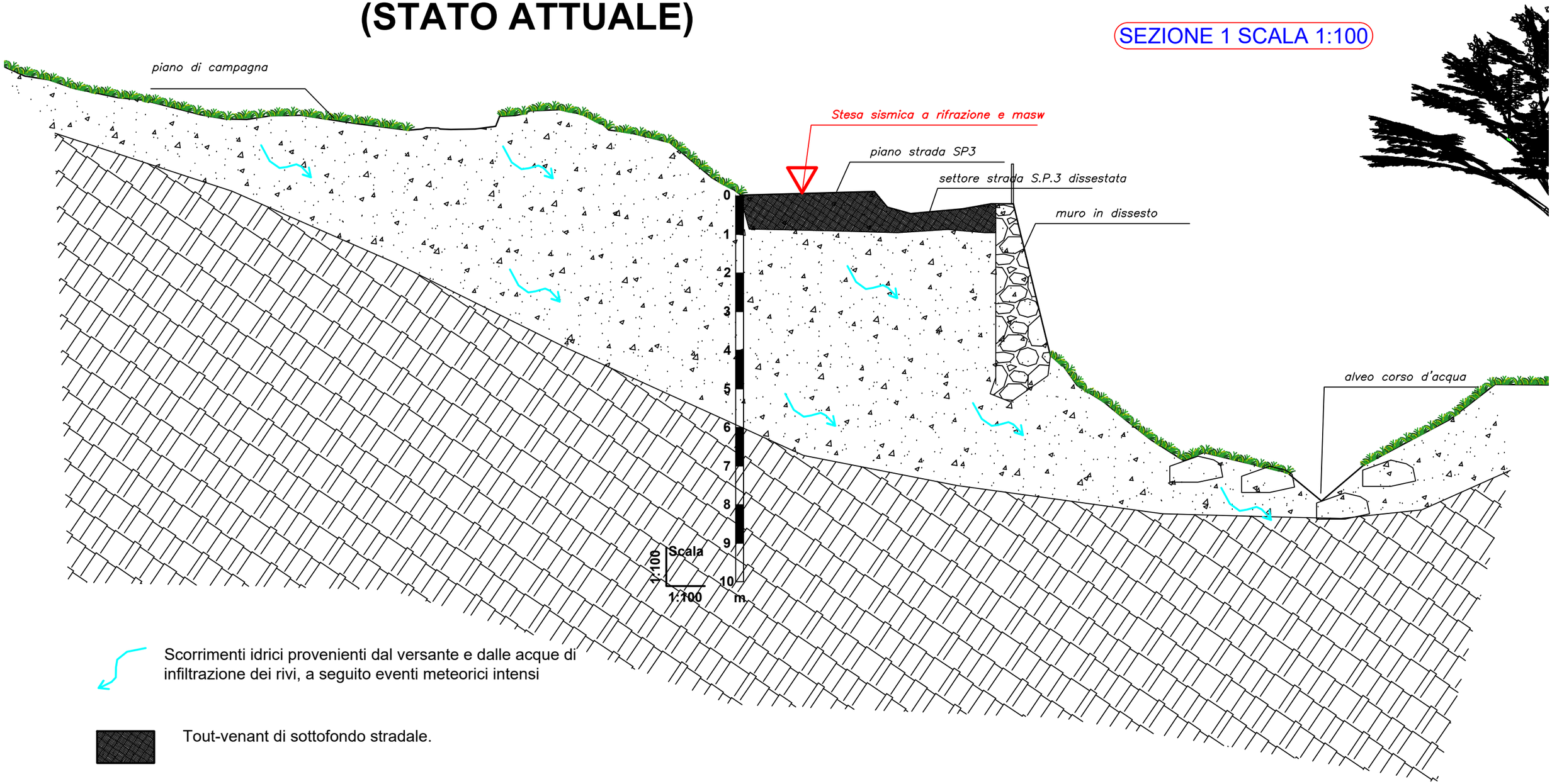
- MASW — Stesa sismica MASW e rifrazione (cfr. Allegato n.3)
- HV — Stazione sismica puntuale HVSR
- ST1 — Stazione prove sclerometriche (cfr. Allegato n.2)
- Affioramento roccioso
- Giacitura affioramento roccioso (T35)
- F1 — Punto di ripresa fotografica (cfr. Allegato n.1)
- 1 — Traccia sezione geologica (cfr. TAV.5A-B-C)
- corso d'acqua (1) originario; (2) recente
- tratto di confluenza corso d'acqua recente
- Scorrimento idrico superficiale



Dott. Geol. FABIO ARRIGHETTI - Via Acqui 8/15 - 17023 Ceriale (SV)

TAV.5A - SEZIONE GEOLOGICA 1 RAPPRESENTATIVA - Scala 1:100
(STATO ATTUALE)

SEZIONE 1 SCALA 1:100



Scorrimenti idrici provenienti dal versante e dalle acque di infiltrazione dei rivi, a seguito eventi meteorici intensi

Tout-venant di sottofondo stradale.

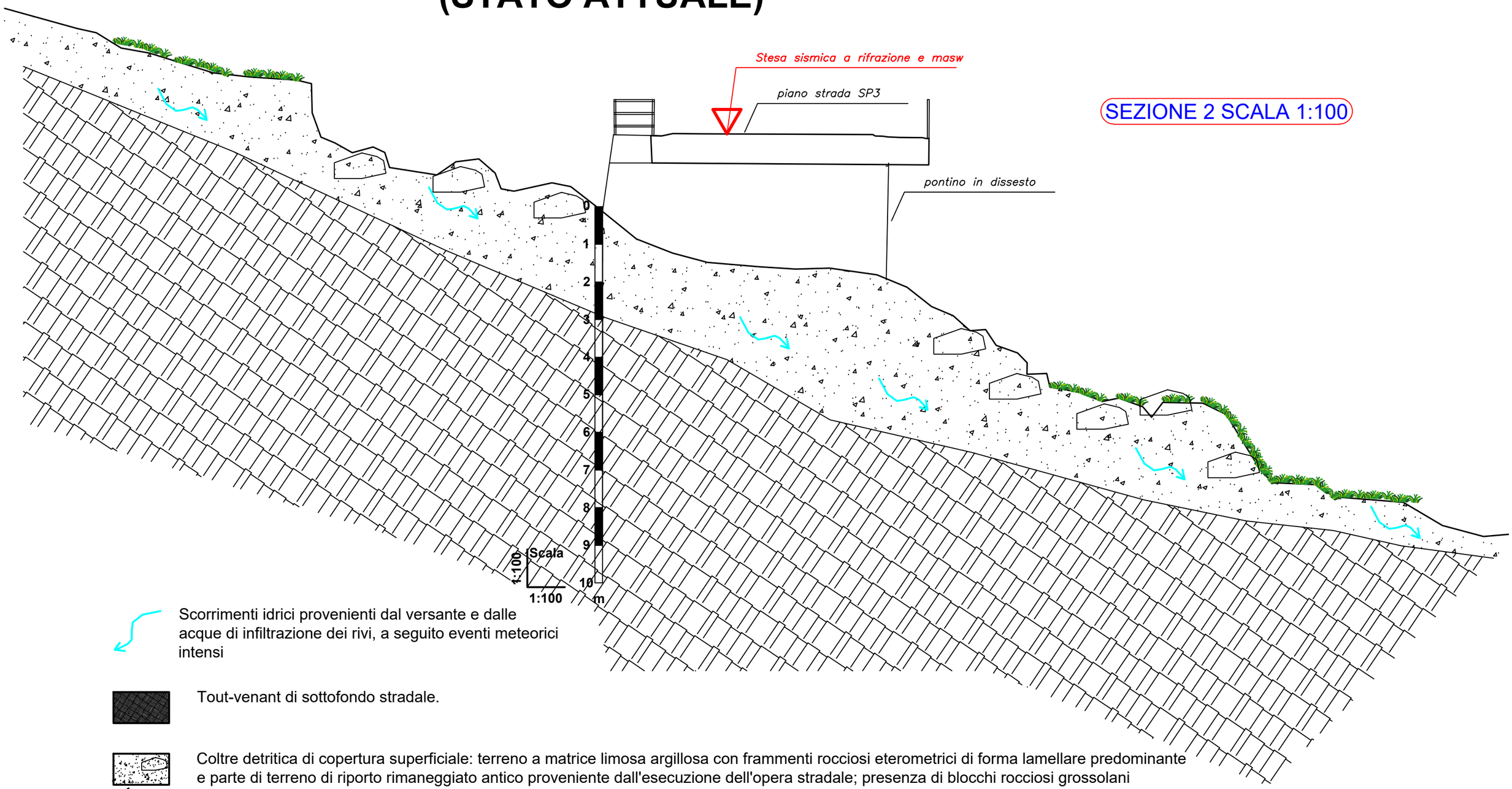
Coltre detritica di copertura superficiale: terreno a matrice limosa argillosa con frammenti rocciosi eterometrici di forma lamellare predominante e parte di terreno di riporto rimaneggiato antico proveniente dall'esecuzione dell'opera stradale; presenza di blocchi rocciosi grossolani provenienti dl trasporto solido dei corsi d'acqua.

Substrato roccioso stratificato (Membro di Pieve di Teco) a litologia marnosa-calcarea, comprensivo del cappellaccio di alterazione a contatto con la copertura detritica, molto fratturato e con stratificazione lamellare molto fitta a livelli sottili; giacitura a franapoggio, nel complesso ascrivibile alla classe IV di Biewniawski di scadente qualità; miglioramento della qualità in profondità secondo interpretazione prove sismiche

Note. E' assente la falda acquifera superficiale, mentre sono possibili scorrimenti idrici all'interno della coltre detritica e lungo il contatto coltre detritica - roccia provenienti dal versante e dalle acque di infiltrazione dei corsi d'acqua, in conseguenza di eventi meteorici;
l' opera di sostegno costituita dal muro a valle della strada provinciale, così come gli scatolari di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua in progetto dovranno avere una fondazione su micropali immorsati nel substrato roccioso.

Dott. Geol. FABIO ARRIGHETTI - Via Acqui 8/15 - 17023 Ceriale (SV)

TAV.5B - SEZIONE GEOLOGICA 2 RAPPRESENTATIVA - Scala 1:100 (STATO ATTUALE)



Scorrimenti idrici provenienti dal versante e dalle acque di infiltrazione dei rivi, a seguito eventi meteorici intensi

Tout-venant di sottofondo stradale.

Coltre detritica di copertura superficiale: terreno a matrice limosa argillosa con frammenti rocciosi eterometrici di forma lamellare predominante e parte di terreno di riporto rimaneggiato antico proveniente dall'esecuzione dell'opera stradale; presenza di blocchi rocciosi grossolani provenienti dl trasporto solido dei corsi d'acqua.

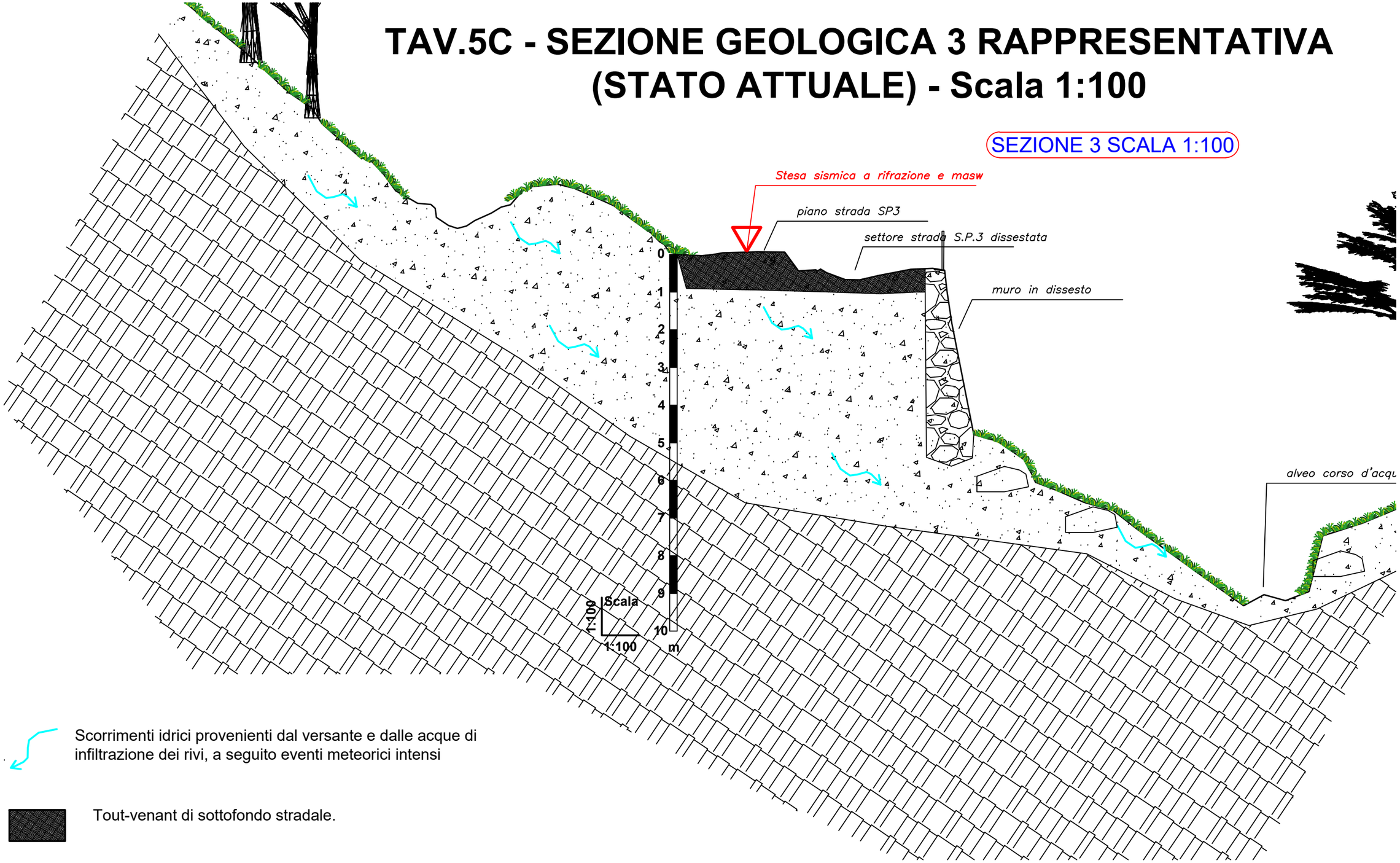
Substrato roccioso stratificato (Membro di Pieve di Teco) a litologia marnosa-calcarea, comprensivo del cappellaccio di alterazione a contatto con la copertura detritica, molto fratturato e con stratificazione lamellare molto fitta a livelli sottili; giacitura a franapoggio, nel complesso ascrivibile alla classe IV di Biewniawski di scadente qualità; miglioramento della qualità in profondità secondo interpretazione prove sismiche

Note. E' assente la falda acquifera superficiale, mentre sono possibili scorrimenti idrici all'interno della coltre detritica e lungo il contatto coltre detritica - roccia provenienti dal versante e dalle acque di infiltrazione dei corsi d'acqua, in conseguenza di eventi meteorici;
l' opera di sostegno costituita dal muro a valle della strada provinciale, così come gli scatolari di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua in progetto dovranno avere una fondazione su micropali immorsati nel substrato roccioso.

Dott. Geol. FABIO ARRIGHETTI - Via Acqui 8/15 - 17023 Ceriale (SV)

TAV.5C - SEZIONE GEOLOGICA 3 RAPPRESENTATIVA (STATO ATTUALE) - Scala 1:100

SEZIONE 3 SCALA 1:100



Scorrimenti idrici provenienti dal versante e dalle acque di infiltrazione dei rivi, a seguito eventi meteorici intensi

Tout-venant di sottofondo stradale.

Coltre detritica di copertura superficiale: terreno a matrice limosa argillosa con frammenti rocciosi eterometrici di forma lamellare predominante e parte di terreno di riporto rimaneggiato antico proveniente dall'esecuzione dell'opera stradale; presenza di blocchi rocciosi grossolani provenienti dl trasporto solido dei corsi d'acqua.

Substrato roccioso stratificato (Membro di Pieve di Teco) a litologia marnosa-calcarea, comprensivo del cappellaccio di alterazione a contatto con la copertura detritica, molto fratturato e con stratificazione lamellare molto fitta a livelli sottili; giacitura a franapoggio, nel complesso ascrivibile alla classe IV di Biewniawski di scadente qualità; miglioramento della qualità in profondità secondo interpretazione prove sismiche

Note. E' assente la falda acquifera superficiale, mentre sono possibili scorrimenti idrici all'interno della coltre detritica e lungo il contatto coltre detritica - roccia provenienti dal versante e dalle acque di infiltrazione dei corsi d'acqua, in conseguenza di eventi meteorici;
l' opera di sostegno costituita dal muro a valle della strada provinciale, così come gli scatolari di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua in progetto dovranno avere una fondazione su micropali immorsati nel substrato roccioso.

Dott. Geol. FABIO ARRIGHETTI - Via Acqui 8/15 - 17023 Ceriale (SV)