REGIONE LIGURIA
PROVINCIA DI SAVONA
COMUNE DI PONTINVREA

Oggetto: PROGETTO

PARCO EOLICO BRIC AUTZE'

Committente:

EOLO srl
Via Bartolomeo Prieri 4
12016 Peveragno (CN)

Progettisti:

Entec spa
Via Montegrappa, 2
12038 Savigliano (CN)
Tel. +39 0172 370 008
Fax. +39 0172 375 319
www.entec.it

Paolo Ing. **OBERTO**
Matteo Ing. **ANZALONE**
Daniele Ing. **GARNERONE**



Collaboratori:

Paolo Dott. For. **CORRENDO**
Sara Dott.ssa **VIGLIETTI**
Paola Geol. **REVERDITO**
Roberto Consulente faunistico **TOFFOLI**

Elaborato:

M.01.c

Titolo:

Relazione geologica

Scala: ---

Revisione: settembre 2015

Note Legali: proprietà esclusiva della società Entec spa, utilizzo e riproduzione vietate senza alcun accordo scritto

1.PREMESSA 3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI 5
3. INQUADRAMENTO GENERALE 6
3.1 Ubicazione topografica e stato dei luoghi 6
3.2 Inquadramento geomorfologico e idrogeologico 6
3.3 Inquadramento geologico 8
4. INDAGINI IN SITO 17
4.1 RILIEVO GEOMECCANICO 17
4.2 PROVE SISMICHE 20
- TORRE 1 21
- TORRE 2 22
- PIAZZOLA 1 23
- PIAZZOLA 2 24

5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO E GEO-MECCANICHE DELLE ROCCE 25
5.1 Coltre sciolta - UNITA' GEOTECNICA A 25
5.2 Substrato roccioso – UNITA' GEOTECNICA B 25
6. CLASSIFICAZIONE SISMICA A LIVELLO COMUNALE 28
7 . CONSIDERAZIONI TECNICHE 30
7.1 Adeguamento strada esistente 31
7.1.1 Stabilità dei fronti di scavo 31
7.2 Fondazioni aerogeneratori 35
7.3 Opere di regimazione a carico della sede stradale 37
8. GESTIONE DEL MATERIALE SCAVATO 38
9. ANALISI AMBIENTALE "PIETRE VERDI" 39
10. CONCLUSIONI 42

Fig. 1 Stralcio mappa satellitare – ubicazione area in studio
Fig. 2 Stralcio Cartografia dell'Elaborato 2 del P.A.I. "Atlante dei Rischi Idraulici ed Idrogeologici – Delimitazione delle Aree in Dissesto"
Fig. 3 : Stralcio CTR zona di intervento
Fig. 4: Stralcio Carta geologica zona di crinale
Fig. 5: stralcio Carta geologica zona di versante
Fig. 6: Diagramma sclerometrico di Schmidt
Fig. 7: Stralcio cartografia della mappatura delle pietre verdi
Fig. 8: Classificazione rocce appartenenti alle pietre verdi: serpentiniti

Foto 1: Coltre eluviale lungo viabilità (tratto A-A)
Foto 2: Affioramento rocciosodi meta gabbri lungo viabilità (sez. 14)
Foto 3: Affioramento roccioso serpentiniti lungo viabilità (sez. 26-27)
Foto 4: Coltre eluviale (sez. 21-22)
Foto 5: tratto B-B
Foto 6: tratto B-B
Foto 7: Primo tratto C-C in coltre
Foto 8: tratto C-C affioramento roccioso
Foto 9: tratto D-D affioramento roccioso
Foto 10: tratto D-D affioramento roccioso
Foto 11: tratto di crinale lato imposta torre 1
Foto 12: tratto di crinale lato imposta torre 2
Foto 12: Posizionamento tromino torre 1
Foto 13: Posizionamento tromino torre 2
Foto 14: Posizionamento tromino piazzola 1
Foto 15: Posizionamento tromino piazzola 2

Allegati:

TAV.1.0	Rilievo geologico e sezioni stratigrafiche interpretative TRATTO A-A
TAV.1.1	Rilievo geologico e sezioni stratigrafiche interpretative TRATTO B-B
TAV.1.2	Rilievo geologico e sezioni stratigrafiche interpretative TRATTO C-C
TAV.1.3	Rilievo geologico e sezioni stratigrafiche interpretative TRATTO D-D
TAV.1.4	Rilievo geologico e sezioni stratigrafiche interpretative TRATTO E-E
TAV. 2	Ubicazione prove in sito, e prelievo campioni
ALL. 1	Parametri sismici
ALL. 2	Certificati analisi ambientali sui campioni e documentazione fotografica

1.PREMESSA

La presente relazione rappresenta il documento in cui sono riportate le risultanze dello studio geologico, idrogeologico e sismico per la realizzazione di un parco eolico composto da due pale eoliche, previsto nella zona di spartiacque lungo la costiera del Bric Autziè, nel Comune di Pontinvrea da parte della Società EOLO SrL, con sede a Peveragno (Cn).

Il presente elaborato fa seguito a sopralluoghi e ad un'indagine geologica di dettaglio, al fine di:

- valutare il contesto fisico generale nel quale l'area oggetto di intervento si inserisce;
- acquisire una preliminare conoscenza delle caratteristiche geologiche, stratigrafico-strutturali, geomorfologiche, idrogeologiche, meccaniche delle aree interessate dagli interventi e del loro contorno;
- acquisire una diretta conoscenza delle caratteristiche tecniche dei materiali presenti sia a livello generale che a livello puntuale sia in corrispondenza delle modifiche alla sede stradale che in corrispondenza delle singole ubicazioni degli aerogeneratori e delle piazzole di lavorazione.

La presente relazione vuole essere in ogni caso uno studio per una visione d'insieme preliminare delle condizioni geologiche, idrogeologiche e sismiche dei terreni presenti e si prefigge pertanto di esprimere un giudizio di fattibilità delle previsioni progettuali.

Il modello geotecnico definito nella presente relazione deve essere inteso come modello fisico, non trattando la parte relativa ai modelli di comportamento più propriamente legati alla parte di progettazione. In ogni caso tutti gli aspetti geotecnici affrontati nella presente relazione geologica dovranno comunque essere validati e integrati da parte del progettista strutturista, secondo quanto prescritto dal D.M.14.1.2008.

A seguito di una verifica puntuale eseguita sulla cartografia della Regione Liguria inerente la "Mappatura degli ambiti interessati dalle "Pietre Verdi" della D.G.R. n. 1776/2008)*"Integrazione alla DGR n. 859/2008 – Allegato 3 relativo alla mappatura delle Pietre verdi")*, risulta che gran parte degli interventi in progetto ricadono in area perimetrata appunto a "Pietre verdi".

In questa prima fase quindi viene affrontato, seppur in modo preliminare, in un paragrafo dedicato, l'aspetto di un eventuale rilascio di fibre di amianto (DM 14/05/96) in considerazione della presenza di rocce metamorfiche appartenenti alla categoria delle "Pietre verdi".



Fig. 1 Stralcio mappa satellitare – ubicazione area in studio

1.1 Quadro degli interventi

Il progetto proposto si compone di una serie di opere primarie e secondarie, sia di tipo puntuale che lineare per le quali esistono livelli di interferenza con l'attuale assetto geologico di diverso peso.

In particolare la presente relazione prende in considerazione:

- ✓ n. 2 aerogeneratori comprensivi delle opere accessorie (piazzole di servizio);
- ✓ adeguamento viabilità esistente;
- ✓ n. 1 cabina di consegna;
- ✓ cavidotto di servizio.

La messa in posto degli aerogeneratori ed il relativo adeguamento della viabilità esistente rappresentano le opere di maggior rilevanza sia in termini di allargamento della strada di accesso, sia in ottica strettamente geotecnica (fondazioni).

Per quanto riguarda invece il cavidotto sarà totalmente interrato e si svilupperà sempre lungo viabilità esistente. La messa in opera del cavidotto interrato determinerà interferenze minimali e/o trascurabili sull'assetto geologico delle aree

attraversate. Questo in considerazione delle dimensioni degli scavi previsti e del loro carattere di non permanenza con immediata chiusura e ripristino delle condizioni pregresse.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- D.M. 14/01/2008: Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni.
- Delibera della Giunta Regionale n°1362/2010 "Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria ai sensi del DM 14/01/2015".
- D.G.R. n. 1423/2013 Terre e rocce da scavo – Regione Liguria.
- L.R. 22/89 Aree sottoposte a vincolo idrogeologico.
- D.G.R. n. 1776/2008)*"Integrazione alla DGR n. 859/2008 – Allegato 3 relativo alla mappatura delle Pietre verdi"),*
- Pianificazione di bacino (versante padano): norme di attuazione generali del PAI – Piano stralcio per asseto Idrogeologico per le aree che ricadono sotto il controllo dell'autorità di Bacino del Fiume Po / L. n. 83 del 18/05/89 art. 17 comma 6/ter: la zona risulta esclusa dalle aree in dissesto sia di tipo geomorfologico che di tipo idraulico.



Fig. 2 Stralcio Cartografia dell'Elaborato 2 del P.A.I. "Atlante dei Rischi Idraulici ed Idrogeologici – Delimitazione delle Aree in Dissesto"

Indicazione del tracciato – area di intervento

3. INQUADRAMENTO GENERALE

3.1 Ubicazione topografica e stato dei luoghi

L'area d'intervento è ubicato nel Comune di Pontinvrea e più precisamente nel settore di spartiacque in corrispondenza del versante meridionale del bacino del Rio Roccheggio, affluente in sponda sinistra del Rio del Giovo e del versante verso il quadrante settentrionale in sponda orografica destra del Torrente Erro.

Dallo stralcio del CTR 1:10.000 (212.140) si ricava che il posizionamento delle turbine risulta nella fascia di spartiacque ad una quota altimetrica di circa 750m slm, con direzione NE-SO.

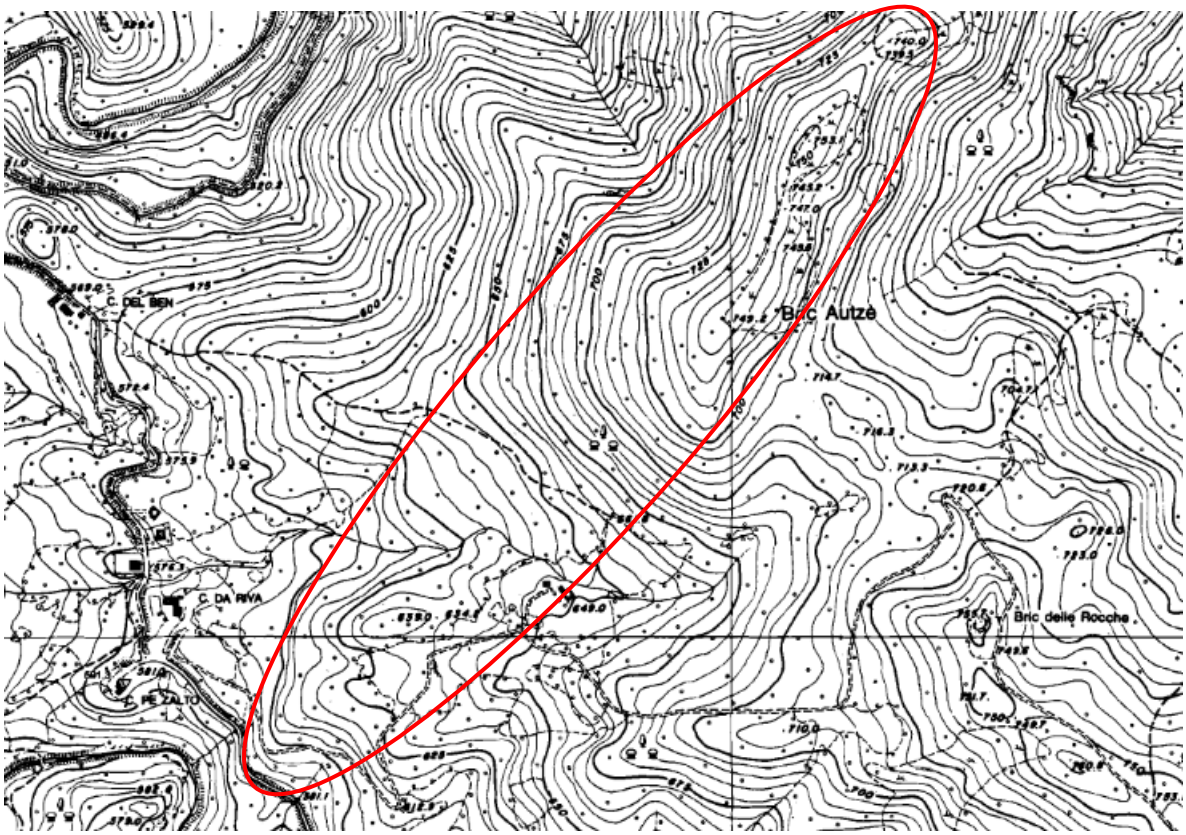


Fig. 3 : Stralcio CTR zona di intervento

3.2 Inquadramento geomorfologico e idrogeologico

Dal punto di vista geomorfologico la zona di imposta delle nuove turbine risulta lungo quella fascia sommitale del crinale orientato circa NE-SO.

I versanti che scendono dalla quota massima presentano pendenze medie costanti comprese tra i 25° ed i 30°.

Localmente sono presenti inflessioni delle isoipse con incrementi anche significativi delle pendenze che assumono però un significato geomorfologico solo di tipo puntuale ed interessano prevalentemente i livelli sommitali del pendio.
L' aspetto morfologico del crinale stesso e la mancanza di evidenti e significative anomalie geometriche a scala di versante, testimoniano il livello di regolarizzazione raggiunto secondo un profilo controllato dal disegno strutturale.
Nei tratti medi e bassi del versante si può invece parlare del raggiungimento di un equilibrio dinamico del pendio il cui modello evolutivo va ricondotto alla lenta alterazione dall'alto verso il basso del limitato cappellaccio di alterazione e quindi alla formazione di un eluvio progressivamente sottoposto alle azioni gravitative ed alle azioni esterne di modellamento (acque superficiali).
In generale a livello areale (ovvero a scala del versante) non si rilevano indicatori significativi di tipo geomorfologico correlabili a fenomeni franosi in atto o pregressi.
Il versante in questione è interessato da una fitta vegetazione a bosco ceduo.
Per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche la circolazione idrica del sottosuolo è condizionata dalla natura dei terreni presenti nel sito.
Le rocce che caratterizzano il substrato sono da considerarsi sostanzialmente impermeabili e, solo in corrispondenza di eventuali termini più massivi e relativamente poco alterati, è possibile parlare di rocce semimpermeabili per fratturazione. In effetti laddove il substrato roccioso risulta più competente e le superfici delle discontinuità pulite e poco alterate le acque hanno possibilità di mobilizzazione.
In generale comunque è ragionevole supporre che anche l'eventuale circolazione idrica lungo le fratture sia da considerarsi, comunque, fenomeno tendenzialmente limitato. I materiali di alterazione a matrice fine tendono infatti a tamponare tale circolazione ed impedire lo sviluppo di un vero reticolo sotterraneo. Inoltre la posizione prevista per i siti di imposta delle turbine, praticamente lungo la linea di cresta, esclude la possibilità di interferenza significativa con una vera e propria falda acquifera.
Per quanto riguarda la copertura detritica eluviale a componente medio-fine, questa, ancorché assai limitata se non assente nella fascia di crinale per poi aumentare di spessore nella fascia intermedia e terminale del versante, risulta dotata di bassa permeabilità per porosità.

Sostanzialmente, quindi, nel terreno detritico di copertura il flusso idrico risulta inapprezzabile. Le ridotte circolazioni idriche presenti nel terreno di copertura sono riconducibili ad uno schema di flusso limitato che si realizza lungo orizzonti ben determinati discontinui spesso isolati e comunque in stretta connessione con gli apporti meteorici.
In ordine alla circolazione delle acque superficiali questa è caratterizzata da un limitato deflusso superficiale non incanalato: nella porzione alta di versante si ha la presenza del cosiddetto reticolo di ordine zero, nel quale non si rilevano elementi di morfologia fluviale organizzati che assumono significato invece a quote inferiori.
In questa zona il ruscellamento superficiale è da mettere in relazione ai fenomeni intensi di carattere pluviometrico ed è condizionato dalla copertura vegetale presente.

3.3 Inquadramento geologico

Questo settore ligure è geologicamente caratterizzato, come in tutte le Alpi, da enormi masse rocciose, chiamate falde o Unità tettoniche che, in seguito alle deformazioni orogeniche, sono state dislocate dalla loro posizione originaria ed appilate una sull'altra.
I sedimenti quaternari sono anche caratterizzati da alluvioni antiche, recenti ed attuali, sedimenti marini e depositi eluvio-colluviali presenti nella parte bassa del territorio considerato.
L'eterogeneo e complesso quadro strutturale che si riscontra nell'ambito di interesse, è ben rappresentato da elementi litologici del Dominio Piemontese e Piemontese-Ligure di fondo oceanico formato da falde ofiolitifere pre-cenomaniane, costituite dall'ormai classica associazione ofiolitica a peridotiti, gabbri e basalti trasformati dal metamorfismo in serpentiniti, metagabbri e metabasalti, sovrapposti ad elementi del Tegumento permocarbonifero. A tetto delle ofioliti si trova una copertura sedimentaria di età giurassica superiore - cretacea inferiore, composta da depositi pelagici silicei e carbonatici trasformatisi durante l'orogenesi in quarzoscisti e calcescisti.
Partendo da ponente verso levante coesistono a contatto tra loro, le formazioni del Bacino Terziario Piemontese e rocce appartenenti a diverse Unità del Gruppo di Voltri che, a loro volta, sono collegate tettonicamente a quelle del Massiccio

Cristallino Savonese (Unità di Savona, Unità di Bagnaschino), rappresentato da Ortogneiss, paragneiss e micascisti, anfiboliti e della Falda di Montenotte.
La Falda di Montenotte, sovrapposta al Cristallino è un'ulteriore unità ofiolitifera, alloctona, qui rappresentata da Calcari cristallini e Metagabbri.
Sparsi su tutto il settore esaminato vi sono, inoltre, lembi pliocenici rappresentati da depositi sedimentari di mare aperto, costituiti da litotipi marnoso-argillosi e conglomeratici; sono i sedimenti prequaternari rappresentati dalla Formazione di Molare e dalle Argille di Ortovero, mentre il Quaternario è rappresentato da depositi alluvionali antichi e recenti localmente terrazzati, e da depositi eluvio – colluviali, questi ultimi in parte dovuti a fenomeni gravitativi di dissesto idrogeologico.
In particolare, così come risulta dalla Carta geologica Regionale (CGR), nella zona di interesse sono affioranti le seguenti formazioni:

- Unità di Montenotte: serpentiniti di Bric Autzè (TIG)

Costituita da serpentiniti poco scistose, metagabbri con associazioni di minerali metamorfici di alta pressione, metabasalti filoniani o in colate, talora presentano intercalazioni di brecce ofiolitiche, scisti silicei e marmi picchiettati per la presenza di fini concentrazioni di quarzo, calcari micacei passanti più o meno transizionalmente verso l'alto a filladi con livelli calcarei (Cortesogno et alii, 1991).

- Formazione di Molare lembo alloctono (MOR)

Presente nella parte centrale del versante dell'area considerata. La litologia è costituita da conglomerati e brecce poligenici ad elementi di grandezza variabile, spesso superiore ai 10 cm, costituiti prevalentemente da elementi ofiolitici, ben cementati di colore rossastro.

- Metagabbri di Rocca Ghingherina (MGH)

Sono in prevalenza metabasiti (metagabbri e metabasalti) a paragenesi prevalente di alta pressione, di scisti verdi e spesso profondamente rodingitizzate a granato dominante.

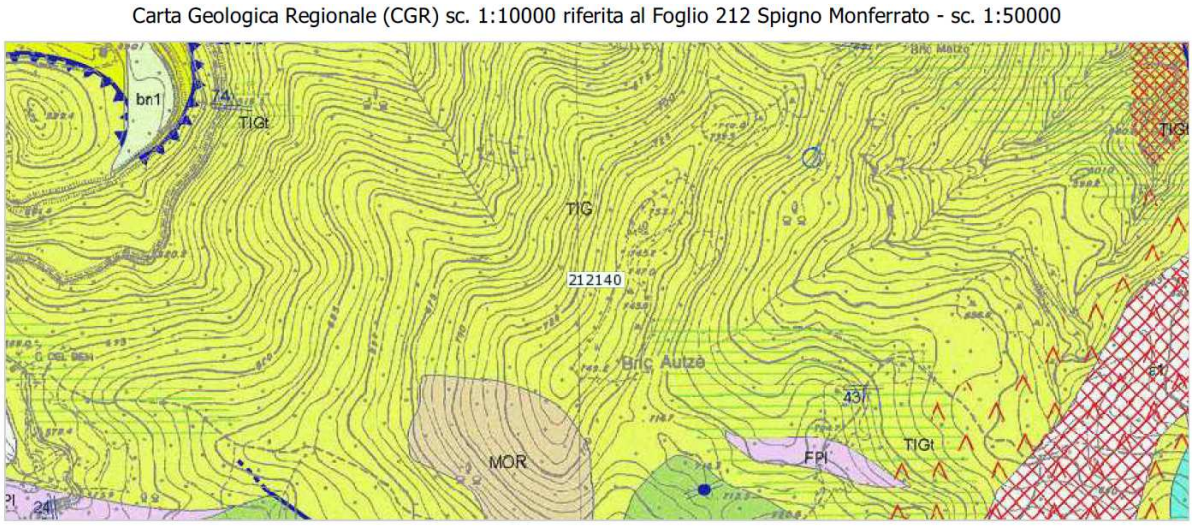


Fig. 4: Stralcio Carta geologica zona di crinale

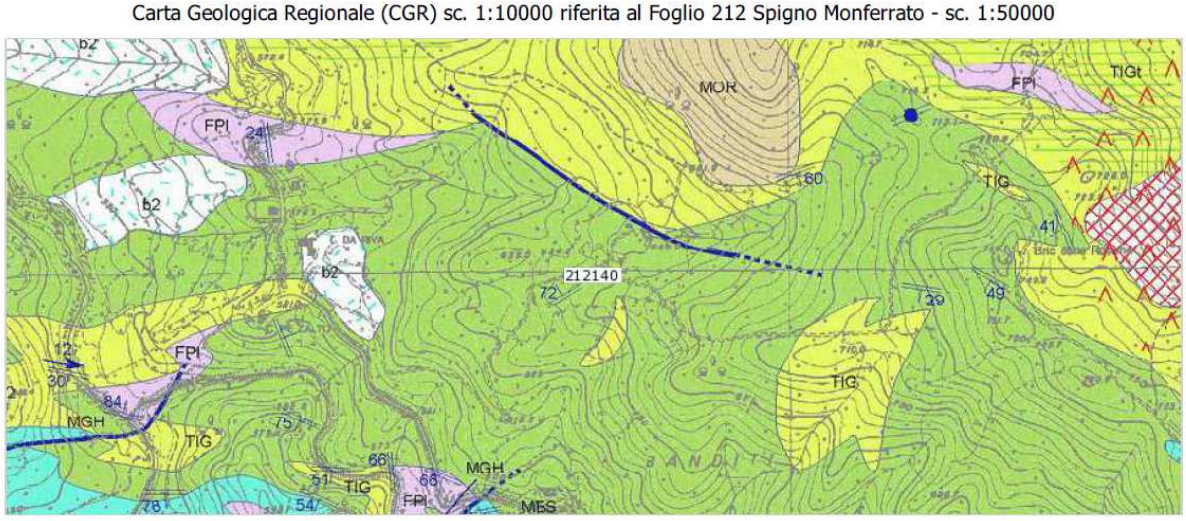


Fig. 5: stralcio Carta geologica zona di versante

Si è proceduto con un rilievo geologico in sito ed in considerazione dell'estensione dell'area interessata dal progetto si è suddiviso il rilievo in tratte omogenee (Tav. 1.0 – 1.4):

- **Tratto A-A (TAV. 1.0)**: si rileva la presenza di coltre eluviale sia a monte che a valle dell'asse stradale, per uno spessore stimato di circa 2m: si tratta di sabbie e ghiaie fini a matrice limoso di tipo SM-SG con abbondante presenza di pietrame



Foto 1: Coltre eluviale lungo viabilità (tratto A-A)



Foto 2: Affioramento rocciosodi meta gabbri lungo viabilità (sez. 14)

In corrispondenza della sez.14 si ha un affioramento roccioso sulla scarpata di monte della strada: la roccia si presenta massiva, disgregata in superficie per l'azione degli agenti atmosferici.

La roccia è presente di nuovo a monte, in corrispondenza delle sez. 25-26-27: si presenta disarticolata in ciottoli e blocchi, con presenza di coltre di spessore molto esiguo.



Foto 3: Affioramento roccioso serpentiniti lungo viabilità (sez. 26-27)



Foto 4: Coltre eluviale (sez. 21-22)

Nel tratto in esame, a seguito di rilievi puntuali in un contorno significativo, si ritiene che non vi siano segni evidenti di qualsiasi forma di dissesto in atto o quiescente.

- **Tratto B-B (TAV. 1.1):** si rileva la presenza di coltre eluviale sia a monte che a valle dell'asse stradale, senza particolarità geomorfologiche significative



Foto 5: tratto B-B



Foto 6: tratto B-B

Nell'ultimo tratto del percorso, in corrispondenza di un fabbricato esistente, il tracciato stradale subisce una deviazione: sotto il profilo morfologico l'area si presenta a debole pendenza, con presenza di acqua in superficie, dovuta a punti di emergenza per differenza litologica e con emergenze significative nei periodi

piovosi. Sarà necessario a livello esecutivo prevedere una regimazione superficiale delle acque, in modo da evitare ristagno sulla sede stradale.

- **Tratto C-C (TAV. 1.2)**: si rileva la presenza di coltre eluviale sia a monte che a valle dell'asse stradale, per uno spessore stimato di circa 1m: anche in questo settore si tratta di sabbie e ghiaie fini a matrice limoso di tipo SM-SG con abbondante presenza di pietrame. Lungo il tracciato in alcuni tratti è presente il substrato roccioso: si tratta di affioramenti di serpentiniti, massivi



Foto 7: Primo tratto C-C in coltre



Foto 8: tratto C-C affioramento roccioso

- **Tratto D-D (TAV. 1.3)**: Si tratta dell'ultimo settore della viabilità che porta alla zona di imposta degli aerogeneratori. Il tratto è caratterizzato da roccia affiorante sia a monte che a valle dell'asse stradale, con pendenza medio-alta del versante, coltre scarsa o assente. In generale a livello areale non si rilevano indicatori significativi di tipo geomorfologico correlabili a fenomeni franosi in atto o pregressi.



Foto 9: tratto D-D affioramento roccioso



Foto 10: tratto D-D affioramento roccioso

- **Tratto E-E (TAV. 1.4)**: Si tratta della zona di imposta dei due aerogeneratori e relative piazzole di servizio. Lungo tutto il crinale è visibile in affioramento il substrato roccioso, solo localmente e per aree molto limitate fratturato in superficie



Foto 11: tratto E-E di crinale lato imposta torre 1



Foto 12: tratto E-E di crinale lato imposta torre 2

4. INDAGINI IN SITO

4.1 RILIEVO GEOMECCANICO

In via preliminare la classificazione di un ammasso roccioso può fornire un insieme di informazioni utili allo scopo finale, derivando dall'esame di ben determinate ed oggettive caratteristiche da rilevare. Naturalmente il carattere speditivo del rilievo di tali dati non può sostituire le analisi di dettaglio da condurre nelle fasi esecutive ma, essendo disponibili sin dal primo approccio, consentono un'ottimale pianificazione delle attività future ed una concreta valutazione dello stato del materiale presente. Per la caratterizzazione del materiale roccia e degli ammassi rocciosi affioranti nell'area di studio sono stati realizzati n° 3 stazioni di rilievo geomeccanico (ARS 1,2,3,) eseguiti secondo gli standard ISRM (1981), posizionati nei punti indicati in TAV. 2.

L'esecuzione di un rilievo geomeccanico di dettaglio comporta la stima di una serie di parametri la cui valutazione/misurazione consente:

- l'attribuzione di un indice di qualità dell'ammasso roccioso;
- la valutazione speditiva delle proprietà fisiche e meccaniche del materiale roccia;
- la verifica della possibilità cinematica di movimento in riferimento a fenomeni di instabilità coinvolgenti le singole porzioni di ammasso roccioso isolate dalle famiglie di discontinuità identificate.

La presenza di discontinuità riduce le caratteristiche di resistenza del materiale roccia ed è il fattore che più condiziona il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso e le sue caratteristiche di resistenza e di deformabilità; le particolarità delle discontinuità influiscono poi sui possibili cinematismi di movimento dei blocchi.

La roccia metamorfica presente in sito, in generale, è litologicamente una roccia a struttura compatta priva di stratificazione; la sua conformazione è tipicamente quella di un ammasso roccioso massivo privo di discontinuità di genesi primaria. In genere la resistenza del materiale è molto elevata. Assieme alle caratteristiche intrinseche di resistenza del materiale roccioso concorrono a caratterizzare il comportamento geomeccanico dell'ammasso le discontinuità secondarie, rappresentate da fratture, che sono connesse alle fasi correlate alla storia tettonica dell'ammasso.

Dalle indagini condotte in sito lo stato di alterazione delle superfici è risultato assente.

Date le caratteristiche di omogeneità complessiva dell'ammasso roccioso, gli elementi principali di discontinuità sono rappresentati dai sistemi di fratture maggiori.
I dati dei parametri morfometrici più ricorrenti hanno indicato le discontinuità come non alterate, leggermente scabre, con apertura 0,1-1,0 mm, persistenza tra 1,0-3,0 m, e spaziatura tra 60-200 mm. Queste classi modali sono indicative delle condizioni generali dell'ammasso. Le condizioni sono rappresentative di un ammasso fratturato ma con discontinuità con media persistenza e ridotta spaziatura e apertura, medio-bassa rugosità e basso grado di alterazione. Non sono state rilevate nei fronti analizzati né filtrazioni di fluidi né condizioni di umidità in sito.
Lo stato del materiale lapideo è stato inoltre analizzato mediante sclerometro (martello di Schmidt) effettuando alcuni test sulle pareti della roccia affiorante (ARS zona di rilevamento).
Le misurazioni hanno rilevato questi dati:

- ARS 1: 40-12-11-32-22-35-15-25-22-30
- ARS 2: 45-35-22-11-15-20-20-60-40-20
- ARS 3 : 42-45-40-22-32-18-45-25-35-30

Dalle serie di misurazioni eseguite in sito si può rilevare un indice medio ≅ 28. A tale valore corrisponde una resistenza alla compressione monoassiale C_o variabile da ≈ 380 Kg/cmq a ≈ 480 Kg/cmq, valore proprio di un ammasso sostanzialmente in condizioni di conservazione discreto/buone.

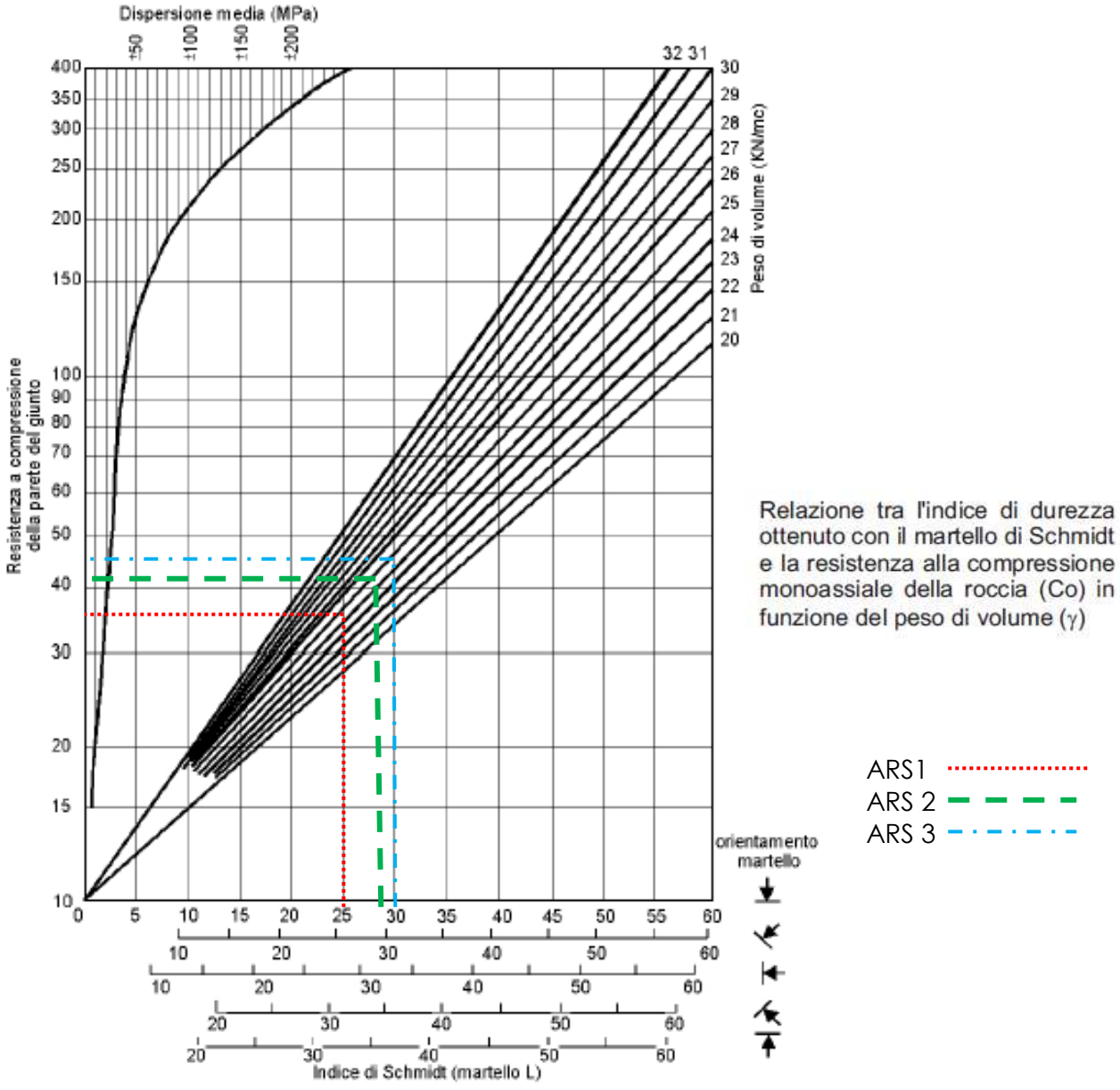


Fig. 6: Diagramma sclerometrico di Schmidt

4.2 PROVE SISMICHE

Nel sito in esame sono state eseguite 4 stazioni (in corrispondenza della sede di imposta dei 2 aerogeneratori e delle relative piazzole di servizio) di indagine sismica con tromino (TAV. 2). La misura di rumore ambientale (HVSR) è stata condotta con il sismografo triassiale con frequenza fondamentale di 2 Hz digitalizzato a 24 bit per canale, "Geobox" della "*Sara electronic instruments";* l'analisi dei sismogrammi è stata effettuata con il software *Geopsy* nato dal SESAME European Project. La ricostruzione della stratigrafia si è avvalsa del modulo *dinver* del SESAME European Project.

La tecnica prevede la registrazione del rumore sismico ambientale (microtremori) per un periodo sufficientemente lungo da garantire la casualità della segnale con un sismografo triassiale.

La tecnica HVSR consente di valutare la frequenza fondamentale di risonanza di uno strato soffice a partire dalle sole registrazioni del rumore in superficie. Se si considera la struttura geologica tipica di un materiale, si vede come il tremore registrato in superficie si possa considerare come composto da onde superficiali e da onde di volume. Tali onde verranno modificate dall'azione filtrante dello strato soffice. Si possono definire due spettri relativi alle misure del moto superficiale orizzontale (H_f) e verticale (V_f); tali spettri sono legati agli spettri delle onde di volume e di quelle di superficie dalle seguenti formule:

$$H_f = A_h \cdot H_b + H_s$$

$$V_f = A_v \cdot V_b + V_s$$

dove Ah e Av sono i fattori di amplificazione del moto orizzontale e verticale delle onde di volume; Hb e Vb sono gli spettri orizzontale e verticale del moto nel bedrock e Hs e Vs sono gli spettri del moto orizzontale e verticale delle onde di superficie.

Per ogni prova è stato riportato il grafico di f_t tra la prova sperimentale e teorica e sotto il profilo di distribuzione delle velocità.

- TORRE 1 (PS1)

La sismo stratigrafia che corrisponde alla migliore approssimazione tra le curve HVSR in corrispondenza di f_0 è la seguente:

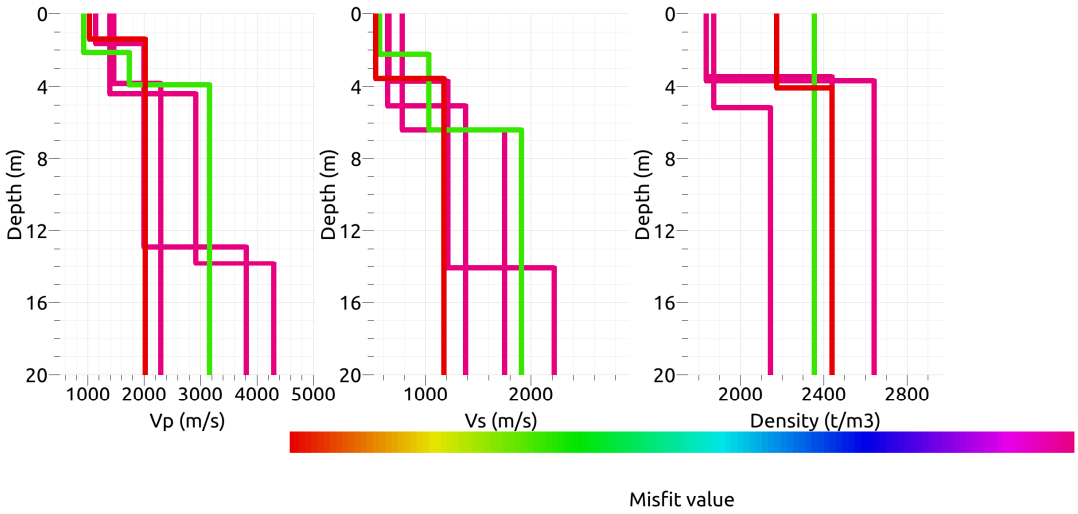




Foto 13: Posizionamento tromino torre 1

	Torre 1
Roccia tenera e/o alterata	Fino a circa 4 metri (Vp circa 1000 m/s – Vs circa 700 m/s)
Substrato roccioso in buone condizioni	(Vp circa 2000 m/s – Vs circa 1300 m/s)

- TORRE 2 (PS4)

La sismo stratigrafia che corrisponde alla migliore approssimazione tra le curve HVSR in corrispondenza di f_0 è la seguente:

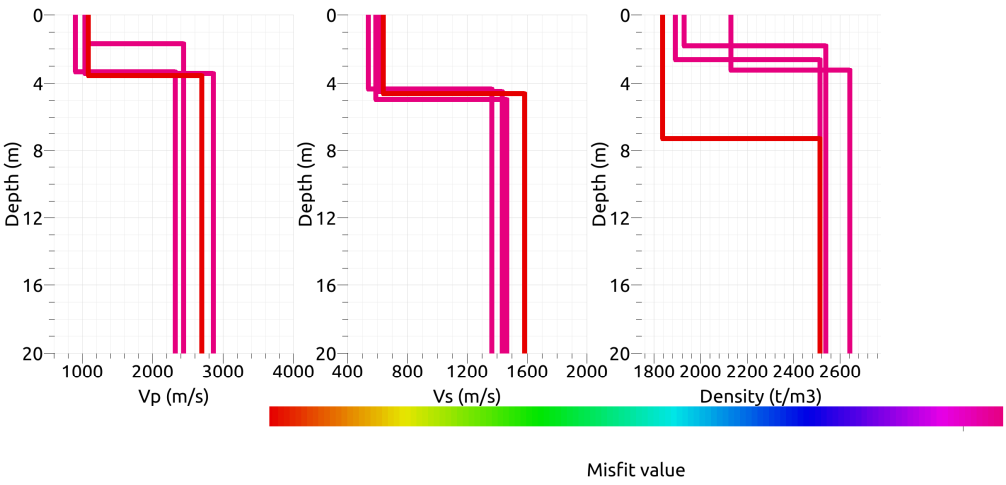




Foto 14: Posizionamento tromino torre 2

	Torre 2
Roccia tenera e/o alterata	Fino a circa 4 metri (Vp circa 800 m/s – Vs circa 600 m/s)
Substrato roccioso in buone condizioni	(Vp circa 2500 m/s – Vs circa 1500 m/s)

- PIAZZOLA 1 (PS2)

La sismo stratigrafia in corrispondenza di f_0 è la seguente:

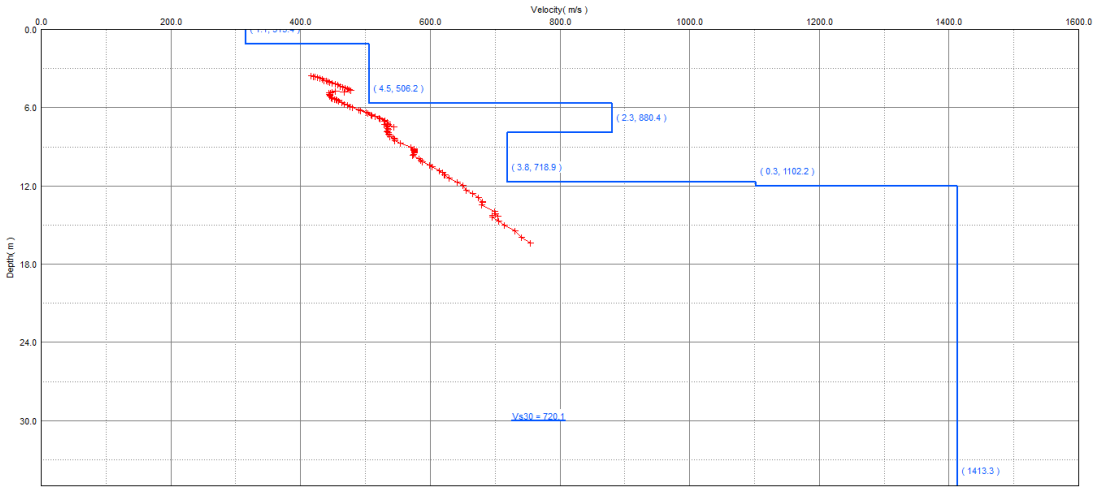




Foto 15: Posizionamento tromino piazzola 1

	Piazzola 1
Roccia tenera e/o alterata	Fino a circa 3.5metri (Vp circa 400 m/s – Vs circa 800 m/s)
Substrato roccioso in buone condizioni	(Vp circa 900 m/s – Vs circa 1100 m/s)

- PIAZZOLA 2 (PS3)

La sismo stratigrafia in corrispondenza di f_0 è la seguente:

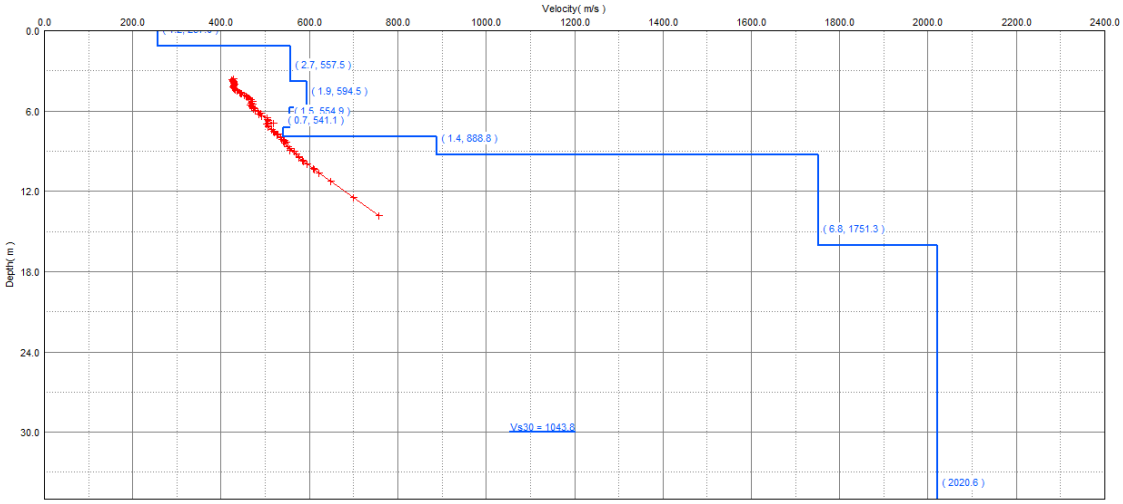




Foto 16: Posizionamento tromino piazzola 2

	Piazzola 2
Roccia tenera e/o alterata	Fino a circa 4 metri (Vp circa 400 m/s – Vs circa 600 m/s)
Substrato roccioso in buone condizioni	(Vp circa 1200 m/s – Vs circa 2400 m/s)

5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO E GEO-MECCANICHE DELLE ROCCE

5.1 Coltre sciolta - UNITA' GEOTECNICA A

Per quel che riguarda la coltre l'esame del terreno indica trattarsi di sabbie e ghiaie fini a matrice limoso di tipo SM-SG con abbondante presenza di pietrame e blocchi rocciosi anche di grosse dimensioni; l'insieme si presenta piuttosto "caotico" e caratteristico dei terreni in oggetto e che sfuma nel sottostante regolite del substrato lapideo in superficie piuttosto disarticolato. Si ritengono attendibili i seguenti parametri geotecnici della coltre

- *Peso di Volume* γ = *1.9 t/mc*
- *Coesione* *c = 0,5 -1,5 t/mq*
- *Angolo di Attr. Int.* ϕ = *28° - 30°.*

5.2 Substrato roccioso – UNITA' GEOTECNICA B

Sulla base del rilevamento in sito è stato possibile stimare in via speditiva l'R.Q.D. dell'ammasso roccioso in funzione della fratturazione degli affioramenti (sulla base della correlazione empirica tratta da: GIODA G., 1981, Meccanica delle rocce, ed. CLUP, Milano), da cui risulta un RQD 25% -30%. Per quanto attiene alle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso, si può dire che l'elevata tettonizzazione rende gli ammassi rocciosi globalmente individuabili nel campo delle "rocce deboli".
Al fine di meglio caratterizzare l'ammasso roccioso dal punto di vista geomeccanico è stato utilizzato il metodo proposto da Bieniawski (classificazione RMR) che permette di definire per classi i parametri di resistenza e deformabilità (c, ϕ, Ed).
L'indice RMR a cui conduce tale classificazione si dimostra di notevole importanza per dare un giudizio qualitativo-quantitativo sintetico sulle caratteristiche dell'ammasso roccioso nei confronti della stabilità dei versanti.
I cinque parametri utilizzati dalla classificazione di Bieniawski e che permettono di giungere alla determinazione dell'indice RMR sono:

- *resistenza alla compressione monoassiale della roccia intatta,*
- *indice RQD (Rock Quality Designation);*
- *spaziatura dei giunti,*

- *condizione delle discontinuità (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, materiale di riempimento),*
- *condizioni idrauliche (afflusso acqua, pressione interstiziale).*

Ogni parametro è valutato in modo quantitativo e ad ognuno di essi viene assegnato un indice parziale.

La somma algebrica degli indici parziali relativi ai singoli parametri analizzati fornisce l'indice complessivo dell'ammasso roccioso (RMR) in base al quale vengono definite cinque classi; per ogni classe è indicata una stima di massima dei parametri di resistenza globale dell'ammasso roccioso.

Dalle misure effettuate sugli affioramenti rocciosi nell'area in analisi, sono emersi i seguenti parametri:

⇒ *R_1 Resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta*

Qc= - 500 kg/cmq

INDICE PARZIALE = 7

⇒ *R_2 R.Q D* 25 % - 50 %

INDICE PARZIALE = 8

⇒ *R_3 Spaziatura dei giunti* Fra 60 e 200 mm

INDICE PARZIALE = 15

⇒ *R_4 Condizione delle discontinuità:* Superfici lisce, non alterate

INDICE PARZIALE = 10

⇒ *R_5 Condizioni idrauliche:* asciutti

INDICE PARZIALE = 15

Dalla somma dei coefficienti numerici dei primi cinque parametri si ottiene:

$$R.M.R._{base} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

Il sesto parametro, **R6** stabilisce una correzione dell' **RMR_{base}** in funzione dell'orientamento delle discontinuità, rispetto alla direzione in cui si sviluppa l'opera

progettata. Sommando il coefficiente numerico (negativo) di R6 al valore numerico dell'RMR_{base} si ottiene il valore numerico:

$$R.M.R._{corretto} = R.M.R._{base} + R_6$$

La somma algebrica dei coefficienti numerici dei sei parametri può variare in un intervallo di valori compresi tra 0 e 100 suddiviso in cinque parti uguali a cui corrispondono cinque classi dell'ammasso roccioso.
Dai risultati ottenuti dal rilievo in sito è possibile ricavare in prima analisi:

$$R.M.R._{base} = R_1+R_2+R_3+R_4+R_5 =$$
$$R.M.R._{corretto} = R.M.R._{base} + R_6 =$$

$R.M.R._{base} = 55$
$R.M.R._{corretto} = \mathbf{53}$

Indice	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe n°	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Pessimo
Coesione (KPa) Kg/cm²	> 400 > 3.0	300 - 400 2.0 - 3.0	200 - 300 1.5 - 2.0	200 - 100 1.0 - 1.5	< 100 < 1.0
Angolo di attrito	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Il parametro $RMR_{corretto}$ consente di entrare nella classificazione di Bieniawski classificando l'ammasso roccioso in questione come discreto, Classe III.
Noto L'RMR, Bieniawski ha fornito due relazioni dalle quali è possibile ricavare i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso (coesione, angolo di attrito).
Considerando che essi rappresentano caratteristiche intrinseche dell'ammasso stesso indipendenti quindi da condizioni giaciturali (orientazione ed immersione) se ne deduce che la determinazione di tali parametri va fatta utilizzando l'indice RMRbase:

- **Coesione**	$C = 5 \bullet RMR_{base}$ (KPa)
- **Angolo di attrito**	$\varphi = 5 + RMR_{base} / 2$

Le caratteristiche geomeccaniche, utilizzando anche i parametri a disposizione nella bibliografia dell'ammasso roccioso in esame, possono essere quindi così sintetizzate:

VALORI MEDI DEI PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso dell'unità di volume γs = 2.4 t/m3

Coesione residua $\mathbf{C}_r$ = 0,25 MPa

Angolo di resistenza al taglio residua φr = 40°

VALORI MINIMI DEI PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso dell'unità di volume γs = 2.2 t/m3

Coesione residua $\mathbf{C}_r$ = 0,15 MPa

Angolo di resistenza al taglio residua Φr = 38°

6. CLASSIFICAZIONE SISMICA A LIVELLO COMUNALE

In base alla Delibera della Giunta Regionale n°1362 del 19/11/2010 (In ottemperanza ai disposti del DM 14.01.2010 Norme Tecniche per le Costruzioni. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria) **il Comune di Pontinvrea rientra nella zona sismica 4,** che prevede accelerazioni di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0.05g (ovvero rientrante in una fascia di accelerazione stimata con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni).

Con il D.M. 14/01/2008 l'azione sismica di riferimento viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più con criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione. Dalle prove sismiche eseguite in sito si conferma che la categoria di sottosuolo presente è la seguente:

A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

Tab. 3.2.II – Stralcio Categorie di sottosuolo (da N.T.C.).

Nella determinazione dello spettro di risposta elastico, le N.T.C. 2008 in accordo con l'Eurocodice 8 prevedono l'adozione di un coefficiente S, detto di *stratigrafia del suolo di fondazione,* dato dal prodotto:

$$S = Ss \times St$$

dove Ss è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, funzione delle categoria di sottosuolo sopra discriminata, e St è il coefficiente di amplificazione topografica funzione dell'ubicazione del sito. Il coefficiente S consente di stimare gli effetti di amplificazione del sisma di progetto rispetto alle accelerazioni imposte dalla normativa che sono riferite al substrato roccioso rigido.
Nello specifico per le zone di categoria "A" si ha:

- Ss pari a 1
- St, categoria topografica del sito di intervento è invece riferita all'inclinazione media del pendio ed la rapporto tra la larghezza in cresta e la larghezza alla base del rilievo. Nello specifico la zona in esame è in categoria T3, cui corrisponde un St pari 1,20.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Nel D.M. 14/01/08 lo spettro di risposta elastico dell'accelerazione ag proposto, individua l'accelerazione di picco nel basamento roccioso per la componente orizzontale del moto ed è funzione oltre che del coefficiente S e del parametro F_0 anche del parametro T_c, che rappresenta il periodo di oscillazione all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico, ed è dato da:

$T_c = C_c \times T_c^*$ dove T_c^* è un parametro ricavabile dall'allegato B del DM 14/01/2008, mentre C_c per terreni di categoria A è pari a 1. I parametri suddetti vanno ricavati in funzione del tempo di ritorno (T_r) definito a sua volta dalla vita di riferimento dell'opera (V_r) e dalla probabilità di superamento della stessa (Pvr) legata allo stato limite di calcolo adottato.

Nel caso specifico le opere in progetto sono assimilabili a tipo di costruzione di Classe II, cui corrisponde un coefficiente di classe d'uso Cu pari a 1. Individuato il sito ed interpolando i quattro punti più vicini della maglia di riferimento definita dall'O.P.C.M. 3519/2006con centro identificato alla Lat. 44,424772025130 e Long. 8,4352154935635 (coordinate geologiche elissoide ED50), si ottiene, per una verifica allo SLV, un valore A_{go} (accelerazione massima orizzontale) stimabile dalla seguente relazione: $Ago = S_s S_t a_g$ dove a_g (l'accelerazione sismica orizzontale al bedrock, che nel sito in studio, pari a 0,052g.

7 . CONSIDERAZIONI TECNICHE

Il progetto prevede l'adeguamento della viabilita'esistente con allargamento dell'attuale sede stradale per il raggiungimento, con mezzi idonei, della zona di imposta degli aerogeneratori e relative piazzole di manovra.

Alla luce degli elaborati di progetto si può osservare come, le problematiche geologico tecniche di maggiore interesse sono collegate al fatto che l'intero tracciato si sviluppa lungo il versante, imponendo la messa in opera di una serie di sbancamenti e di riporti, che localmente comportano modeste movimentazioni di materiale ed in altri casi scavi più impegnativi.

Le altre opere di "impatto geotecnico" elevato che il progetto prevede sono le fondazioni dei due aerogeneratori e le relative piazzole di manovra.

In generale comunque le particolarità geologiche, geomorfologiche nonché geotecniche/geomeccaniche del sottosuolo, emerse nell'ambito dell'indagine non evidenziano nel complesso situazioni limite tali da rendere contrario l'intervento in questione.

Dovranno tuttavia essere rispettati precisi standard progettuali che tengano conto della specificità del territorio in relazione all'entità dell'intervento.

Le principali problematiche che la presente stesura va ad affrontare riguardano le modalità di scavo dell'ammasso roccioso, la stabilità dei fronti di scavo, l'abbancamento dei riporti relativi ai tratti in rilevato, le modalità esecutive delle fondazioni delle opere di sostegno dei riporti sopraccitati e le opere di drenaggio e regimazione delle acque.

L'adeguamento della sede stradale comporta la realizzazione di una serie di sbancamenti che, visto l'andamento stratigrafico, andranno ad interessare prevalentemente le coltri detritiche superficiali, in alcuni tratti fino quasi a metà percorso ed il regolite del substrato roccioso, nel tratto terminale.

L'esecuzione degli scavi si presenterà quindi sostanzialmente priva di difficoltà nell'avanzamento, salvo la possibile intersezione di porzioni del bed-rock presso le zone con maggiori profondità di scavo. In tali situazioni, le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso rendono di fatto probabile l'uso del martello demolitore. Infatti nonostante una fratturazione diffusa in superficie nell'ammasso, il litotipo presenta una discreta resistenza allo scavo, specie se l'assetto strutturale risulta non favorevole rispetto alla sezione di scavo.

7.1 Adeguamento strada esistente

La morfologia del tratto di interesse è caratterizzata da pendii discretamente acclivi privi di indizi morfologici da ricondurre a instabilità generale, impostati in prevalenza nell'ambito del substrato roccioso subaffiorante e della copertura detritica eluviale.
Per permettere l'accesso ai aerogeneratori è previsto l'allargamento della strada esistente che, dalla viabilità principale, sale fino a giungere al crinale per poi svilupparsi lungo lo stesso fino a raggiungere tutte le postazioni in progetto.
In considerazione degli elevati carichi in transito lungo la strada esistente in fase di stesura del progetto esecutivo è necessario eseguire prove geotecniche in sito per verificare la portata effettiva della strada stessa.

7.1.1 Stabilità dei fronti di scavo

Sulla base degli elaborati di progetto gli sbancamenti sulla viabilità vanno ad interessare nella maggioranza le coltri detritiche ma sussistono anche fronti che interessano parzialmente il substrato roccioso.
Le altezze dei fronti di scavo e la loro disposizione geometrica variano chiaramente in funzione dell'andamento planimetrico del tracciato stradale. Di seguito si esplicano le problematiche relative alle singole tipologie di terreno interessato dagli scavi.

<u>Fronti di scavo prevalentemente in coltre</u>

Si esegue una preliminare e speditiva verifica dell'altezza critica di scavo, tenendo in considerazione i dati geotecnici del materiale presente e le sezioni a progetto.
Si ipotizza pertanto un modello di calcolo idoneo a definire la stabilità dei fronti di scavo attraverso un meccanismo per cui, sul lato retrostante lo sbancamento, il terreno si verrà a trovare in uno stato in cui la tensione orizzontale diminuisce fino ad un valore minimo che genera un piano inclinato $45°+\phi/2$ passante per il piede del taglio e che rappresenta la superficie su cui può generarsi un "cuneo" di scivolamento superata un'altezza massima critica. Questa può essere definita l'altezza massima che il fronte può avere prima che lo stato tensionale sia diminuito dalla formazione delle fratture di tensione.
La determinazione dell'altezza critica discrimina il passaggio tra lo stato tensionale instabile e quello al limite della stabilità (per cui l'altezza del fronte deve essere minore di H_c). E' anche noto dall'osservazione di molti casi di instabilità che alla

formazione delle fessure di trazione si determinano approssimativamente superfici di scorrimento ad andamento circolare per cui i valori di H_c in effetti si riducono notevolmente.

Si ritiene che lo schema descritto rappresenti un modello coerente per l'analisi di stabilità del pendio considerato in relazione all'apertura dei fronti di scavo in questione.

Considerando i seguenti parametri geotecnici e geometrici:

caratteristiche geotecniche

scavo in coltre

angolo attrito interno minimo φ = 28°

coesione minima C = 0,5 t/mq

peso volume γ= 1,9 t/mc

caratteristiche geometriche:

angolo di scarpa ß = 45°

altezza massima stimata a progetto del fronte $H_{max\ scavo}$ = 1,50 mt

e considerando le formule per il calcolo dell'altezza critica per una superficie di rottura piana e circolare passante al piede dello sbancamento:

$\mathbf{H_c = (4*C/\gamma) * tg(45+\phi/2)}$ superficie piana

$\mathbf{H_c = (2{,}67*C/\gamma) * tg(45+\phi/2)}$ superficie circolare

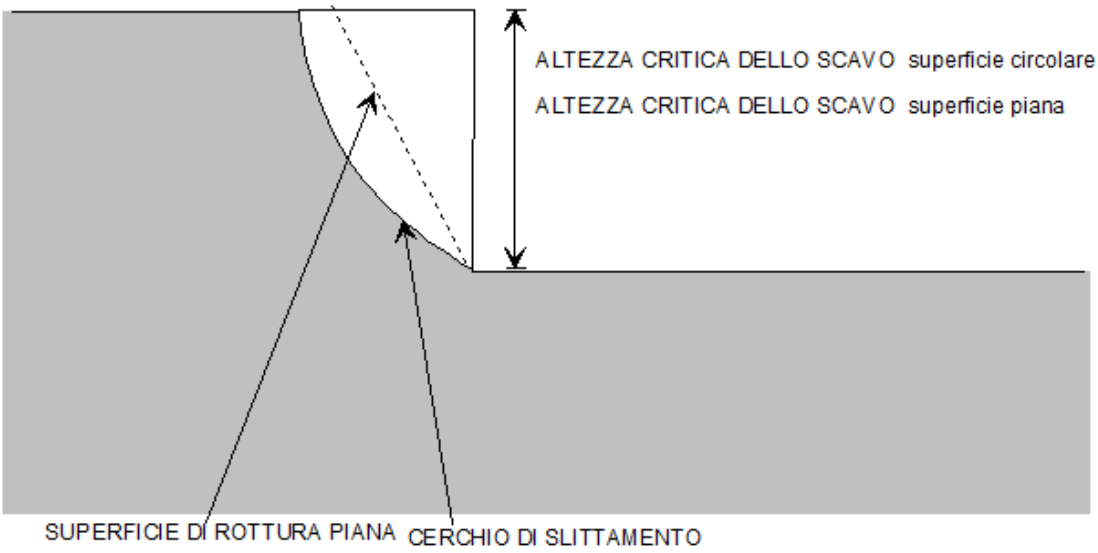
Si ottiene:

H_c = 1,74 m - *superficie piana*

H_c = 2,21 m - *superficie circolare*

da cui $H_{max\text{-}scavo} < H_c$

Figura 1- SCHEMA STABILITA'



Considerando che il valore critico di Hc risulta essere di poco superiore all'altezza del fronte da raggiungersi in fase di sbancamento, si ritiene che il fronte stesso possa essere considerato in condizioni di sufficiente stabilità (tenendo conto di un coefficiente di sicurezza comunque non inferiore ad 1,3) solo a condizione che vengano adottate nelle fasi esecutive una serie di indicazioni e schemi progettuali, finalizzate ad aumentare e supportare la stabilità dei fronti di scavo mediante l'adozione di particolari tecniche di scavo tese a diminuire gli sviluppi orizzontali dei singoli fronti ed a limitarne gli aggetti verticali.

Le tecniche di scavo ritenute maggiormente appropriate sono di seguito riportate:

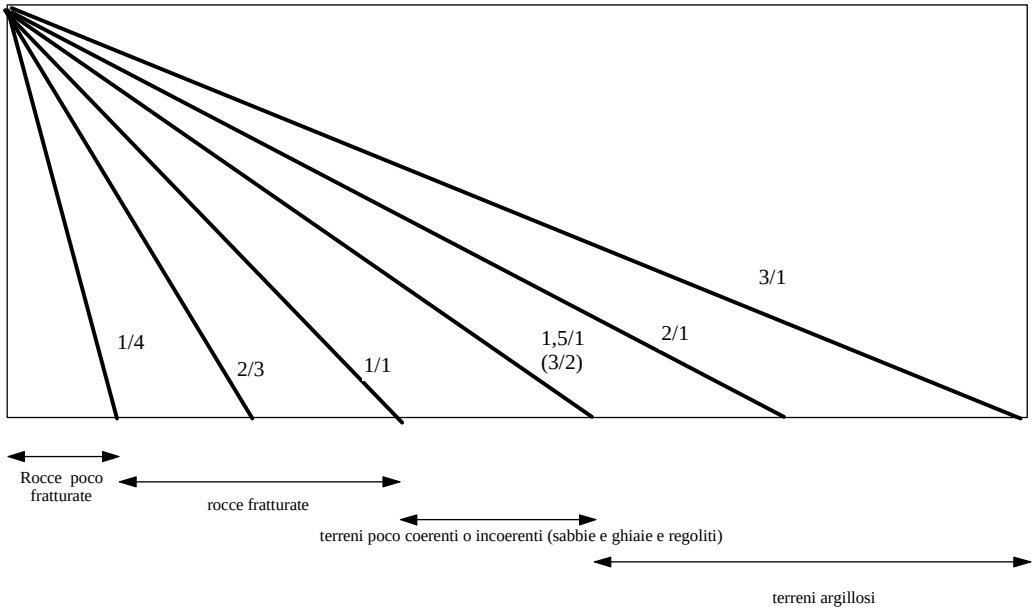
- La realizzazione dello sbancamento dovrà avvenire procedendo secondo lo schema a campioni orizzontali, onde ridurre la superficie "libera";
- il dimensionamento dei campioni in senso longitudinale andrà valutato in fase esecutiva, ma in prima approssimazione può essere previsto per tranches di circa 3 – 5 m da eseguirsi sotto il diretto controllo del D.L.;
- Al fine di ridurre gli aggetti verticali, le pareti dei singoli fronti di scavo andranno sagomate con angolo di scarpata non superiore a 45°;
- in caso di previsioni di forti piogge o di procedure di allarme ai fini di protezione civile non si dovranno eseguire scavi: si dovranno invece mettere in atto

tutte le cautele per evitare qualunque fenomeno di dilavamento e/o fenomeno erosivo sugli scavi aperti.

Fronti di scavo prevalentemente in roccia

Per quanto riguarda i fronti di scavo nelle sezioni in roccia la pendenza da assegnarsi ai singoli fronti si può ragionevolmente indicare con un valore pari o inferiore ad 2/3 ovvero 60° - 70°.

Tali valori di pendenza assicurano nel loro contesto specifico un sufficiente grado di stabilità delle scarpate e trovano giustificazione nell'usuale pratica professionale per geometrie e terreni similari e nella bibliografia corrente.



Inclinazioni di sicurezza per fronti di scavo di alcuni tipi di rocce e terreni
(Nicotera - Geologia Tecnica ISEDI 1975)

Metodologie di abbancamento dei riporti

Il terreno di riporto che verrà posto in opera come base d'appoggio della sede stradale e presso le scarpate laterali dovrà sottostare ad alcune precise regole qualitative e dovrà essere abbancato adottando una adeguata metodologia.

Si può certamente utilizzare il materiale di scavo in posto, per la realizzazione degli abbancamenti, così come all'occorrenza il substrato roccioso opportunamente frantumato.

Si riporta di seguito la metodologia per la messa in opera dei terreni:

- i materiali dovranno essere opportunamente selezionati secondo le caratteristiche granulometriche prevalenti in modo, all'occorrenza, da utilizzare i materiali più granulari e resistenti e quindi con migliori caratteristiche geomeccaniche laddove essi siano più necessari (ad esempio al piede del rilevato, a contatto con il fondo naturale) al fine da aumentare la stabilità complessiva e favorire il drenaggio naturale.
- i blocchi provenienti dagli scavi in roccia dovranno essere possibilmente frantumati con dimensioni finali intorno ai 200-300mm e percentuali in peso massime intorno al 30% - 40% dell'inerte utilizzato.
- Il costipamento dovrà essere eseguito con mezzi meccanici idonei.
- Per quanto attiene alla base fondale dei tratti in rilevato si dovrà provvedere allo scoticamento del terreno vegetale e quindi la base fondale sarà costituita prevalentemente da terreni ad elevato scheletro litico pseudo-cementati ed a buona capacità portante o direttamente dal substrato lapideo.
- Per quanto attiene alla sistemazione dei tratti in rilevato il valore da assegnare alle scarpate sarà di 3/2 ampiamente accettato nella pratica progettuale stradale e conforme alle prescrizioni tecniche delle norme C.N.R U.N.I 10.005.
- Verrà valutato in sede di progetto esecutivo la protezione delle scarpate mediante l'adozione di tecniche di ingegneria naturalistica (palificate semplici e viminate) al fine di impedire l'erosione superficiale del materiale abbancato.

7.2 Fondazioni aerogeneratori

In via preliminare e del tutto non esaustiva, si procede ad una valutazione preliminare del carico di rottura dell'ammasso roccioso in caso di fondazioni appoggiate in roccia, si può utilizzare la relazione con la resistenza a compressione monoassiale della roccia formulata dall'*Uniform Building Code:*

$q_r = 0.2 \times C_o$

In riferimento a dati e prove effettuate in sito sul substrato presente e considerando cautelativamente condizioni sfavorevoli e cioè fondazioni appoggiate su ammasso roccioso molto fratturato, il valore della resistenza alla compressione semplice della

roccia può essere cautelativamente assunto pari a valori più bassi emersi dalle prove sclerometriche effettuate sugli affioramenti rocciosi e cioè pari a 37Mpa.
In maniera cautelativa dalle analisi di superficie e anche sulla base dell'esperienza su questa formazione geologica si può assumere per i livelli più superficiali un RQD pari al 45% e di conseguenza ridurre in proporzione il valore di C_o (coesione). A tale valore può essere applicato un coefficiente parziale γ_{qu} = 1.6 (così come previsto nelle NTC paragrafo 6.2.3.1.2) per ottenere il valore di progetto, da cui si ottiene il seguente valore di capacità portante dell'ammasso roccioso largamente cautelativo:
q_r = 0.2×37×0.45/1.6= 2.08Mpa = 21.2 Kg/cmq.

Data appunto la presenza di substrato roccioso alla quota di fondazione degli aerogeneratori, unita alla consapevolezza che il carico di esercizio prevedibile sul piano di appoggio sarà rappresentato dal peso totale della pala (turbina+palo+eliche), è più che ragionevole prevedere che gli effetti elastici o edometrici per le fondazioni dalle azioni di progetto siano nulli sia nel breve che nel lungo periodo.
Nel caso venisse realizzata una fondazione di tipo superficiale, essa consisterà in una platea in c.a. di notevoli dimensioni, sia in termini planimetrici che di spessore, necessaria per permettere alla struttura di assorbire, senza cedimenti, i momenti indotti sull'aerogeneratore dalla forza del vento.
Nel caso invece venissero realizzate fondazioni di tipo profondo, le dimensioni della platea di fondazione si ridurrebbero sensibilmente in quanto gli sforzi indotti sul piano di fondazione verrebbero in gran parte assorbiti dai pali.
In sede di progetto esecutivo, implementando l'indagine con la realizzazione di sondaggi geognostici, potrà essere valutata, in relazione alle condizioni del substrato, la migliore soluzione fondazionale ed il suo dimensionamento.

7.2.1 Piano di indagini finalizzato alla definizione delle opere fondazionali

Dallo studio svolto ai fini della presente, basato su sopralluoghi, analisi della cartografia tecnica disponibile e dall'esecuzione di prove in sito, è risultata evidente la presenza del substrato roccioso in affioramento, nella zona di imposta degli aerogeneratori e delle piazzole di servizio; l'area si caratterizza quindi per la presenza diffusa di affioramenti che denotano un substrato roccioso massivo e disarticolato

solo in superficie. In funzione di tale contesto geologico ed alle finalità da perseguire in questo studio si ritiene pertanto che dovranno essere svolte, a compendio della presente ed al fine di redigere una relazione geologica approfondita ai sensi delle vigenti normative, con particolare riferimento al DM del 14/1/2008 (NTC 2008), indagini più approfondite, da definire anche con il progettista strutturale. Quindi preliminarmente alla redazione del progetto esecutivo sarà comunque opportuno integrare le indagini di massima sin qui svolte con una campagna di sondaggi geognostici che permettano una caratterizzazione in profondità dell'ammasso e una precisa valutazione dei parametri geomeccanici desumibili da ulteriori prove in sito o analisi di laboratorio.

In sede di progettazione esecutiva si suggerisce quindi di :

- effettuare uno o più sondaggi geognostici a rotazione con recupero di materiale, con prelievo continuo di campione, in corrispondenza di ognuno degli areogeneratori;
- prelevare, nel corso del sondaggio, spezzoni di carota da conferire ad un laboratorio rocce;
- ove non fosse possibile prelevare spezzoni di carota in ragione delle cattive condizioni dell'ammasso, realizzare prove geomeccaniche in foro di sondaggio;
- realizzare in laboratorio prove che permettano di determinare l'inviluppo di rottura dell'ammasso roccioso e le caratteristiche di resistenza al taglio dei giunti di frattura che lo interessano, nonché prove di compressibilità con misurazione delle deformazioni assiali e diametrali.

7.3 Opere di regimazione a carico della sede stradale

La strada dovrà essere dotata di un' efficiente sistema di regimazione delle acque meteoriche ruscellanti con un sistema articolato di cunette superficiali (raccolta e smaltimento) in relazione allo sviluppo plani-altimetrico del tracciato ed al particolare ambiente idro-geomorfologico di versante.

La cunetta potrà essere realizzata in terra e a monte del tracciato, lungo tutto lo sviluppo del tracciato.

I deflussi ivi raccolti saranno recapitati nelle linee di impluvio naturali presenti lungo il tracciato: in via provvisionale andranno previsti dei tagli trasversali alla sede

stradale in numero sufficiente da garantire un rallentamento al deflusso delle acque di precipitazione.

8. GESTIONE DEL MATERIALE SCAVATO

Il materiale di risulta, ovvero la terra e la roccia da scavo prodotta con gli sbancamenti sopra esaminati, potranno essere stoccati e depositati temporaneamente entro l'area di cantiere, in attesa di un loro riutilizzo integrale, sempre all'interno dell'area di progetto, ai sensi della principale normativa di riferimento ambientale di controllo costituita dal T.U. Ambiente D.Lgs. 152/06, D.L. 69/2013 convertito in legge 9/08/2013 n°98, D.Lgs n°4/2008 e dalla DGR Liguria n° 1423 del 15/11/2013 (**Aggiornamento degli indirizzi operativi per la gestione delle terre e rocce di scavo del D.M. n. 161/2012 e del D.L. 69/2013 convertito in L. 9.8.2013 n. 98).**

Nello specifico, la terra e la roccia del sito in studio, in ragione dell'ubicazione e dell'assenza di indicatori superficiali diretti e/o indiretti ad elevato rischio, è da considerarsi terreno naturale e può essere riutilizzato nello stesso sito.

Prima della fase esecutiva si procederà alla certificazione ambientale che attesti la qualità dei materiali di scavo mediante adeguata indagine ambientale.

9. ANALISI AMBIENTALE "PIETRE VERDI"

A seguito di una verifica puntuale eseguita sulla cartografia della Regione Liguria inerente la "Mappatura degli ambiti interessati dalle "Pietre Verdi" della D.G.R. n. 1776/2008 *"Integrazione alla DGR n. 859/2008 – Allegato 3 relativo alla mappatura delle Pietre verdi"*, risulta che gli interventi in progetto, ricadono in area perimetrata appunto a "Pietre verdi".

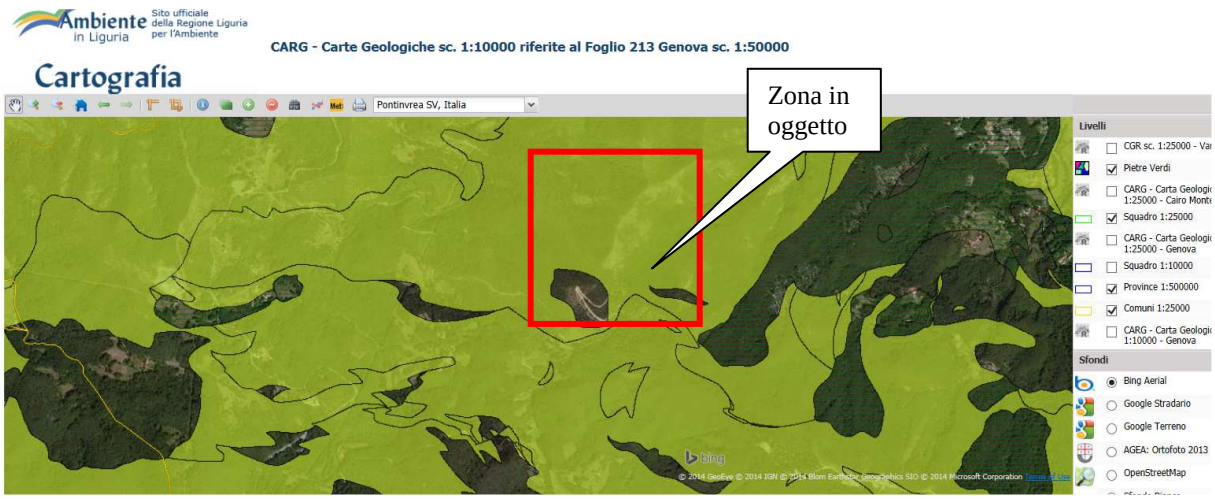


Fig. 7: Stralcio cartografia della mappatura delle pietre verdi

Occorre premettere che la cartografia elaborata per la perimetrazione degli ambiti interessati da substrato riconducibile alle Pietre verdi, "…*riporta come informazione di base gli areali in cui, in relazione alle rocce riconosciute in affioramento o subaffioramento, potrebbero rinvenirsi mineralizzazioni asbestiformi, essa però non indica se l'amianto è presente o meno in una determinata area. La determinazione dell'effettiva presenza o assenza dei minerali classificati come amianto può essere infatti effettuata solo attraverso un rilievo di dettaglio in sito…. [cfr. D.G.R. 1776/2008]".* Quindi in sintesi la cartografia segnala gli areali a probabile o eventuale presenza di mineralizzazioni amiantifere all'interno dei quali sono necessari ulteriori approfondimenti geologici per la caratterizzazione specifica in sede locale.

Inoltre la metodologia seguita per la definizione di tale cartografia tematica, di cui alla D.G.R. 1776/2008 è stata quella di utilizzare i rilevamenti geologici ad oggi disponibili con particolare riferimento ai rilievi informatizzati che costituiscono la banca dati cartografica (scala 1:25.000) del Progetto di Cartografia geologica

Nazionale "CARG" (derivati da rilevamenti acquisiti a scala 1:10.000), nonché ai rilevamenti condotti nell'ambito del Progetto di cartografia geologica regionale con elementi di geomorfologia CGR.
In ottemperanza ai riferimenti legislativi D.G.R 1776/2008 Regione Liguria e D.M. 14/05/1996, il presente paragrafo è stato articolato in una serie di valutazioni tematiche, relative agli aspetti geologici, geomeccanici e morfologici del territorio in esame, ed è stato eseguito un prelievo di campioni rocciosi per le analisi di laboratorio per la valutazione dell'eventuale presenza di mineralizzioni amiantifere.

Dal punto di vista genetico tutti i minerali potenzialmente amiantiferi cristallizzano con morfologie fibrose solo in determinate condizioni termobariche. In linea di principio queste condizioni sono tipiche del grado metamorfico medio-basso e sono legate a un'importante circolazione di fluidi (Ross 1981; Schreirer 1989). Gli aggregati di minerali amiantiferi sono in genere distribuiti all'interno di un ammasso roccioso in modo eterogeneo e sono solitamente associati e circoscritti a vene e fratture mineralizzate o a zone di taglio fragile-duttile (Perello & Venturini, 2005).
Da un punto di vista litologico solo alcune rocce possono sviluppare e ospitare minerali amiantiferi, mentre altre litologie risultano da questo punto di vista completamente "sterili". Le rocce potenzialmente amiantifere sono costituite principalmente da litotipi basici e ultrabasici sia di origine ignea che metamorfica. Le rocce di origine ignea sono costituite da basalti, andesiti, gabbri, ofioliti e peridotiti. I litotipi metamorfici principali, genericamente definiti come "*pietre verdi*", sono riconducibili alle famiglie litologiche elencate nella tabella 2 tratta dal D.M. 14/05/96.

Tab. 2 – Classificazione delle rocce appartenenti alla famiglia delle "pietre verdi" secondo il D.M. 14/5/96.
Classification of "green stones" family rocks according to the D.M. 14/05/1996.

Classificazione delle cosidette "Pietre verdi" in funzione del loro contenuto di amianto	
Litotipo	**Minerali principali**
"serpentiniti" s.l.	antigorite, ***crisotilo***, olivina, orto- e clinopirosseni, anfibolo, ***tremolite***, talco, dolomite, granato, spinelli cromite e magnetite
prasiniti	feldspato albite, epidoti, anfiboli, ***tremolite-actinolite***, glaucofane, ***crocidolite***, clinopirosseni e mica bianca
eclogiti	pirosseno monoclino, granato, rutilo, anfibolo, glaucofane, ***crocidolite***
anfiboliti	orneblenda, plagioclasio, zoisite, clorite, ***antofillite***-gedrite
Scisti actinolitici	***actinolite***, talco, clorite, epidoto, olivina
scisti cloritici, talcosi e serpentinosi	talco, clorite, dolomite, ***tremolite***, ***actinolite***, serpentino, ***crisotilo***, rutilo, titanite, granato
oficalciti	talco, antigorite, ***crisotilo***, ***tremolite***, dolomite, calcite, olivina

Fig. 8: Classificazione rocce appartenenti alle pietre verdi: serpentiniti

Nel sito in esame siamo in presenza di rocce serpentinitiche e metagabbri, per cui litotipi potenzialmente con presenza di fibre asbestiformi.
La formazione e la liberazione di fibre di amianto costituiscono due processi geneticamente legati sia a fattori naturali che antropici. I fattori naturali sono riconducibili da un lato alla particolare cristallizzazione di minerali con abito fibroso e dall'altro alla loro disgregazione a seguito di processi di alterazione superficiale che determinano il rilascio di fibre libere.
I fattori antropici sono correlati essenzialmente all'azione meccanica esercitata sulla roccia. In questo contesto tutti gli interventi su ammassi rocciosi che producono una macinazione e una riduzione di granulometria dei costituenti mineralogici possono produrre e liberare fibre di amianto. Su quest'argomento esistono diversi studi scientifici che hanno analizzato le quantità di fibre rilasciate da diverse rocce, non necessariamente contenenti amianto, sottoposte a diversi tipi di stress meccanico. Alcuni studi (Rochat 2004; Turci 2005) hanno evidenziando come l'azione meccanica su rocce contenenti minerali solo potenzialmente amiantiferi (non fibrosi), possa liberare fibre respirabili di amianto in quantità elevate. Una situazione di questo tipo può essere riscontrata nell'ambito dello scavo di un tunnel durante l'attraversamento un ammasso roccioso potenzialmente amiantifero (es. prasiniti o anfiboliti).
In questo caso l'azione meccanica impressa sulla roccia durante le diverse fasi di avanzamento potrà influenzare il tasso di liberazione di fibre respirabili, indipendentemente dalla presenza e concentrazione naturale iniziale dell'amianto stesso.

A livello normativo quest'aspetto è parzialmente regolamentato dal D.M. 14/5/96. In questo decreto la quantificazione del numero di fibre d'amianto liberate in funzione dell'azione antropica è valutata tramite la determinazione del cosiddetto indice di rilascio di una roccia (I.R.), cioè la sua capacità di liberare fibre se sottoposta a stress meccanico (cfr. § 5.1 DM 14/5/96). L'Indice di Rilascio, rappresenta nella pratica il valore numerico oltre il quale il Legislatore sancisce se un coacervo di rocce "a pietre verdi" preso a campione può essere definito pericoloso. Il materiale viene definito non pericoloso quando tale indice è inferiore a 0,1. In pratica la ratio della norma prevede di ottenere una misura media del contenuto di fibre "liberabili" dal materiale; la determinazione dell'Indice di Rilascio è stata eseguita secondo quanto

disposto dal D.M. 14 Maggio 1996 - Allegato 4 a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.
Per la determinazione dell'indice di rilascio sono stati prelevati in sito 4 campioni C1-r, C2-r, C3-r, C4-r; l'ubicazione del prelievo è evidenziata nella TAV. 2 .
Dalle analisi eseguite sui campioni *la presenza di amianto risulta assente* e anche secondo l'indice di rilascio il materiale risulta non avere alcuna pericolosità.

(vedasi anche ALL.2 – Analisi CPG n.15LA10980 / n.15LA10981 / n.15LA10982 / n.15LA10983 del 20/07/2015).

10. CONCLUSIONI

Lo studio geologico eseguito ha preso in considerazione l'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dei luoghi interessati dal progetto ed è stato sviluppato quale elemento tecnico a corredo del progetto nell'ambito del procedimento autorizzativo per la realizzazione di un parco eolico nel Comune di Pontinvrea (Sv).
A livello areale (ovvero a scala del versante) non si sono rilevati indicatori significativi di tipo geomorfologico correlabili a fenomeni franosi in atto o pregressi interferenti con le aree di sedime interessate dalle opere a progetto.
L'indagine ha permesso di verificare come il substrato roccioso sia, in prossimità delle zone di imposta delle turbine proposte, costantemente affiorante, così come lungo la strada esistente di accesso alla zona di crinale di imposta degli aerogeneratori.
Le condizioni geologiche esistenti non evidenziano criticità che possano determinare condizioni ostative all'esecuzione delle opere previste.
Da un punto di vista geotecnico, gli elementi acquisiti durante lo studio, hanno garantito un preliminare supporto nella definizione delle scelte strutturali/fondazionali più opportune e proprie di questo livello di progettazione.
Durante la fase di progettazione esecutiva e, comunque prima dell'inizio dei lavori, si dovrà eseguire opportuna campagna geognostica, così come prefigurata, nella presente relazione.

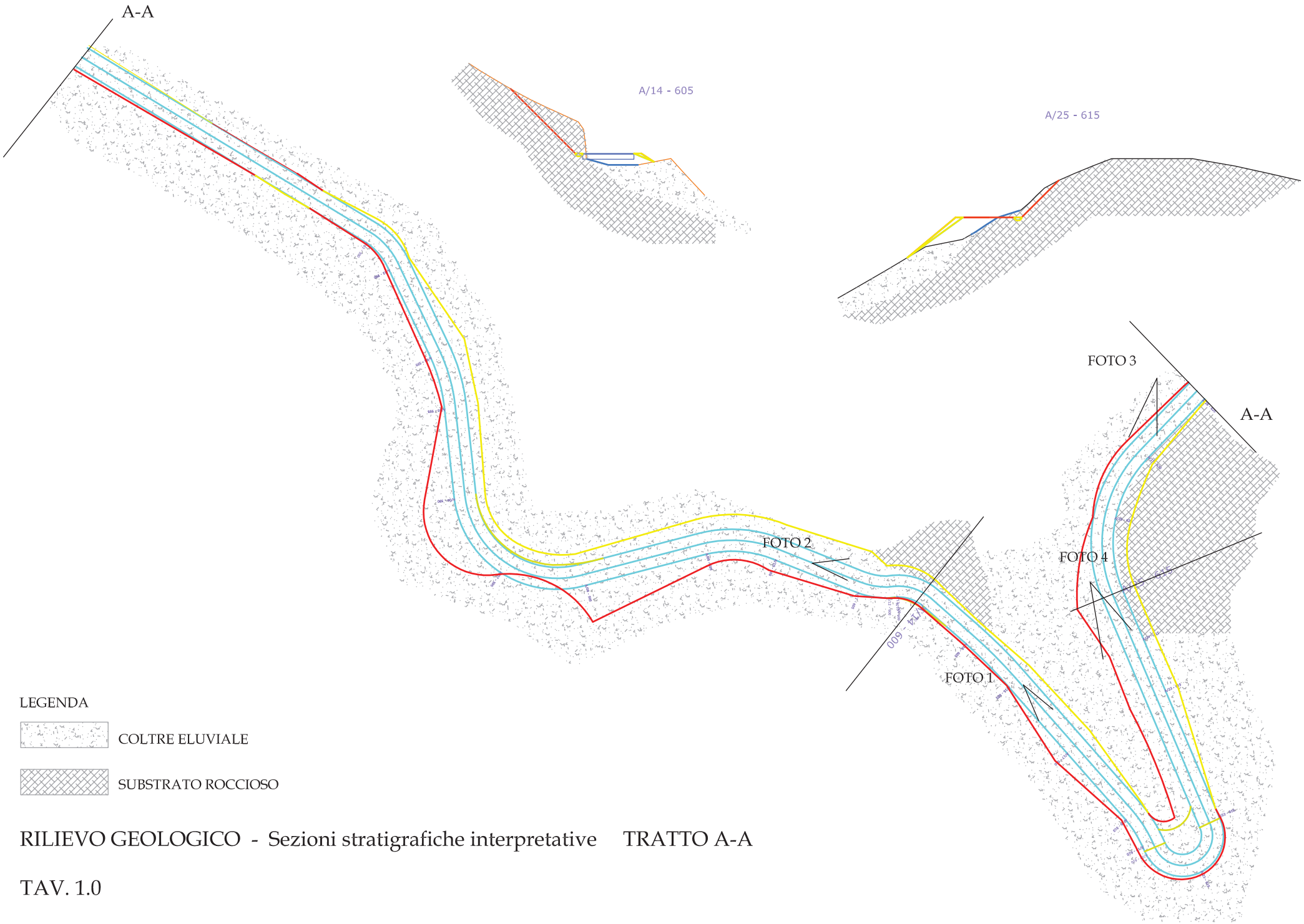
In particolare dovranno essere acquisiti elementi di dettaglio atti alla taratura del modello geologico-stratigrafico elaborato, alla definizione della parametrizzazione geotecnica esecutiva, ai sensi di quanto disposto dal D.M. 14.01.2008.

Gli interventi previsti risultano compatibili con le condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche riscontrate in situ e, se realizzati secondo le buone regole dell'arte, nel rispetto degli indirizzi generali sopra esposti, non determinano peggioramento delle condizioni di stabilità complessiva dell'area di intervento, né perturbano il regime delle acque.

Carcare,

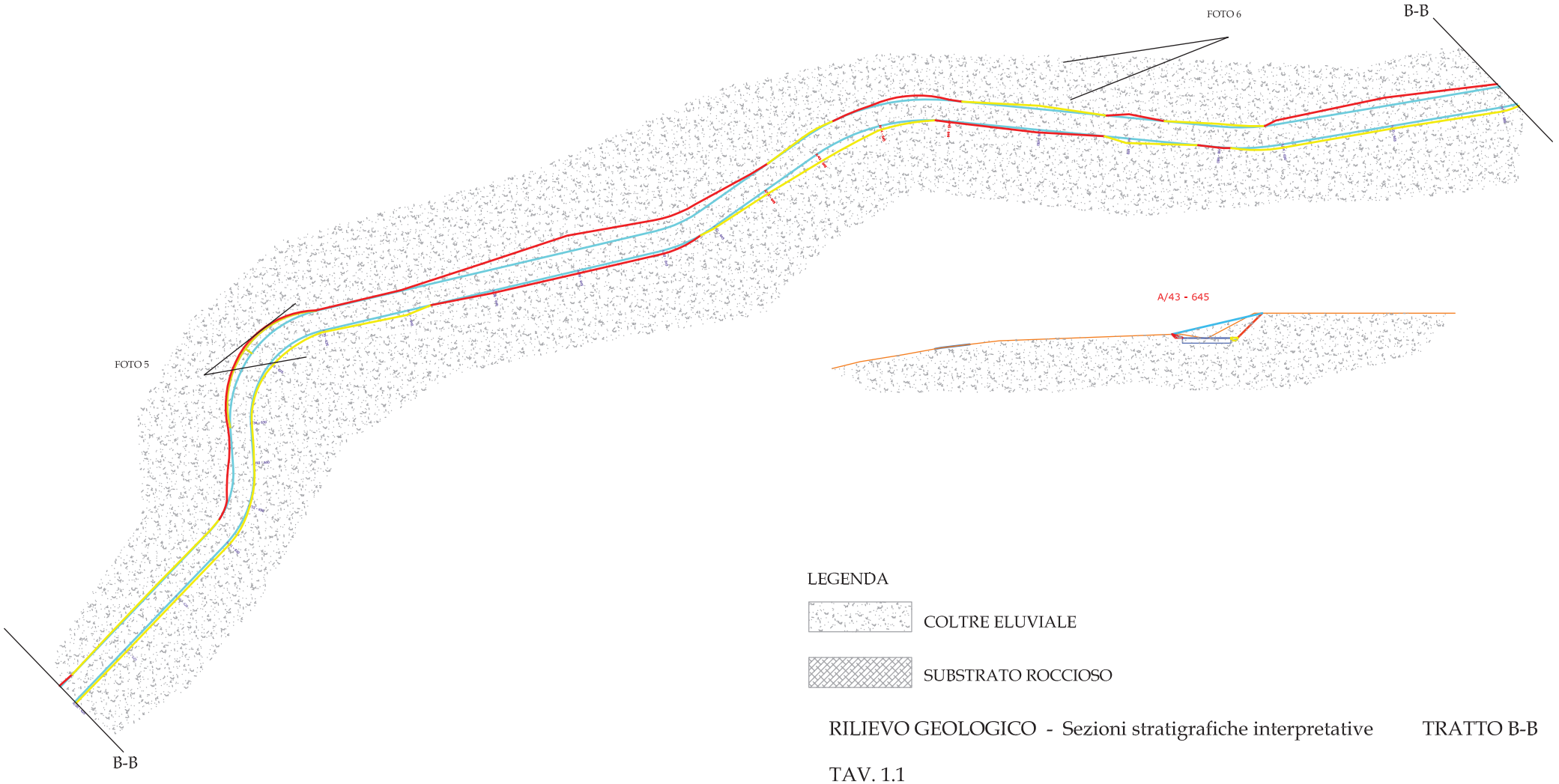
Paola Dott. Reverdito





RILIEVO GEOLOGICO - Sezioni stratigrafiche interpretative TRATTO A-A

TAV. 1.0



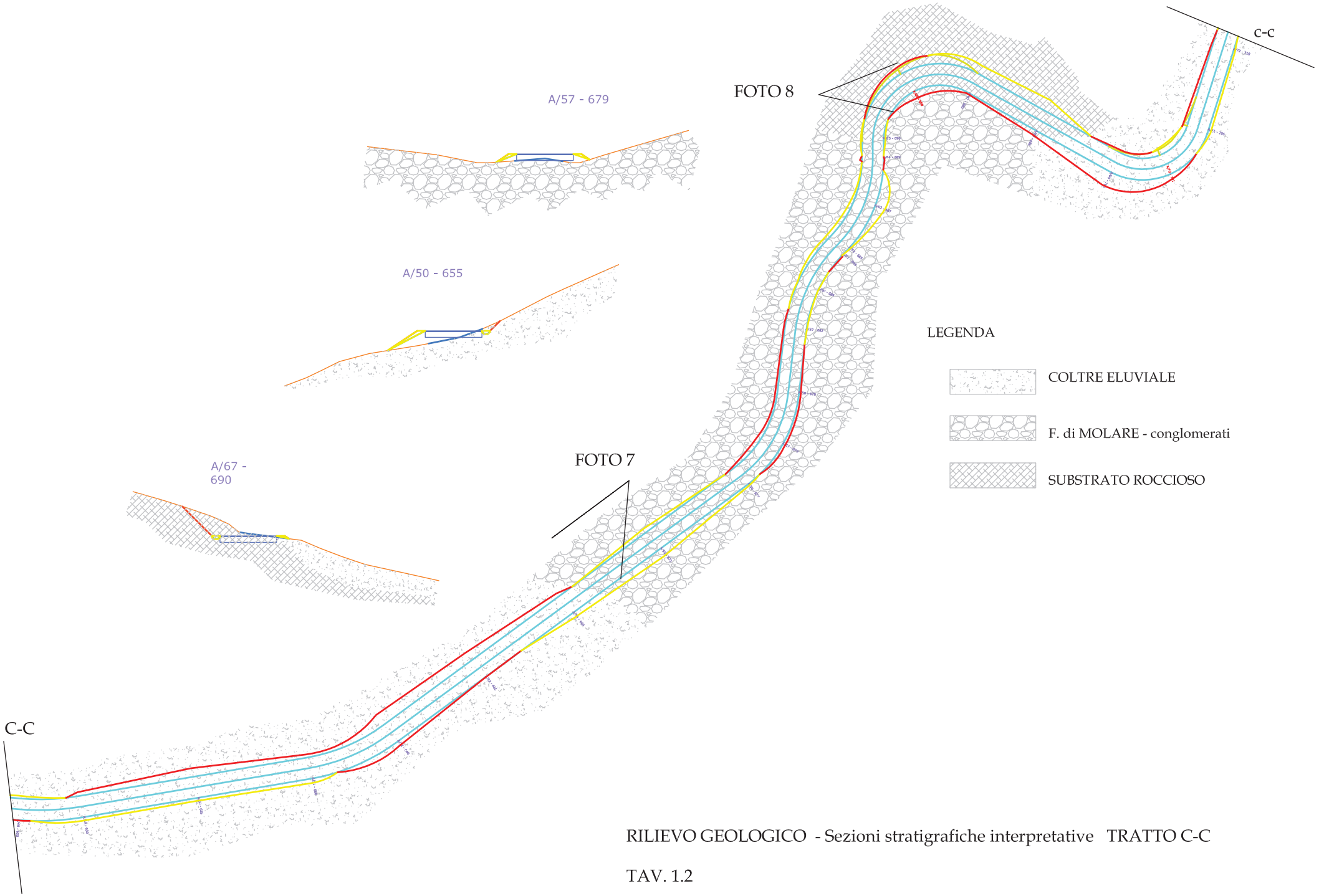
LEGENDA

COLTRE ELUVIALE

SUBSTRATO ROCCIOSO

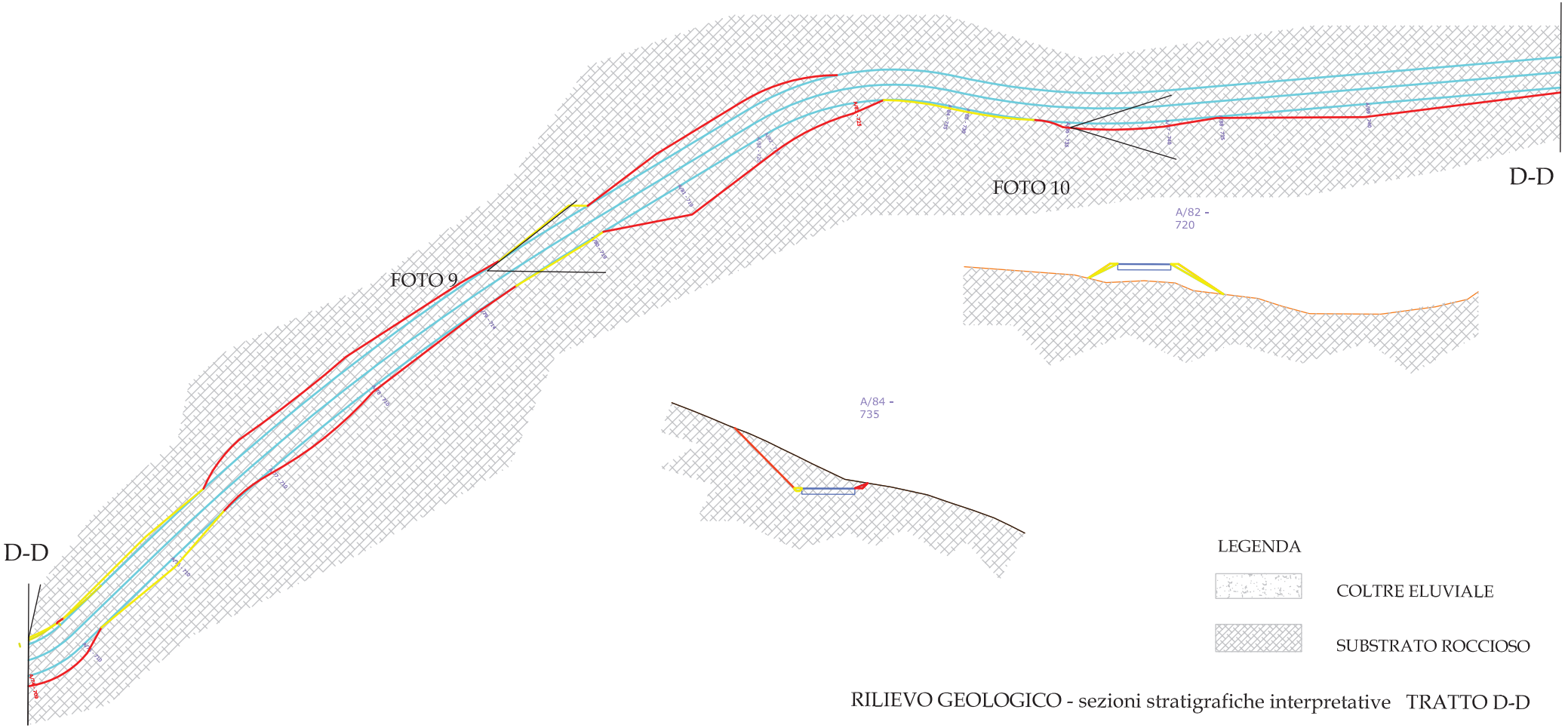
RILIEVO GEOLOGICO - Sezioni stratigrafiche interpretative TRATTO B-B

TAV. 1.1



RILIEVO GEOLOGICO - Sezioni stratigrafiche interpretative TRATTO C-C

TAV. 1.2



RILIEVO GEOLOGICO - sezioni stratigrafiche interpretative TRATTO D-D

TAV. 1.3



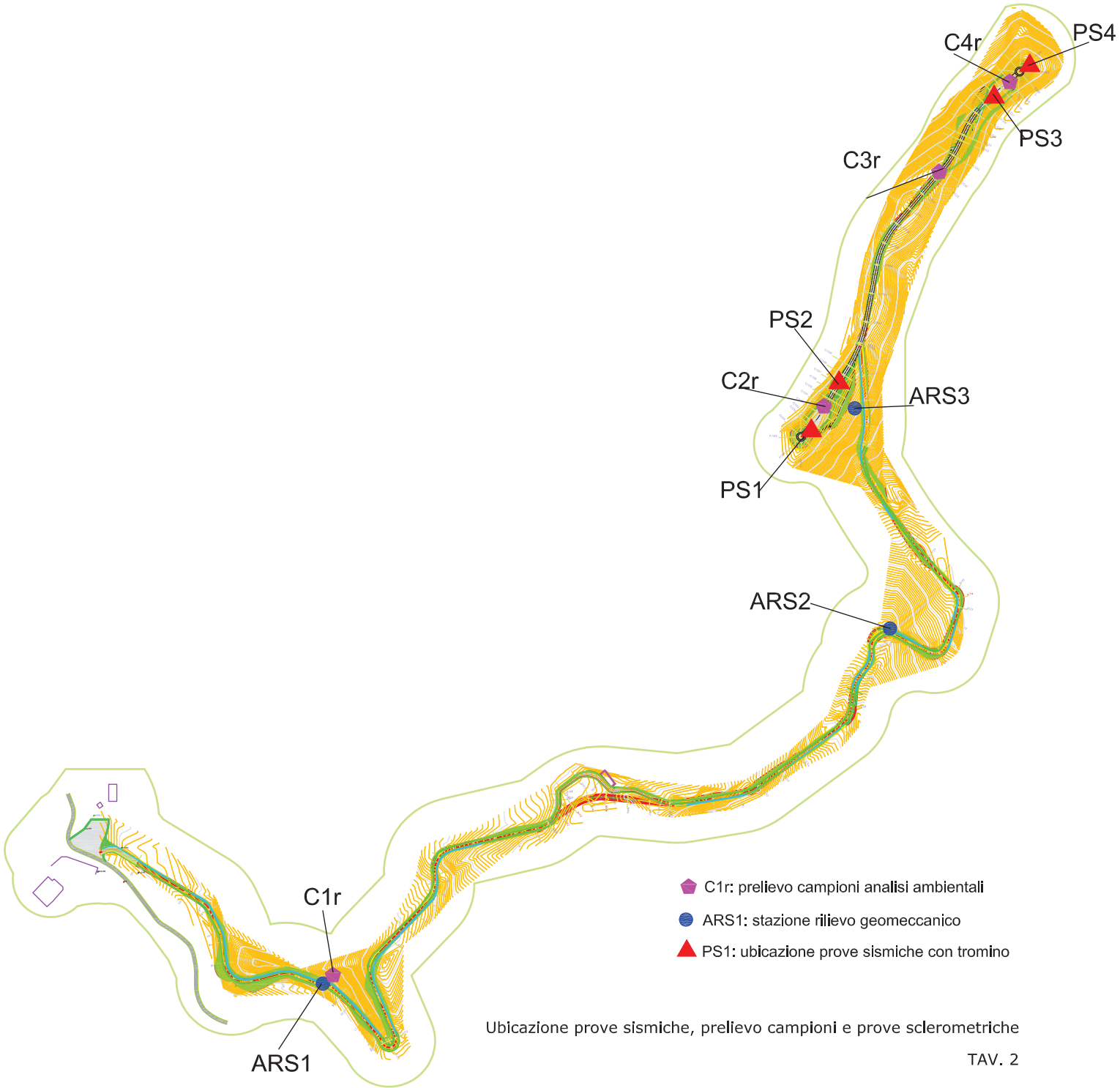
LEGENDA

COLTRE ELUVIALE

SUBSTRATO ROCCIOSO

RILIEVO GEOLOGICO - Sezioni stratigrafiche interpretative TRATTO E-E

TAV. 1.4



Ubicazione prove sismiche, prelievo campioni e prove sclerometriche

TAV. 2

DETERMINAZIONE PARAMETRI SISMICI - D.M. 14/01/08

latitudine: 44,4247720251301
longitudine: 8,4352154935635
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 16688	Lat: 44,4249 Lon: 8,3795	Distanza: 4422,135
Sito 2	ID: 16689	Lat: 44,4279 Lon: 8,4493	Distanza: 1174,855
Sito 3	ID: 16911	Lat: 44,3780 Lon: 8,4535	Distanza: 5399,151
Sito 4	ID: 16910	Lat: 44,3750 Lon: 8,3837	Distanza: 6878,580

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	A	
Categoria topografica:	T3	
Periodo di riferimento:	50anni	
Coefficiente cu:	1	
Operatività (SLO):		
Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	
[anni]		
ag:	0,019 g	
Fo:	2,582	
Tc*:	0,158	[s]
Danno (SLD):		
Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	
[anni]		
ag:	0,024 g	
Fo:	2,554	
Tc*:	0,186	[s]
Salvaguardia della vita (SLV):		
Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	
[anni]		
ag:	0,052 g	
Fo:	2,633	
Tc*:	0,303	[s]
Prevenzione dal collasso (SLC):		
Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	
[anni]		
ag:	0,063 g	
Fo:	2,748	
Tc*:	0,323	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:		
Ss:	1,000	
Cc:	1,000	
St:	1,200	
Kh:	0,004	
Kv:	0,002	
Amax:	0,220	
Beta:	0,200	
SLD:		
Ss:	1,000	
Cc:	1,000	
St:	1,200	
Kh:	0,006	
Kv:	0,003	
Amax:	0,283	
Beta:	0,200	
SLV:		
Ss:	1,000	
Cc:	1,000	
St:	1,200	
Kh:	0,013	
Kv:	0,006	
Amax:	0,615	
Beta:	0,200	
SLC:		
Ss:	1,000	
Cc:	1,000	
St:	1,200	
Kh:	0,015	
Kv:	0,008	
Amax:	0,746	
Beta:	0,200	

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru software - www.geostru.com
Coordinate WGS84
latitudine: 44.423805
longitudine: 8.434158

Rapporto di prova n°: **15LA10980 rev.00 del 20/07/2015**

Committente
Paola Reverdito
Via Garibaldi, 94/5
17043 Carcare SV

Dati del campione
Data accettazione: **10/07/2015**
Data inizio prove: **16/07/2015**
Data fine prove: **17/07/2015**
Descrizione: **C1-R**
Matrice: **Materiali solidi**

15LA10980

Dati di campionamento
Data: **09/07/2015**
Effettuato da: **Geol. Paola Reverdito**
Presso: **Pontinvrea (SV)**

Prova *Metodo*	**Unità di misura**	**Risultato**	**Data Inizio Data Fine**
amianto - indice di rilascio *DM 14/05/1996 GU SO n° 178 25/10/1996*		< 0,05	16/07/2015 17/07/2015

I risultati riportati nel presente rapporto di prova si riferiscono unicamente al campione effettivamente sottoposto a prova.
Il presente rapporto di prova può essere riprodotto solo integralmente. La riproduzione parziale può avvenire solo previa autorizzazione scritta.

Responsabile del Laboratorio Cairo M.tte

Dott.ssa Tiziana Giusto

Ordine dei chimici delle province di Genova - Savona - Imperia n°1011

Il presente rapporto di prova è firmato digitalmente.

---------- **Fine rapporto di prova** ----------

Rapporto di prova n°: **15LA10981 rev.00 del 20/07/2015**

Committente
Paola Reverdito
Via Garibaldi, 94/5
17043 Carcare SV

Dati del campione
Data accettazione: **10/07/2015**
Data inizio prove: **16/07/2015**
Data fine prove: **17/07/2015**
Descrizione: **C2-R**
Matrice: **Materiali solidi**

15LA10981

Dati di campionamento
Data: **09/07/2015**
Effettuato da: **Geol. Paola Reverdito**
Presso: **Pontinvrea (SV)**

Prova *Metodo*	**Unità di misura**	**Risultato**	**Data Inizio Data Fine**
amianto - indice di rilascio *DM 14/05/1996 GU SO n° 178 25/10/1996*		< 0,05	16/07/2015 17/07/2015

I risultati riportati nel presente rapporto di prova si riferiscono unicamente al campione effettivamente sottoposto a prova.
Il presente rapporto di prova può essere riprodotto solo integralmente. La riproduzione parziale può avvenire solo previa autorizzazione scritta.

Responsabile del Laboratorio Cairo M.tte

Dott.ssa Tiziana Giusto

Ordine dei chimici delle province di Genova - Savona - Imperia n°1011

Il presente rapporto di prova è firmato digitalmente.

---------- **Fine rapporto di prova** ----------

Rapporto di prova n°: **15LA10982 rev.00 del 20/07/2015**

Committente
Paola Reverdito
Via Garibaldi, 94/5
17043 Carcare SV

Dati del campione
Data accettazione: **10/07/2015**
Data inizio prove: **16/07/2015**
Data fine prove: **17/07/2015**
Descrizione: **C3-R**
Matrice: **Materiali solidi**

15LA10982

Dati di campionamento
Data: **09/07/2015**
Effettuato da: **Geol. Paola Reverdito**
Presso: **Pontinvrea (SV)**

Prova *Metodo*	**Unità di misura**	**Risultato**	**Data Inizio Data Fine**
amianto - indice di rilascio *DM 14/05/1996 GU SO n° 178 25/10/1996*		< 0,05	16/07/2015 17/07/2015

I risultati riportati nel presente rapporto di prova si riferiscono unicamente al campione effettivamente sottoposto a prova.
Il presente rapporto di prova può essere riprodotto solo integralmente. La riproduzione parziale può avvenire solo previa autorizzazione scritta.

Responsabile del Laboratorio Cairo M.tte

Dott.ssa Tiziana Giusto

Ordine dei chimici delle province di Genova - Savona - Imperia n°1011

Il presente rapporto di prova è firmato digitalmente.

---------- **Fine rapporto di prova** ----------

Rapporto di prova n°: **15LA10983 rev.00 del 20/07/2015**

Committente
Paola Reverdito
Via Garibaldi, 94/5
17043 Carcare SV

Dati del campione
Data accettazione: **10/07/2015**
Data inizio prove: **16/07/2015**
Data fine prove: **17/07/2015**
Descrizione: **C4-R**
Matrice: **Materiali solidi**

15LA10983

Dati di campionamento
Data: **09/07/2015**
Effettuato da: **Geol. Paola Reverdito**
Presso: **Pontinvrea (SV)**

Prova *Metodo*	**Unità di misura**	**Risultato**	**Data Inizio Data Fine**
amianto - indice di rilascio *DM 14/05/1996 GU SO n° 178 25/10/1996*		< 0,05	16/07/2015 17/07/2015

I risultati riportati nel presente rapporto di prova si riferiscono unicamente al campione effettivamente sottoposto a prova.
Il presente rapporto di prova può essere riprodotto solo integralmente. La riproduzione parziale può avvenire solo previa autorizzazione scritta.

Responsabile del Laboratorio Cairo M.tte

Dott.ssa Tiziana Giusto

Ordine dei chimici delle province di Genova - Savona - Imperia n°1011

Il presente rapporto di prova è firmato digitalmente.

---------- **Fine rapporto di prova** ----------



Foto 1: Campione C1r
Prelievo strada



Foto 2: Campione C2r
Prelievo zona di
imposta TORRE1

Certificati analisi ambientali sui campioni e documentazione fotografica
ALL. 2



Foto 3: Campione C3r
Prelievo zona di imposta piazzole crinale



Foto 4: Campione C4r
Prelievo zona di imposta TORRE 2