Firmato digitalmente da
cesare ferrero
CN = ferrero cesare
O = Ordine Regionale Geologi Liguria
C = IT

COMUNE DI BARDINETO

Provincia di Savona

PARCO EOLICO DA N. 2 AEROGENERATORI PER UN TOTALE DI 9 MW LOCALITA' "I GROPPI" - COMUNE DI BARDINETO (SV)



Committente : TERSIA GREEN POWER

Tersia srl
Società a Responsabilità Limitata
Codice Fiscale e P.IVA 01363860097
tel. 019.810580 - www.tersia.it
email: ***info@tersia.it*** **- pec:** ***tersia@legalmail.it***

Oggetto Elaborato :

INDAGINE GEOLOGICA

Relazione geologica

Tav./Rel. :	BA-GE-REL01
Rev. :	**00**
Scala :	
Data :	**07/2023**
File :	2023-07-12 - PLANI GEO
Commessa :	00623

Tecnico redattore :

Geol. Cesare Ferrero

Studio di Geologia
Cesare Ferrero
Via P.Paleocapa, 8/3
17100 Savona
Cell 335 760.99.90
ferrero.geologia@gmail.com

REV./AGG.	DESCRIZIONE	DATA	DISEGNATO	CONTROLLATO	AUTORIZZATO
00	EMISSIONE PER CONSEGNA	07/2023	.....	.....	.....

A norma di legge il presente elaborato non potrà essere riprodotto ne' consegnato a terzi ne' utilizzato per scopi diversi da quello di destinazione senza l'autorizzazione scritta dell'autore, che ne detiene la proprietà.

Sommario

1.	PREMESSA.	2
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.	3
3.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE.	3
4.	ELEMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI.	5
	4.1 Lineamenti geologici.	5
	4.2 - Elementi geomorfologici.	8
	4.3 - Lineamenti idrogeologici.	9
5.	INDAGINI DI DETTAGLIO.	10
	5.1 - Indagini geofisiche	10
	5.2 Rilievo geostrutturale	24
6.	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE, EFFETTI DI SITO E LIQUEFACIBILITÀ.	32
	6.1 Sismicità storica	32
	6.2 Sorgenti sismogenetiche	32
	6.3 Sismicità locale	33
	6.4 Caratterizzazione sismica di base	34
	6.5 Caratterizzazione sismica specifica del sito – Risposta sismica locale	36
	6.6 Suscettibilità del terreno alla liquefazione	38
7.	CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO.	41
8.	AEROGENERATORI E AREA DI CANTIERE SOMMITALE.	41
9.	ADEGUAMENTO DELLA VIABILITÀ ESISTENTE	43
10.	CAVIDOTTO.	47
11.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE.	48
12.	STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO E DELLE SCARPATE IN MATERIALI DI RIPORTO.	50
13.	TERRE E ROCCE DA SCAVO.	61
14.	COMPATIBILITÀ CON LA TUTELA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO.	61
16.	COMPATIBILITÀ CON IL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME PO.	62
ALLEGATI		63

RELAZIONE TECNICA

1. PREMESSA.

La società TERSIA S.r.l. intende realizzare un parco eolico per la generazione di energia elettrica mediante l'installazione di due aerogeneratori di grossa taglia sul crinale che si sviluppa lungo il limite sudoccidentale del territorio comunale, tra i rilievi di Bric Tencione e i Groppi, in comune di Bardineto.

Lo scrivente è stato incaricato di realizzare un'indagine geologica allo scopo di accertare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dei luoghi, nonché di analizzare le problematiche di tipo geologico-tecnico connesse con la progettazione dell'intervento e con le peculiarità dello scenario territoriale ed ambientale in cui si opera in relazione al tipo di intervento previsto

Questa relazione, pertanto, seguendo i dettami della normativa vigente e dello stato dell'arte è finalizzata alla costruzione del modello geologico, il quale è propedeutico per la redazione del modello geotecnico, facente parte integrante della relazione d'opera geotecnica; gli argomenti trattati raggiungono l'obiettivo dell'accertamento della fattibilità dell'opera così come definito dai dettami delle NTC 2018.

Le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni incontrati sono state ottenute da dati desunti da dati bibliografici e da quelli provenienti da sopralluoghi e indagini in sito ritenuti maggiormente opportuni riferiti all'area di sedime allargata ad un intorno dimensionale sufficientemente significativo, in modo da delineare adeguatamente il contesto geologico,

Di seguito verranno specificate le condizioni sia dei terreni investigati che delle strutture in progetto rispetto al contesto geologico dell'area, ed infine verranno fornite alcune indicazioni sulla fattibilità dell'intervento con le adeguate opere da eseguirsi, in fase esecutiva, in aggiunta e/o in sostituzione a quelle previste a progetto.

Metodologia adottata

In considerazione delle dimensioni dell'intervento e delle condizioni geologiche al contorno, l'indagine è stata così sviluppata:

- analisi di dettaglio delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area e di dettaglio del sito;
- esecuzione di n°2 prospezioni sismiche tomografiche in onde di compressione P;
- esecuzione di n°2 prove sismiche HVSR con determinazione della velocità delle onde di taglio S;
- rilievo geomeccanico di dettaglio dell'ammasso roccioso;
- ricostruzione, il più dettagliatamente possibile per quanto consentito dai dati raccolti, della situazione stratigrafica, idrogeologica e geotecnica dei terreni;
- caratterizzazione sismica e stima della pericolosità sismica di base e di sito;
- redazione di carte tematiche e di sezioni rappresentanti le condizioni dell'area e gli elementi emersi nel corso dell'indagine;
- analisi numerica dei dati emersi nel corso dell'indagine, al fine di identificare le caratteristiche fisico-meccaniche ed i parametri geotecnici dei terreni e delle litologie presenti;
- analisi legate alla stabilità dei versanti delle opere di maggiore impatto geologico;
- identificazione delle problematiche geologico-tecniche connesse con la progettazione esecutiva e la realizzazione degli interventi previsti;
- redazione di rapporto tecnico illustrativo.

Il presente documento contiene i risultati essenziali dello studio svolto, commenta sinteticamente i contenuti delle risultanze delle diverse verifiche ed elaborati ed espone le problematiche geologico-tecniche ed idrogeologiche emerse.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.

IN MATERIA DI PROGETTAZIONE GEOTECNICA

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 Testo Unitario –Norme Tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M.17 gennaio 2018. Circolare 11 febbraio 2019
- Eurocodice 8 (1998) Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture - Parte 5: Fondazioni , strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997) -Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali. – UNI
- Eurocodice 7.2 (2002) –Progettazione geotecnica- Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- Eurocodice 7.3 (2002) –Progettazione geotecnica- Parte II : Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI

IN MATERIA DI PREVENZIONE DEL RISCHIO SISMICO

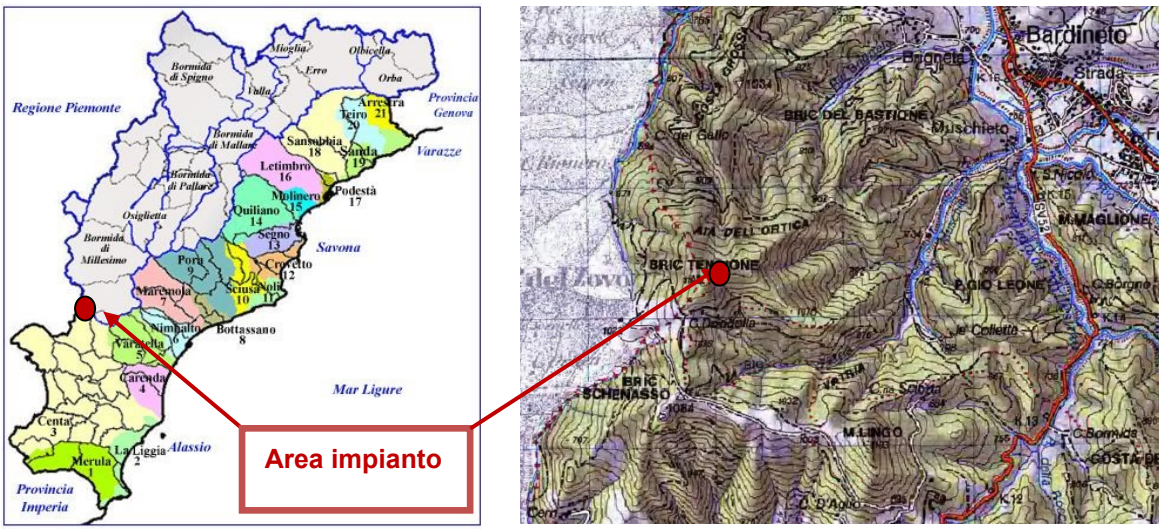
- O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006 – Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n. 108 del 11.05.2006)
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27.07.2007
- D.G.R. n°216 del 17/03/2017 "OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria.
- D.G.R. n°535 DEL 18/06/2021 - L.R. 21 luglio 1983, nr. 29. Adozione delle Linee Guida per la Gestione del Territorio in Aree Interessate da Liquefazione (LQ) ed approvazione criteri tecnici integrativi alla DGR 471/2010.

IN MATERIA DI PIANIFICAZIONE E DIFESA DEL SUOLO

- Reticolo Idrografico Regionale adottato con D.G.R. Regione Liguria n. 507 del 21.06.2019.
- D.G.R. n°216 del 17/03/2017 della Regione Liguria
- Piano Assetto Idrogeologico "Fiume Po"
- L.R. n.4/99 "Vincolo Idrogeologico" ed annesse circolari regionali emanate a riguardo

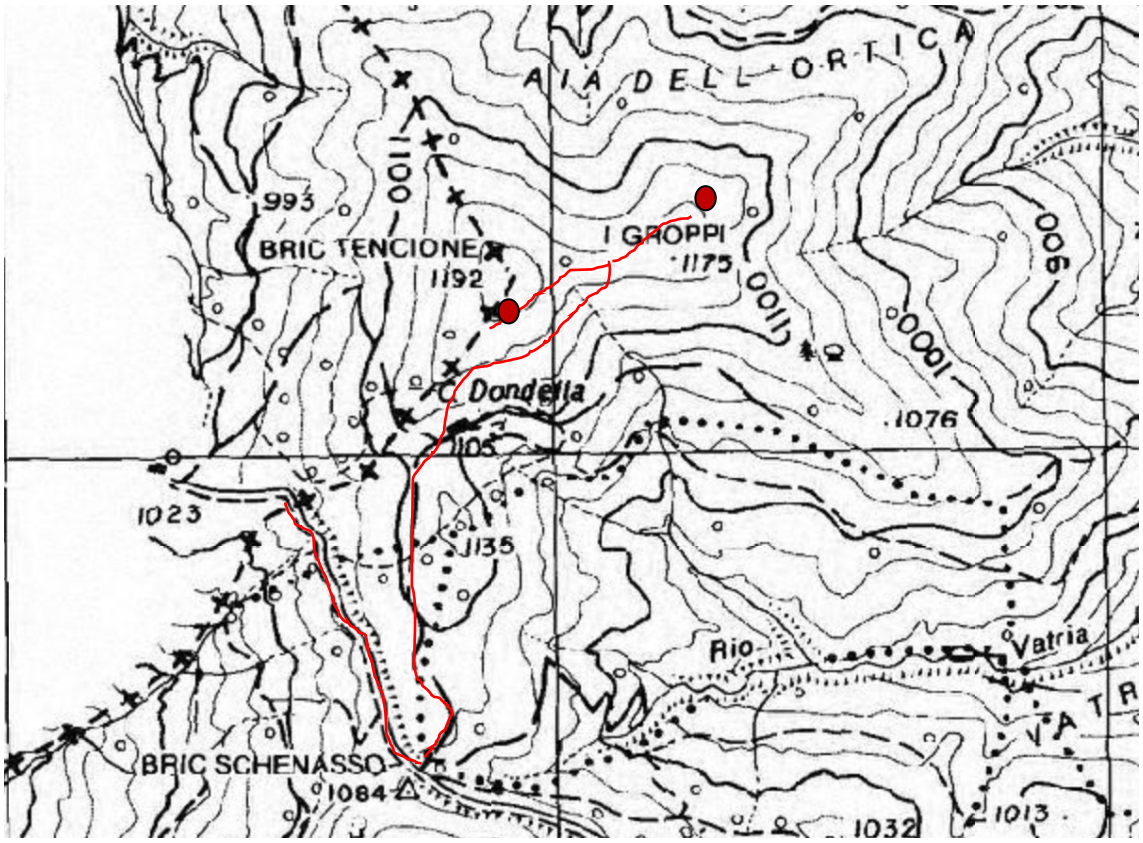
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE.

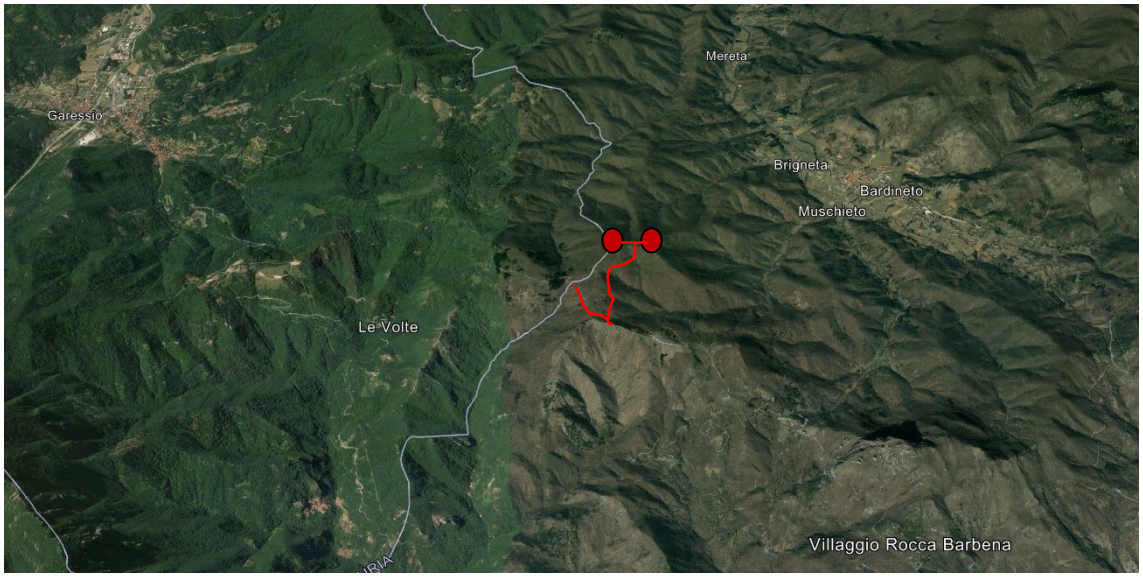
Il sito si colloca in prossimità del confine regionale, sul versante settentrionale dello spartiacque ligure-padano, nell'alto bacino del Fiume Bormida di Millesimo, affluente di destra del Fiume Po.



L'area di interesse si sviluppa in corrispondenza del crinale che unisce il rilievo del Bric Tencione con quello dei "I Groppi", tra le quote comprese tra 1190 e 1150 m s.l.m.. L'assetto morfologico generale è caratterizzato dalla presenza del crinale che separa tre vallecole e che impone pendenze di grado crescente scendendo dalla quota sommitale verso i relativi fondovalle, in un ambito sostanzialmente non antropizzato, eccezion fatta per alcune piste boschive e la sentieristica legata all'escursionismo.

Il progetto del nuovo parco eolico comprende anche la manutenzione e gli adeguamenti delle strade di accesso, costituite da una strada forestale sterrata, che si diparte dalla strada che collega il Bric Schienasso con il passo dello Scravaion (strada Provinciale Albenga Bardineto) e dalla prosecuzione di quest'ultima, dall'innesto della strada forestale fino al confine regionale, come meglio rappresentato sulla carta tecnica regionale scala 1:25.000 e sulla foto aerea qui di seguito riprodotte.





4. ELEMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI.

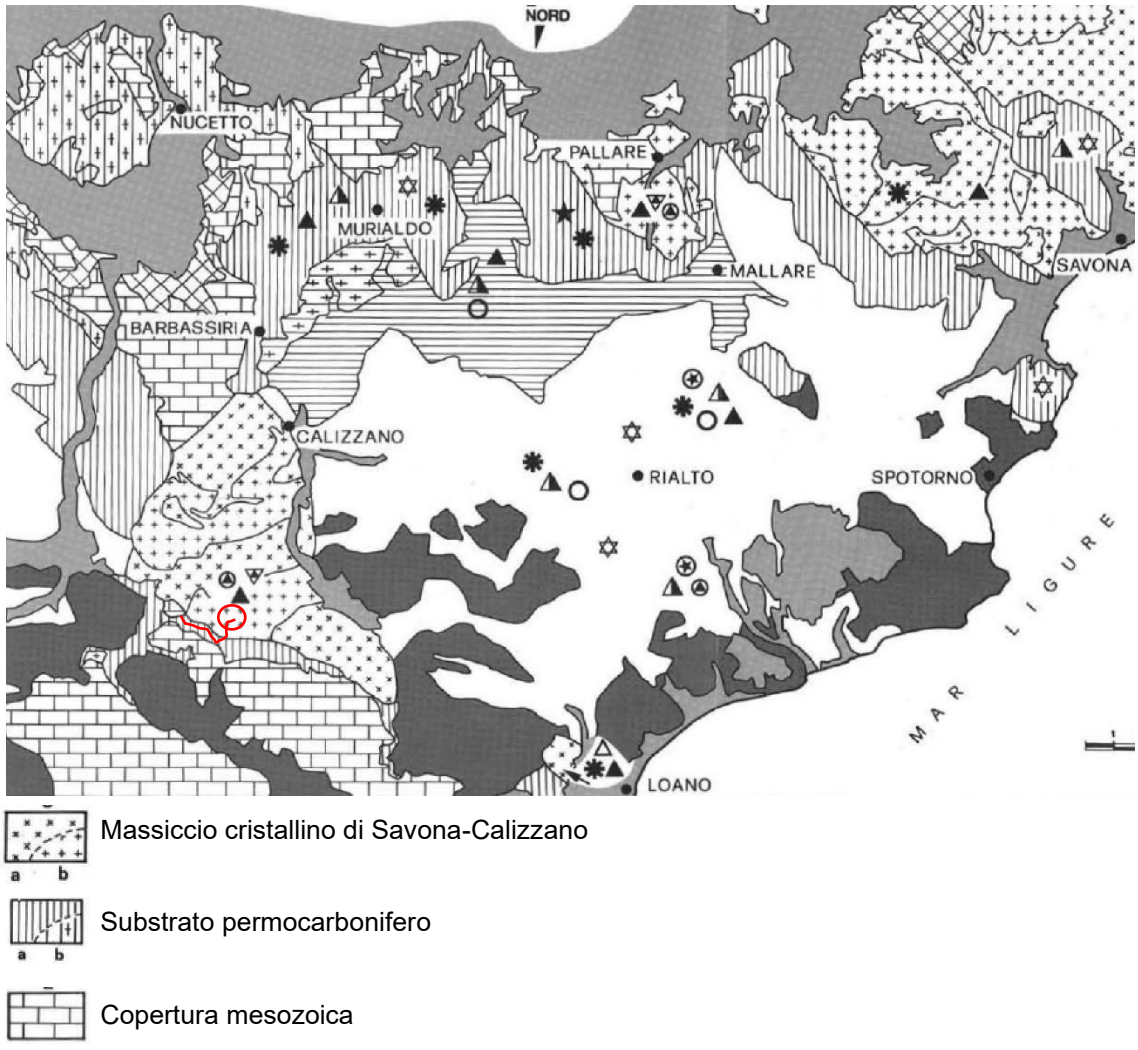
4.1 Lineamenti geologici.

4.1.1 Assetto geologico generale.

Sotto il profilo geologico strutturale l'area si colloca in una zona tettonicamente complessa delle Alpi Liguri, appartenenti al Settore Orientale del Dominio Brianzonese Ligure, che inizia a differenziarsi da quello Piemontese nel Trias superiore e rappresenta parte di un dominio paleogeografico e di un complesso di Unità Tettoniche che si ritiene provengano dalla porzione del paleocontinente europeo più prossima al margine del paleocontinente stesso.

Dal punto di vista paleogeografico si suole suddividere il Brianzonese in tre settori, che, procedendo verso l'avampaese, prendono le qualificazioni di interno, intermedio, esterno.

Anche la serie stratigrafica viene generalmente distinta in tre parti: basamento cristallino (interessato da una o più orogenesi prealpine), tegumento permo-carbonifero e copertura meso-cenozoica.



Stralcio della carta geologico-strutturale delle Alpi Marittime tra Savona e il Tanaro

Il basamento cristallino, o Massiccio Cristallino di Savona Calizzano, costituisce il maggior affioramento di rocce cristalline acide della Liguria. Esso è formato da un complesso, a metamorfismo ercino-tipo, di para ed ortogneiss e micascisti con anfiboliti, talora in masse cospicue, *e* di gneiss kinzigitici.

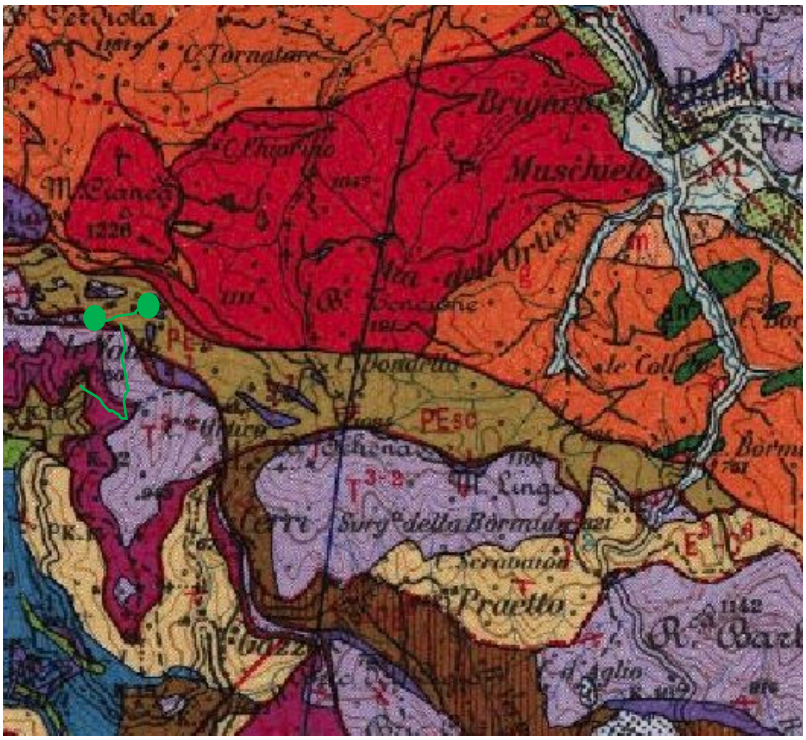
Il tegumento permo-carbonifero, di origine in parte vulcanica e in parte sedimentaria continentale, si interpone tra il basamento cristallino e le rocce sedimentarie della copertura mesozoica. Le successioni permo-carbonifere presentano grande variabilità di facies e di spessore; le formazioni metamorfiche di origine sedimentaria sono

rappresentate da scisti e metasedimenti di rocce di diversa origine: sedimenti quarzo-micacei, dominanti; tufiti e/o prodotti di rimaneggiamento di vulcaniti acide.

La Copertura meso-cenozoica ha inizio con la cessazione dell'attività vulcanica e l'ingressione marina e susseguente deposizione di materiali detritici molto rielaborati: quarziti in banchi di spessore variabile, depositi di spiaggia molto elaborati ricchissimi di quarzo, passanti transizionalmente a calcari e dolomie grigie di piattaforma.

4.1.1 Assetto geologico locale.

La Carta Geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 92-93, edita nel 1971 classifica il substrato roccioso su cui saranno installati gli aerogeneratori come appartenente alla Formazione dei Graniti del Torrente Letimbro (Massiccio cristallino di Savona-Calizzano), mentre parte della viabilità di accesso ricade sul substrato costituito dalla Formazione degli Scisti di Gorra (Tegumento permo-carbonifero).



Γ GRANITI DEL TORRENTE LETIMBRO. Graniti gneissici fortemente cataclasati, sovente interpretabili come anatessitici: biotitico-muscovitici, a grana grossa (Savona e Pallare), muscovitico-cloritici, microgranulari (Calizzano); granodioriti a grana grossa, cataclasate (Barbassiria) *(nelle serie brianzonesi). PERMICO MEDIO ?*

PEsc* PEsc' PEsc SCISTI DI GORRA. Quarzoscisti, scisti quarzo-sericitici, cloritici, micascisti, scisti gneissici (PEsc), localmente con grossi cristalli di K-feldspato (PEsc'), di colore variabile, localmente con lenti della Formazione di Eze non cartografabili separatamente (PEsc*), con subordinate intercalazioni di Porfiroidi del Melogno; derivanti da laminazione ed ultralaminazione, durante l'orogenesi alpina; di materiali arenitico-pelitici, oppure tufaceo-arenacei e, subordinatamente, lavici del ***PERMICO MEDIO? - CARBONIFERO SUPERIORE? (nelle serie brianzonesi).***

Stralcio Carta Geologica d'Italia Fg. 92-93 – scala 1:100.000

Graniti del Torrente Letimbro

I graniti, datati al Permiano medio e rappresentati nell'area da graniti gneissici fortemente cataclasati, interpretabili sovente come anatessiti, cioè rocce con parziale fusione in profondità ma in cui sono ancora parzialmente riconoscibili strutture e tessiture originarie.

La più recente nomenclatura degli studi sviluppati nella redazione di cartografia geologica in scala più dettagliata classifica il substrato roccioso cristallino come ***Ortogneiss metagranitoidi II*** appartenenti all'Unità Savona-Calizzano.



ORTOGNEISS METAGRANITOIDI II: metagranitoidi con sovraimpronta metamorfica prealpina in facies anfibolitica; granitoidi a grana da media a grossolana, generalmente porfirici per grandi megacristalli di K-feldspato (fino a 8-10 cm); metagranitoidi con forte sovraimpronta metamorfica a carattere milonitico (Γm).
Carbonifero inferiore

Sono costituiti da metagranitoidi con sovraimpronta metamorfica in facies anfibolitica prealpina. Si tratta di rocce derivanti da graniti e granodioriti fortemente metamorfosati da eventi metamorfici sia ercinici che alpini, i primi in facies di alta temperatura, i secondi di grado più basso.

Le strutture originarie sono localmente conservate. Possono presentarsi in facies di ortogneiss granitoidi o di granito tipico, ambedue comunque originatesi da cristallizzazione di magmi derivati da processi di anatessi o di anatessi avanzata. Nella facies ad ortogneiss le fasi deformative sono state intense ed hanno condotto l'ammasso ad assumere un aspetto lamellare ed una scistosità più o meno evidente, con tuttavia ancora chiari i caratteri primari magmatici. I minerali costituenti sono essenzialmente quarzo, feldspati, mica bianca, clorite ed epidoto, con, localmente, una tessitura occhiadina per la presenza di grossi individui di quarzo e K-feldspato. Nella facies a granito tipico le fasi deformative sono state poco intense, per cui la struttura è generalmente granulare, con grana da media a grossolana; solo localmente sono presenti tessiture scistose. i minerali fondamentali sono il quarzo, i feldspati, la mica bianca e la biotite, spesso trasformata in clorite.

Al metamorfismo ed alle deformazioni erciniche e preerciniche si sovrappongono i fenomeni dovuti all'orogenesi della catena alpina, formata da un insieme di unità tettoniche trasportate ed appilate verso l'esterno dell'arco alpino, successivamente dapprima retroflesse, poi coinvolte nelle deformazioni di età e direzione appenninica.

In affioramento in generale si presentano in facies massiva, dove si riconosce il fabric primario, rappresentato da rocce anequigranulari, con grossi feldspati euedrali, contenenti plagioclasio, mica bianca e biotite, più raramente si osservano affioramenti scistosi, con litotipi a grana fine in genere equigranulari con plagioclasio, mica bianca e biotite idiomorfa rispetto a K-feldspato e quarzo.

In generale l'assetto strutturale dell'ammasso roccioso è caratterizzato dall'esistenza di diverse famiglie di giunti di discontinuità, l'intersezione delle quali provoca una suddivisione della roccia massiva in blocchi di dimensioni variabili da centimetriche a metriche in funzione della spaziatura fra le diverse famiglie di giunti.

Le meso-strutture pertinenti al fabric primario sono rielaborate e trasposte dal fabric tettonico secondario che mostra strutture sia di tipo duttile, sia di tipo fragile.

Scisti di Gorra

Gli scisti di Gorra dal punto di vista litologico sono rappresenti da quarzoscisti, scisti quarzo-sericitici, cloritici, micascisti e scisti gneissici originati da sedimenti fini arenaceo-pelitici, tufiti e piroclastiti depositatisi sia in ambiente marino che continentale, durante la detrizione del basamento cristallino e, successivamente interessati da metamorfismo alpino di basso grado (facies scisti verdi).

In affioramento queste rocce appaiono caratterizzata da forte anisotropia planare legata ad una scistosità assai pervasiva ed elevata alterabilità superficiale con formazione di potenti manti detritico eluvio-colluviali a granulometria variabile, sebbene prevalentemente fine e comportamento eminentemente coesivo.

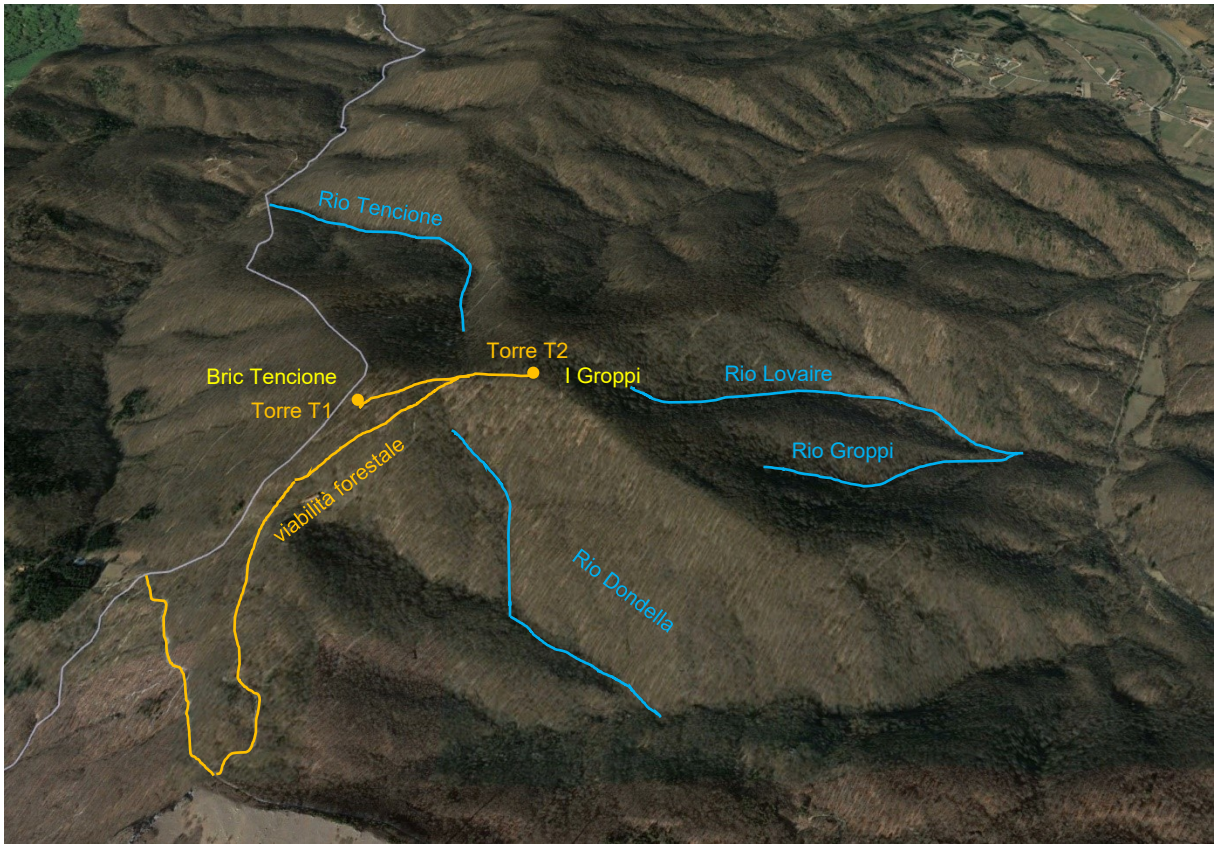
Sul terreno si presentano di colore grigio, talora tendente al grigio-verdastro in relazione all'alterazione e si presentano di aspetto da mediamente a fortemente scistoso. L'andamento generale della scistosità denota giaciture variabili in un range relativamente ampio e con orientazioni piuttosto disperse.

È inoltre ben manifesta nell'ammasso una discreta fratturazione con set di discontinuità tra loro circa ortogonali e tali da suddividere l'ammasso roccioso in lamine centimetriche di forma irregolare che spesso denotano bassissimi rapporti di coazione.

Il rilevamento geologico di dettaglio sviluppato sull'area ha permesso di rappresentare le due litologie ed il relativo contatto tra le stesse sulla carta geolitogica, in scala 1:3.500, qui di seguito allegata.

4.2 - Elementi geomorfologici.

L'areale interessato dall'intervento si colloca in una zona di alto morfologico, in corrispondenza della fascia assiale del crinale che, con andamento W-E, unisce il rilievo del Bric Tencione con quello de I Groppi. Il crinale funge da spartiacque tra il Rio Tencione a Nord, dal Rio Dondella a Sud.



L'acclività generale dei luoghi risulta compresa entro un grado medio-basso, che tende comunque ad aumentare scendendo lungo i versanti; infatti il crinale è discretamente ampio, con pendenza limitata sia in senso longitudinale, sia in senso trasversale tanto che in questa direzione, localmente, essa risulta a tratti subpianeggiante.

La morfologia locale vede la presenza di versanti boscati con quasi completa assenza di intervento antropico, ovvero le succitate piste forestali ad uso manutentivo del bosco e la strada sterrata che conduce alla Cascina Dondella, sul versante meridionale.

L'andamento e gli spessori della coltre superficiale sono condizionati dall'andamento del substrato roccioso, dalla pendenza del versante e dal suo posizionamento rispetto al crinale. Le coperture sciolte, rappresentate per lo più dai prodotti della detrizione del substrato, sono a granulometria medio-grossolana e di spessore variabile, in genere estremamente limitate in corrispondenza de I Groppi, di spessore lievemente maggiore sul Bric Tencione.

Si tratta di coperture eluvio-colluviali di detrizione e alterazione del substrato cristallino, con grossi clasti e scaglie e elementi di minori dimensioni, centimetrici, a spigoli vivi, immersi in una matrice sabbioso-limosa. Il passaggio al substrato roccioso è abbastanza netto, con un livello di roccia alterata e fratturata abbastanza sottile.

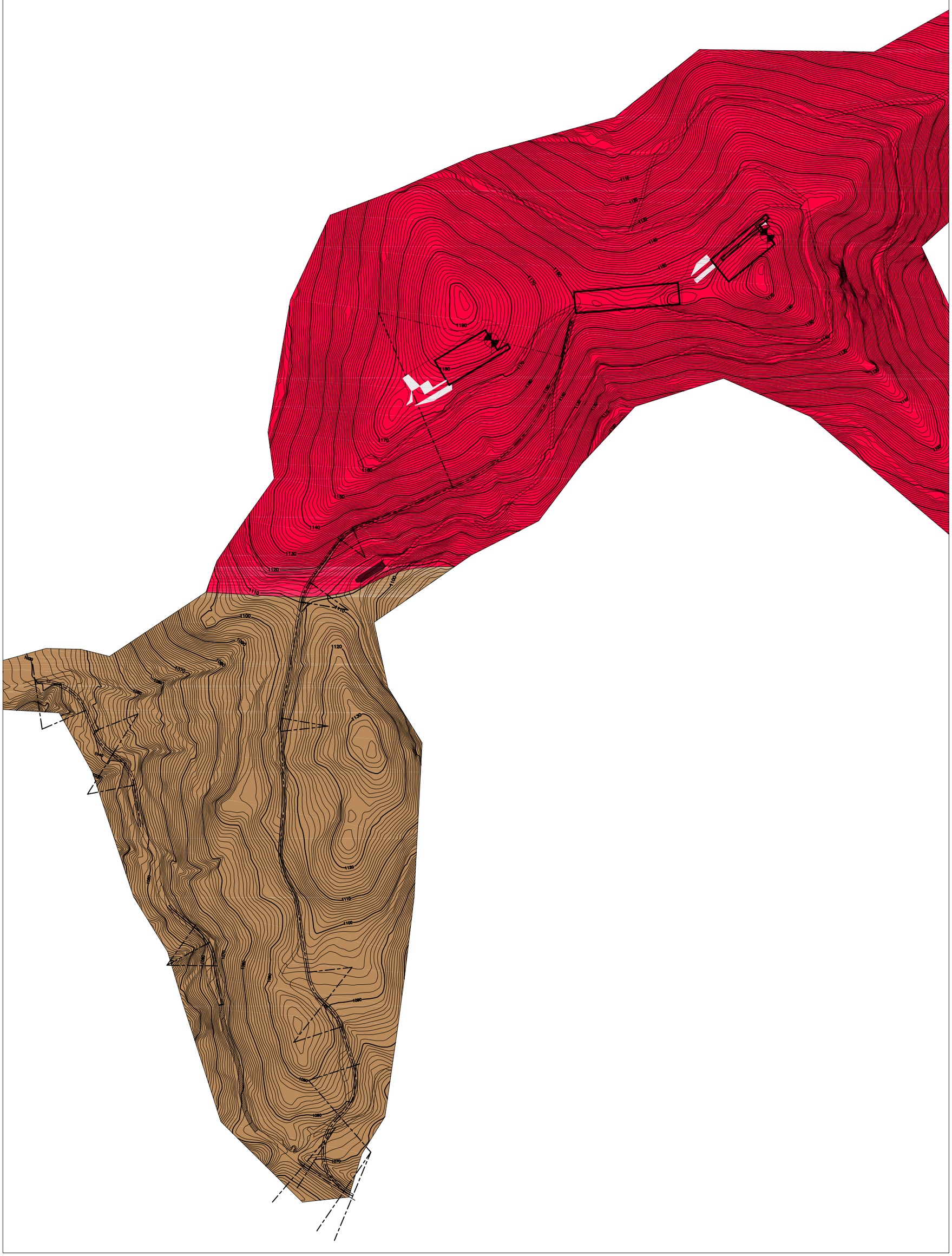
Al contrario, le coltri di copertura degli scisti sono in generale con granulometria più fine ed immersi in una matrice limoso-argillosa spesso percentualmente abbondante. Il passaggio con il bed-rock sottostante è assai graduale e discontinuo e passa attraverso uno spesso livello di roccia particolarmente alterata e fratturata (regolite).

Il rilievo geomorfologico eseguito in sito ha rilevato le caratteristiche salienti del sito, al fine di delinearne il grado di stabilità a livello puntuale e di versante. Tali caratteristiche sono di seguito elencate:

CARTA GEOLITOLOGICA - scala 1:3500

ortogneiss metagranitoidi
"graniti del torrente Letimbro"

scisti di gorra



 ubicazione in ambito di crinale e versante con grado di pendenza crescente dall'alto verso il basso, (pendenze da basse a medie);

 profilo del terreno naturale irregolare con presenza di zone boscate;

 presenza di scarpate naturali in discreto grado di conservazione e stabilità;

 assenza di evidenti indicatori di movimenti franosi attivi.

Anche in funzione della bassa pendenza non si hanno, a grande scala, situazioni di franosità in atto o potenziali, per cui sono buone le complessive condizioni di stabilità.

Così pure il versante meridionale su cui si sviluppa la viabilità forestale che dal Bric Schenasso raggiunge la Cascina Dondella e dà accesso al crinale evidenzia buone caratteristiche di stabilità, mentre qualche smottamento e cedimento, seppure di dimensioni modeste, è presente nel tratto stradale che dal Bric Schenasso raggiunge il confine regionale in corrispondenza degli attraversamenti stradali dei piccoli impluvi.

4.3 - Lineamenti idrogeologici.

L'idrogeologia della zona risulta abbastanza semplificata; per quanto riguarda le acque superficiali:

- sulla fascia assiale del crinale il drenaggio delle acque è riconducibile essenzialmente alle precipitazioni zenitali ed avviene di norma per infiltrazione nel sottosuolo o per ruscellamento superficiale diffuso e/o concentrato;
- parte delle acque di pioggia migrano a valle prevalentemente per ruscellamento diffuso, convergendo in un reticolo idrografico di tipo giovanile; stante la posizione del sito, le portate sono modeste ed il reticolo idrografico vero e proprio si sviluppa a quote ben inferiori rispetto a quelle di crinale;
- il reticolo idrografico è rappresentato da numerose piccole incisioni che si sviluppano lungo i versanti, contraddistinte da profilo di fondo generalmente ripido e percorse da deflussi a carattere non perenne. Si tratta di corsi d'acqua caratterizzati da regimi dei deflussi tipicamente torrentizi con riattivazioni improvvise, talora accompagnate da violenta attività erosiva, a causa delle pendenze mediamente elevate dei pendii e delle dimensioni relativamente piccole dei bacini imbriferi; a questo proposito per l'ambito progettuale qui esaminato risultano più significativi i modesti impluvi che interessano il versante occidentale del Bric Tencione, sui quali si sviluppa la strada dal Bric Schenasso fino al confine regionale.

La circolazione ipogea è legata alle caratteristiche della formazione a substrato, che, come sopra accennato, risulta fratturata; anche se le coperture sciolte contribuiscono a favorire l'infiltrazione di un'aliquota dell'acqua meteorica in profondità, la posizione morfologica sul crinale, e il modesto settore di versante sotteso, per quanto riguarda i versanti, non consentono l'instaurarsi di falde acquifere sotterranee dotate di potenza, continuità ed estensione areale significativi.

Di conseguenza nell'ammasso roccioso la circolazione delle acque si limita di fatto a fenomeni di modesti stillicidi limitati a particolari condizioni strutturali e in conseguenza del verificarsi di marcati e consistenti fenomeni meteorici o in conseguenza della lenta fusione del manto nevoso con lentissima permeazione dei fluidi all'interno delle masse rocciose.

In tutto l'areale considerato non si sono osservate zone di impregnazione e/o ristagno. Si evidenzia che nelle aree d'intervento, caratterizzata da superficie boschiva, non si rinvengono indizi di processi erosivi superficiali da parte di acque di dilavamento.

5. INDAGINI DI DETTAGLIO.

Per caratterizzare l'assetto stratigrafico, geotecnico e geomeccanico di dettaglio dell'area, i dati provenienti dal rilevamento geologico di superficie sono stati integrati attraverso:

- Esecuzione di indagini geofisiche, consistenti in stendimenti sismici a rifrazione e prove HVSR
- Rilievo geostrutturale dell'ammasso roccioso.

5.1 - Indagini geofisiche

Al fine di avere indicazioni circa la stratigrafia delle zone direttamente interessate dall'intervento, in corrispondenza delle aree di prevista installazione degli aerogeneratori, sono stati realizzati uno stendimento sismico a rifrazione in onde di compressione in modalità tomografica e una prova sismica HVSR per la determinazione delle onde di taglio.

5.1.1 Tomografia sismiche a rifrazione

Metodologia di indagine

Nel metodo in questione viene considerata la rifrazione, in corrispondenza di interfacce sepolte che separano mezzi in differenti condizioni di densità, di onde elastiche generate artificialmente in superficie.

Sempre presso la superficie vengono disposti - a distanza reciproca nota e normalmente costante - particolari sensori (geofoni) in grado di avvertire la perturbazione propagatasi nel volume solido sottostante a seguito della generazione di un'onda elastica ad un istante noto; i geofoni traducono la sollecitazione in un segnale elettrico ed attraverso un cavo multipolare trasferiscono quest'ultimo ad uno strumento di registrazione (sismografo multicanale). Il sismografo digitalizza i segnali ricevuti dai geofoni e registra i "sismogrammi" sotto forma di files.

I sismogrammi sono visualizzabili in un grafico binario nel quale vengono rappresentati per ogni canale (ognuno corrispondente ad un geofono) il dominio dei tempi sull'asse orizzontale (nell'ambito della "finestra di campionamento" scelta) e l'ampiezza del segnale elettrico (± mV) sull'asse verticale.

La prima perturbazione elastica ricevuta da ogni geofono a seguito della generazione dell'impulso può avere seguito un percorso "diretto" (ossia il tragitto più breve tra sorgente e ricevitore) oppure avere subito una o più "total-rifrazioni" presso superfici di discontinuità tra materiali caratterizzati da differenti stati di addensamento (nel presente metodo le riflessioni, sebbene spesso ben riconoscibili, non vengono considerate).

Oltre una certa distanza definita "critica" i raggi rifratti raggiungeranno i geofoni in superficie prima dei raggi diretti, nonostante il tragitto percorso sia più lungo, in virtù del tratto percorso a velocità più elevata presso l'interfaccia.

La trattazione teorica che sta alla base del metodo si basa sui principi e sulle leggi dell'ottica.

La configurazione ottimale dei parametri di acquisizione (distanza intergeofonica, numero di energizzazioni, geometria dello stendimento, lunghezza temporale della registrazione, ecc.) è necessariamente definita in sito in funzione delle condizioni logistiche, della presenza o meno di fonti di disturbo nei pressi e delle finalità dell'indagine.

Per la generazione degli impulsi elastici, e in particolare delle onde di pressione (onde "p"), è stata utilizza una massa battente (mazza con testa da 8.0 kg) accelerata a mano. Lo strumento di contrasto è costituito da una piastra circolare in ghisa poggiata al suolo.

Il segnale di trigger ("tempo zero", ovvero l'istante di partenza dell'impulso elastico) viene comunicato al sismografo - mediante appositi cablaggi elettrici - attraverso il cortocircuito generato dal contatto della testa della mazza con la piastra di contrasto.

Strumentazione

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con un sismografo GEODE Geometrics a 24 canali con memorizzazione incrementale dei segnali per ogni traccia; i canali utilizzati sono 12 e 24. I segnali di ciascun canale sono stati digitalizzati tramite un convertitore A/D a 16 bit in 2.048 campioni per una lunghezza di registrazione pari a 512 millesimi di secondo, visualizzati a video in tempo reale e quindi memorizzati su supporto magnetico mediante il programma di acquisizione Geometrics SGOS.

Le energizzazioni del terreno, per la generazione delle onde di compressione, sono state effettuate mediante percussione con massa battente (mazza con testa da 8 kg) su piastra di acciaio.

La lettura di tutti i tempi relativi ai primi arrivi é stata effettuata con routine automatica e controllo manuale da tastiera utilizzando il programma SeisOpt Picker v 1.5.

Per la ricezione delle onde sono stati utilizzati, rispettivamente, gruppi di geofoni verticali Oyo Geospace con frequenza naturale di 14 Hz.

Ubicazione

La disposizione degli stendimenti geofisici è stata definita in sito; in relazione agli obiettivi dell'indagine gli stessi sono stati ubicati in corrispondenza della posizione dell'aerogeneratore, ma interessando anche l'area di cantiere che sarà necessaria per il montaggio degli impianti.

Le caratteristiche degli stendimenti sismici a rifrazione sono riportati nella seguente tabella:

Stesa	Posizione	Lunghezza complessiva (m)	Numero geofoni	Spaziatura Intergeofonica (m)	Stazioni di energizzazione
SS1	Torre T1	92	24	4	8
SS2	Torre T2	69	24	3	8



Stendimento sismico SS1



Stendimento sismico SS2

Interpretazione dati e risultati

L'interpretazione dei dati è stata effettuata con un software che consente di elaborare le registrazioni effettuate con la tecnica tomografica; il programma elabora un modello bidimensionale di velocità del sottosuolo che soddisfa i valori sperimentali acquisiti con le varie energizzazioni lungo lo stendimento, permettendo una ricostruzione graduale delle variazioni. Il modello di inversione tomografica della sezione sismica a rifrazione evidenzia bene il contatto tra la coltre superficiale e il substrato.

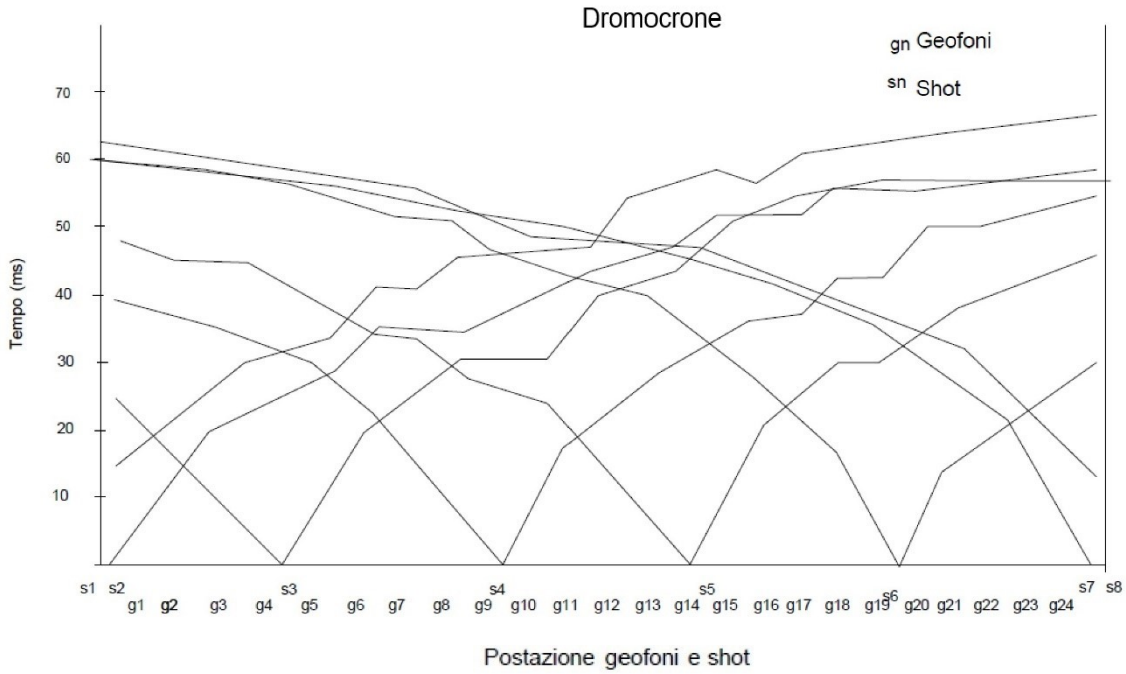
La tomografia sismica si basa su algoritmi di calcolo molto più complessi rispetto al metodo tradizionale, restituisce una rappresentazione estremamente più realistica riguardo alla reale distribuzione della velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo, fornendo informazioni riguardo alle variazioni laterali di velocità all'interno dei vari strati (spesso indice di variazioni locali del grado di addensamento) o sulle condizioni dell'ammasso roccioso dal punto di vista del suo grado di fratturazione.

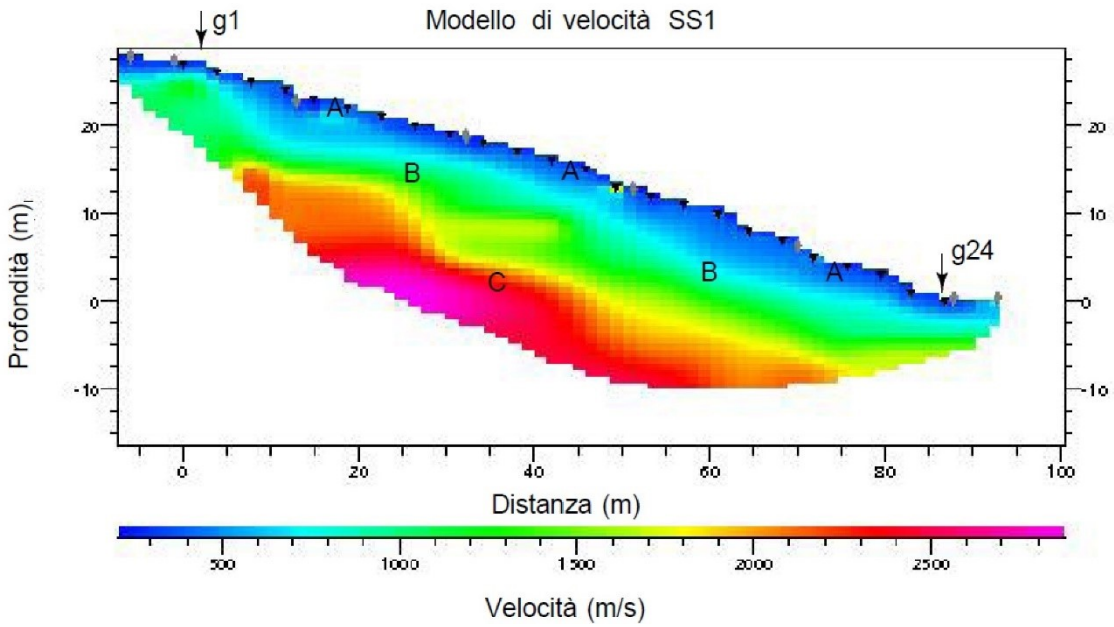
Le velocità sismiche sono proporzionali al grado di addensamento dei materiali entro i quali la perturbazione elastica si propaga e, nel caso di ammassi rocciosi, possono essere indicative delle condizioni geomeccaniche degli stessi.

L'interpretazione dei dati è stata condotta con il supporto della tecnica di modellizzazione mediante il programma di tomografia sismica SeisOpt 2D v.3.5 che consente di interpretare il sottosuolo attraverso un potente algoritmo di inversione della velocità, denominato RIOTS (Refraction Inversion OpTimization System), capace di fornire una sezione tomografica del sottosuolo in funzione della velocità sismica di propagazione.

Si riportano nelle pagine seguenti le dromocrone e le sezioni sismostratigrafiche risultanti dalla elaborazione tomografica 2D degli stendimenti sismici.

Stendimento sismico SS1



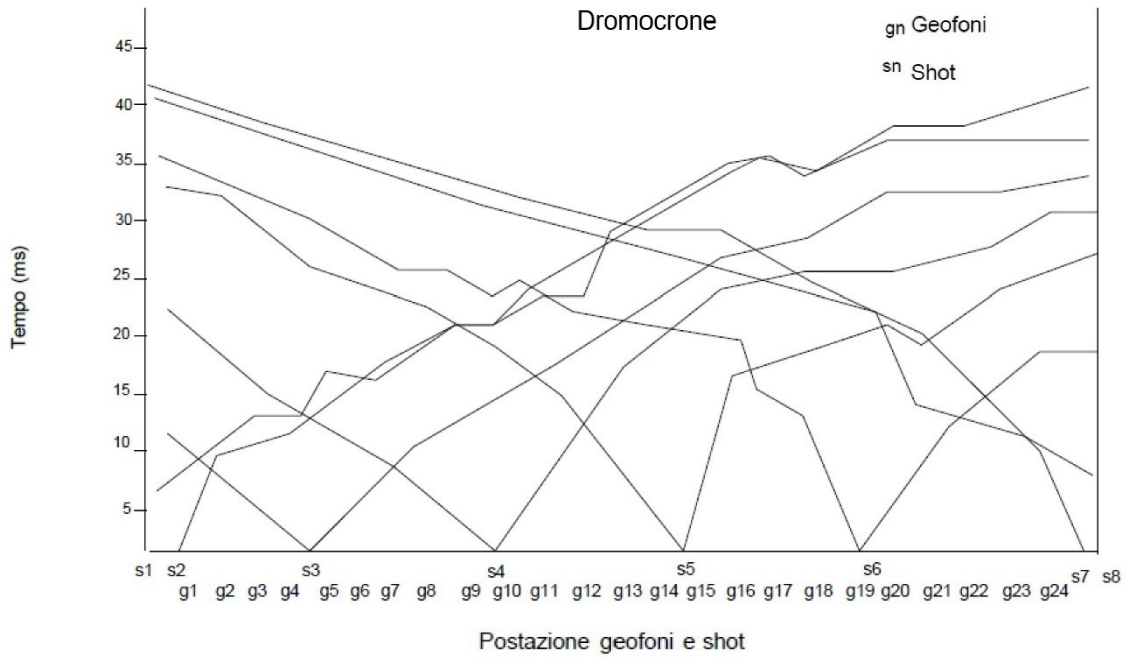


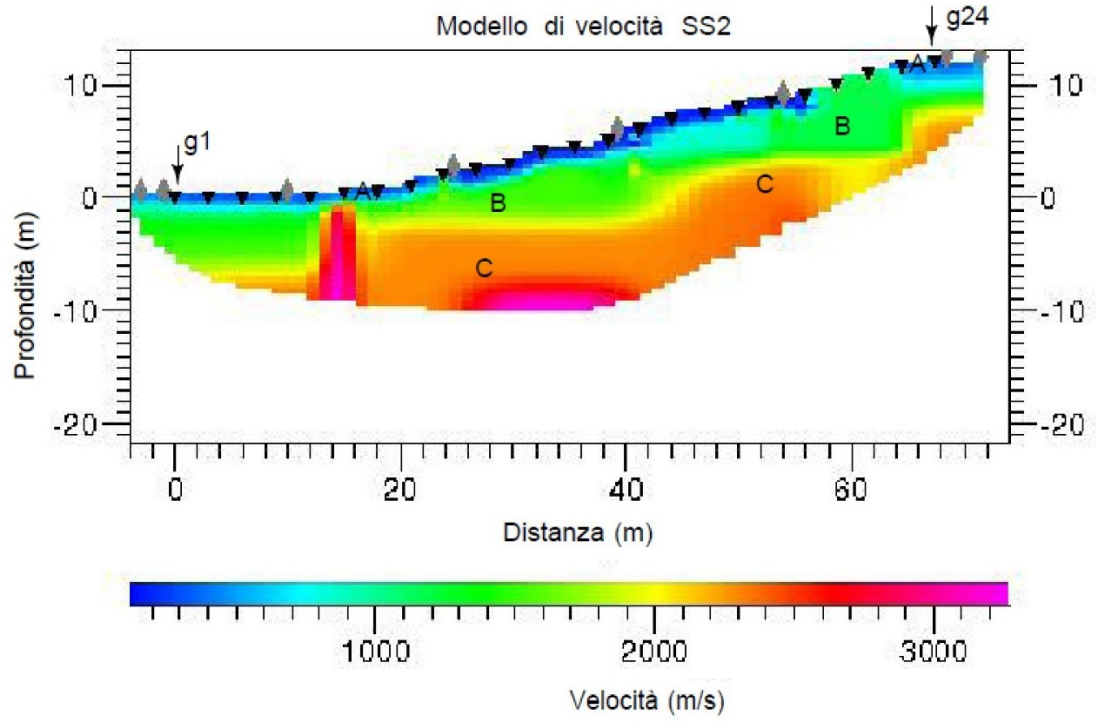
Nella sezione è riconoscibile un primo strato (colore blu) corrispondente alle coltri sciolte eluvio-colluviali, con velocità delle onde P inferiori a 800 m/s, con spessori variabili all'incirca tra 1-2 m, che raggiungono localmente un massimo di circa 3 m nel tratto tra i geofoni 14 e 17 (58-70 m dall'origine).

È poi presente un secondo strato (colore verde), con velocità sismiche 900-1500 m/s, corrispondente agli orizzonti superficiali del substrato roccioso, moderatamente alterati e fratturati, con spessori di circa 3-4 m;

Il terzo strato, di colore da giallo ad arancio, con velocità sismiche che a partire da 1500 m/s aumentano fino a oltre 2000 m/s, è ascrivibile al substrato roccioso, che migliora progressivamente le sue caratteristiche geomeccaniche con la profondità fino a 2500-3000 m/s (colore rosso-fucsia).

Stendimento sismico SS2





Nella sezione è riconoscibile un primo strato (colore blu) corrispondente alle coltri sciolte eluvio-colluviali, con velocità delle onde P inferiori a 800 m/s, con spessori dell'ordine di circa 1 m, a tratti discontinuo per la presenza di roccia affiorante.

È poi presente un secondo strato (colore verde), con velocità sismiche 900-1800 m/s, corrispondente agli orizzonti superficiali del substrato roccioso, moderatamente alterati e fratturati, con spessori di circa 3-4 m;

Il terzo strato, di colore da giallo ad arancio, con velocità sismiche che a partire da 1800 m/s aumentano fino a oltre 2500 m/s, è ascrivibile al substrato roccioso, che migliora progressivamente le sue caratteristiche geomeccaniche con la profondità fino a 2500-3000 m/s (colore rosso-fucsia).

5.1.2 Prove sismiche HVSR

Metodologia di indagine

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e/o dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera.

Vengono misurate, in un certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui.

Viene utilizzata la relazione che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S nel terreno stesso (Vs):

$$f(Hz) = \frac{Vs}{4h}$$

dove h è la profondità della base dello strato.

Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, solitamente il primo, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata.

La procedura d'inversione comporta la definizione di un modello stratigrafico iniziale e dal successivo calcolo dello spettro H/V che ne deriva. La curva H/V teorica viene confrontata con quella sperimentale e, attraverso un procedimento per tentativi, si modifica il modello iniziale fino a ottenere una soddisfacente sovrapposizione delle due curve. Per tener conto di un comportamento debolmente dissipativo del terreno, i valori di velocità delle onde P e S inseriti nel modello vengono corretti inserendo un fattore di smorzamento uguale a 0,05 per le onde S e uguale a 0,017 per le onde P.

Normalmente i picchi alle alte frequenze (>10 Hz) segnalano la presenza di passaggi stratigrafici molto superficiali, quelli alle basse frequenze (<1 Hz) variazioni stratigrafiche molto profonde.

Strumentazione Impiegata



Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Per tale scopo viene utilizzato un sismografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza 0.45 Hz).Lo strumento (GeoBox –Sara Intrument) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni NS, EW e verticalmente, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

Ubicazione

Le prove sono state realizzate in corrispondenza del sedime degli aerogeneratori.



Prova HVSR Torre T1



Prova sismica HVSR Torre T2

Procedure di analisi dati per stazioni singole H/V

L'elaborazione dei dati è stata condotta operando:

A) finestra di campionamento Lw pari a 20 sec

Su queste finestre di durata uguale a Lw secondi viene applicata la trasformata diretta di Fourier allo scopo ricavare l'ampiezza spettrale in funzione della frequenza per ognuna delle tre componenti registrate (EW, NS e Z). Viene quindi visualizzato, in forma grafica (grafico tempo-frequenza), per ognuna delle finestra temporali l'andamento del logaritmo decimale del rapporto fra la media quadratica dell'ampiezza spettrale componenti orizzontali (EW e NS) divisa per l'ampiezza spettrale della componente verticale. Nel programma questa operazione viene eseguita due volte: la prima sui dati di campagna non lisciati, la seconda sugli stessi dati con l'applicazione della funzione di lisciamento di Konno e Ohmachi e di un'eventuale filtro per le ampiezze. Di seguito si riporta il grafico Spettro H/V – Rapporto H/V con la curva H/V teorica in sovrapposizione a quella sperimentale, elaborata utilizzando un modello stratigrafico con deviazione standard 0.02.

B) individuazione dei picchi stratigrafici sui quali vincolare l'elaborazione.

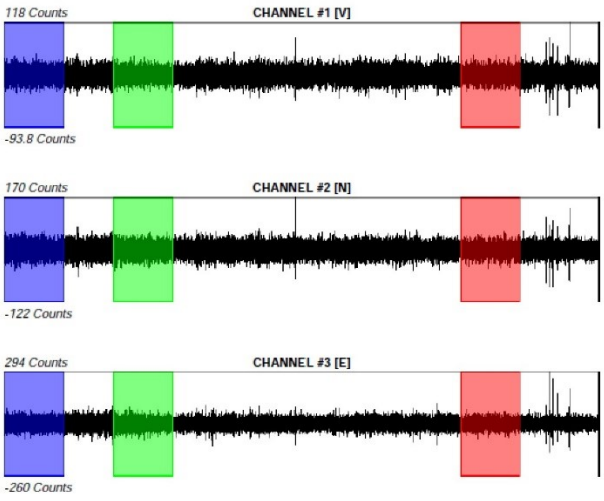
L'individuazione dei picchi stratigrafici avviene attraverso il confronto fra l'andamento dello spettro H/V e lo spettro della componente verticale. I picchi stratigrafici sono quelli per i quali a un massimo locale nella curva H/V corrisponde, alla stessa frequenza, un minimo locale nella curva della componente Z. Nel programma viene visualizzata la tabella riassuntiva delle correlazioni individuate contenente le seguenti colonne:

- frequenza del massimo H/V stratigrafico;
- ampiezza del massimo H/V stratigrafico;
- fattore K_g (vedi Teoria e Normativa);
- altezze degli edifici (H1, H2, H3) che possono andare in doppia risonanza alle frequenze dei picchi H/V individuati
- criteri SESAME per l'attendibilità dei picchi H/V individuati

C) inversione della curva H/V e ricostruzione del modello geofisico del sottosuolo, utilizzando i dati stratigrafici noti ed emersi dalle indagini geognostiche e dal rilevamento geologico di superficie.

Place ID: Tersia Bardineto Torre 1

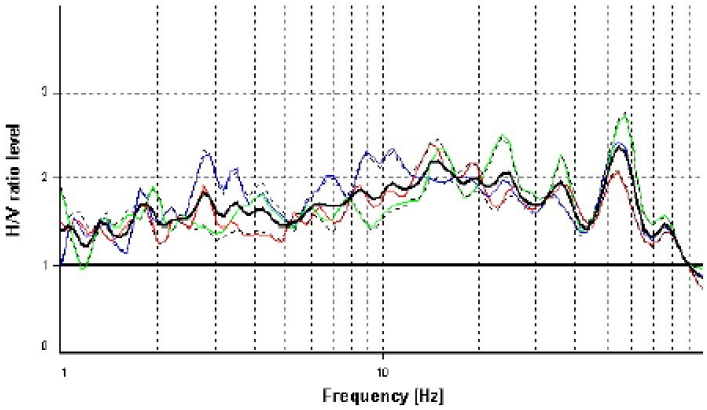
STATION INFORMATION		SIGNAL AND WINDOWING	
Station code:	TR01	*Sampling frequency:*	300 Hz
Model:	SARA GEOBOX	*Recording start time:*	2022/11/16 12:32:45
Sensor:	SARA SA10PACK (integrated accelerometers)	*Recording length:*	6.67 min
		Windows count:	3
		Average windows length:	40
		Signal coverage:	30%



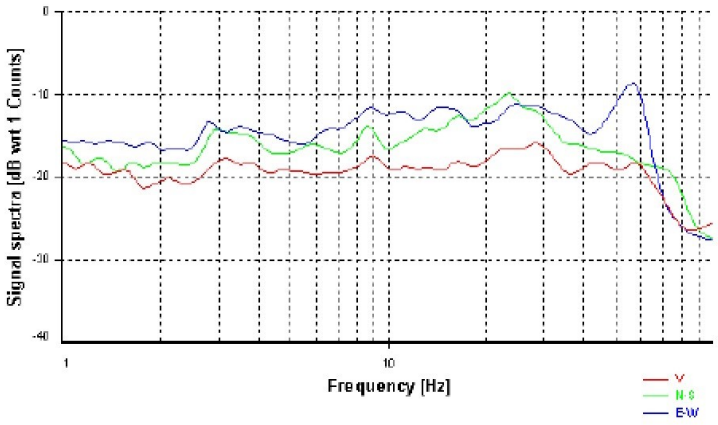
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Instrumental correction: Disabled

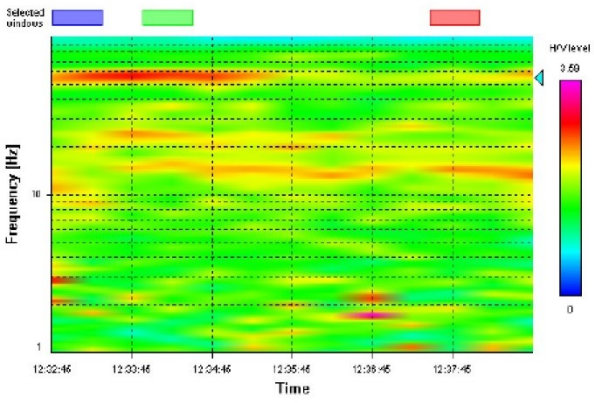
HVSR average



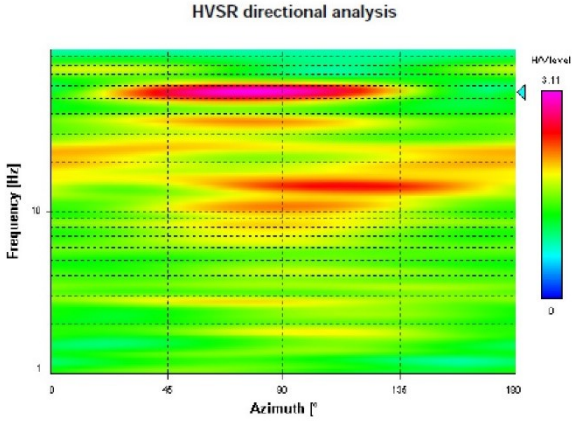
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



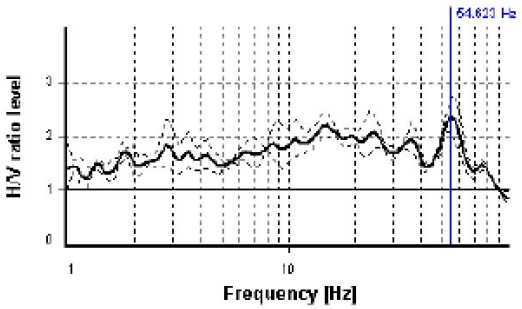
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

54.623 Hz

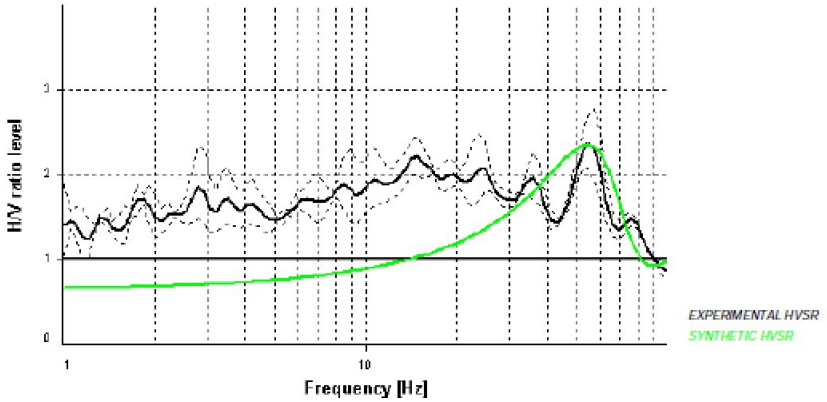
A_0 amplitude = 2.368

Average f_0 = 55.490 ± 1.502

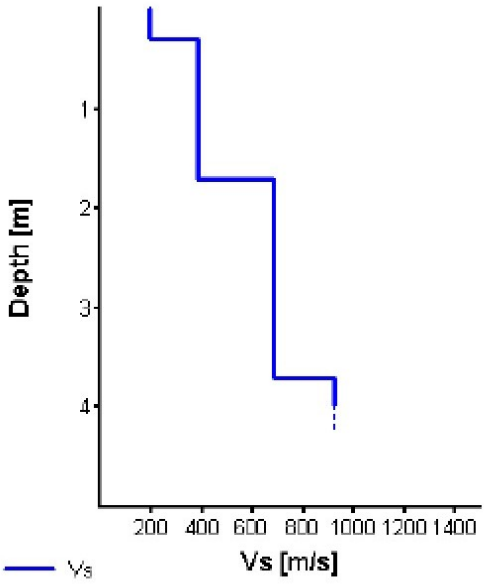


HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	3 valid windows (length > 0.18 s) out of 3	OK
$n_c(f_0) > 200$	6554.73 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 28	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	86.9749 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.37 > 2	OK
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5$	4.76% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.50163 < 2.73114	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.13691 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Synthetic HVSR modelling



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m³]
0.3	0.3	460	190	18
1.4	1.7	830	380	21
2	3.7	1400	680	24
-	> 3.7	1900	920	27



Vs_{eq} 30 = 815 m/s (Offset = 0 m)

Nello specifico, il profilo Vs/profondità evidenzia:

- graduale aumento delle Vs con la profondità
- primo salto significativo delle Vs a circa 0.3 m riconducibile a interfaccia materiali di superficie scarsamente addensati (terreno vegetale) con coltri detritiche eluviali a medio grado di addensamento;
- secondo salto significativo delle Vs a circa 1.7 m riconducibile al cappellaccio di alterazione del substrato roccioso;
- terzo salto significativo a 3.7 m di profondità, ascrivibile al substrato roccioso mediamente compatto.

Calcolo Vs equivalente

La Vs equivalente (NTC 2018) è la velocità media di propagazione delle onde di taglio all'interno del volume di terreno/substrato roccioso interessato dall'intervento (volume significativo) e viene calcolata a partire dalla velocità delle onde di taglio.

La Vs equivalente risulta pertanto:

Vs eq = $\frac{H}{\sum_{i=1}^{n} \frac{hi}{Vsi}}$

dove h_i e Vs_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, **N** il numero di strati e **H** la 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 pari a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs eq è definita dal parametro Vs eq ottenuto ponendo H = 30 m nell'equazione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a quella profondità.

In questo caso la **Vs eq** calcolata al piano campagna è risultata pari a **815 m/s**.

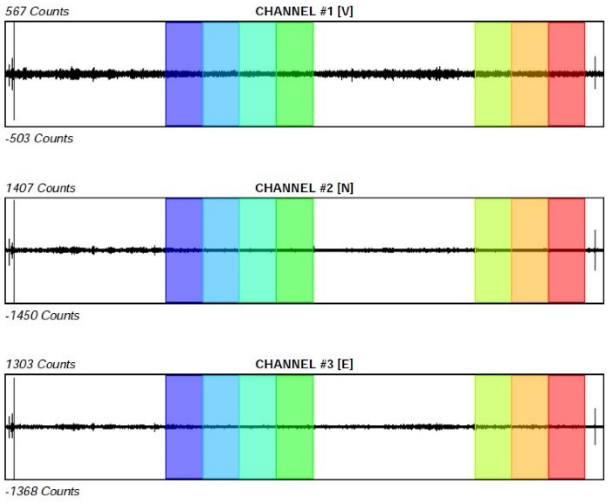
Place ID: Tersia Bardineto Torre 2

STATION INFORMATION

Station code:	TR01
Model:	SARA GEOBOX
Sensor:	SARA SA10PACK (integrated accelerometers)

SIGNAL AND WINDOWING

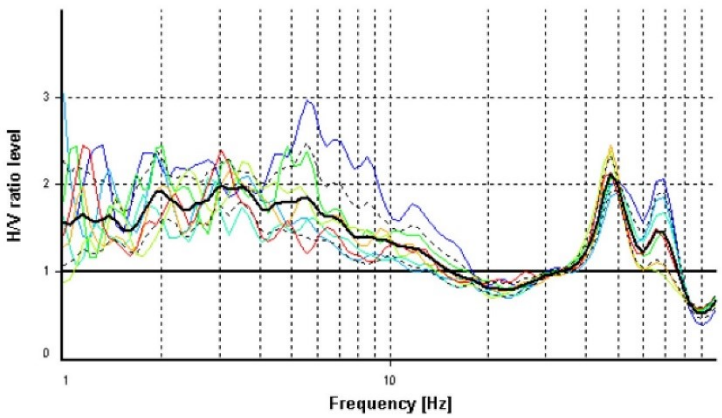
Sampling frequency:	300 Hz
Recording start time:	2022/11/16 13:07:41
Recording length:	10.83 min
Windows count:	7
Average windows length:	40
Signal coverage:	43.08%

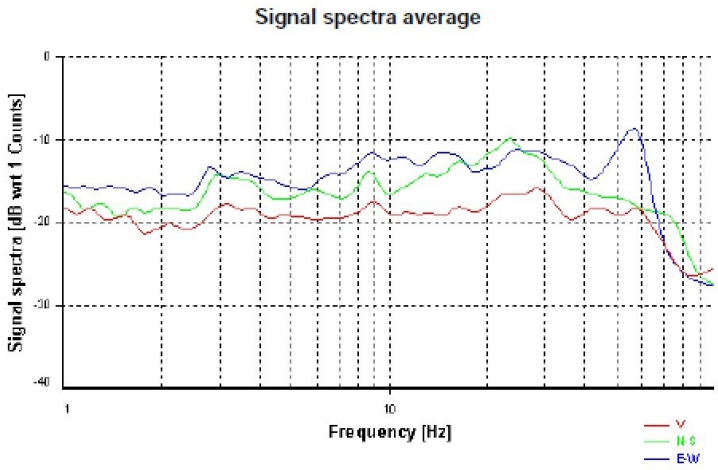


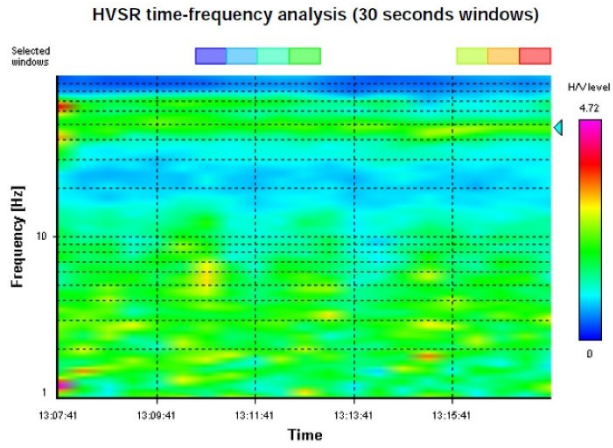
HVSR ANALYSIS

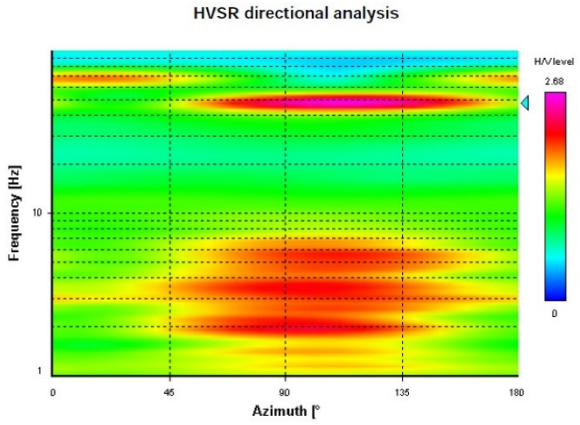
Tapering:	Enabled (Bandwidth = 5%)
Smoothing:	Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Instrumental correction:	Disabled

HVSR average









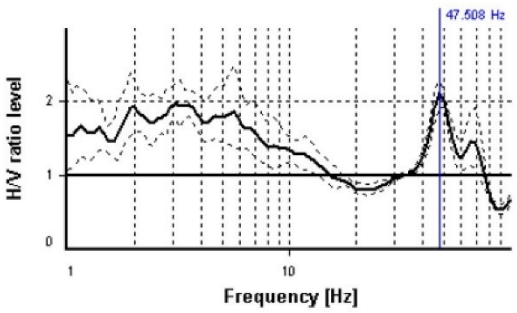
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

47.508 Hz

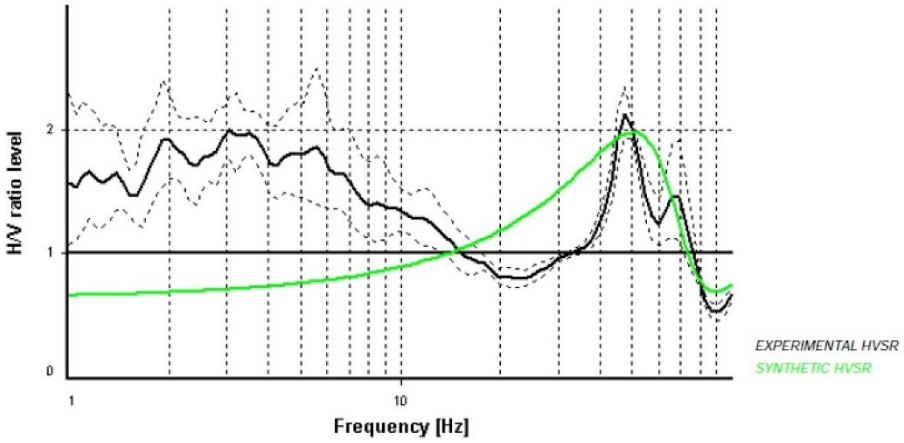
A_0 amplitude = 2.125

Average f_0 = 48.478 ± 1.209

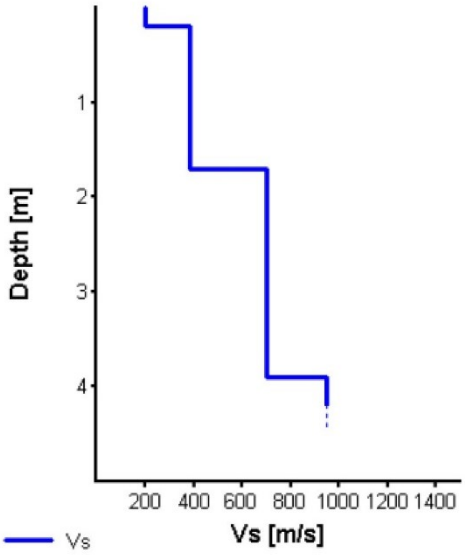


HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	7 valid windows (length > 0.21 s) out of 7	OK
$n_c(f_0) > 200$	13302.27 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f^- \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	35.93814 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	75.64633 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.12 > 2	OK
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5$	4.76% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.20916 < 2.37541	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.10236 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Synthetic HVSR modelling



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m³]
0.2	0.2	460	200	18
1.5	1.7	830	380	21
2.2	3.9	1400	700	24
-	> 3.9	1900	950	27



Vs_{eq} 30 = 844 m/s (Offset = 0 m)

Nello specifico, il profilo Vs/profondità evidenzia:

- graduale aumento delle Vs con la profondità
- primo salto significativo delle Vs a circa 0.2 m riconducibile a interfaccia materiali di superficie scarsamente addensati (terreno vegetale) con coltri detritiche eluviali a medio grado di addensamento;
- secondo salto significativo delle Vs a circa 1.7 m riconducibile al cappellaccio di alterazione del substrato roccioso;
- terzo salto significativo a 3.9 m di profondità, ascrivibile al substrato roccioso mediamente compatto.

Calcolo Vs equivalente

La Vs equivalente (NTC 2018) è la velocità media di propagazione delle onde di taglio all'interno del volume di terreno/substrato roccioso interessato dall'intervento (volume significativo) e viene calcolata a partire dalla velocità delle onde di taglio.

La Vs equivalente risulta pertanto:

$$\textbf{Vs eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{n} \frac{hi}{Vsi}}$$

dove h_i e Vs_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, **N** il numero di strati e **H** la 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 pari a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs eq è definita dal parametro Vs eq ottenuto ponendo H = 30 m nell'equazione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a quella profondità.

In questo caso la **Vs eq** calcolata al piano campagna è risultata pari a **844 m/s**.

Categoria del suolo di fondazione

Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche dell'area e in particolare delle risultanze delle indagini HVSR che hanno permesso di ricavare una velocità delle onde Vs eq pari a 815 m/s in corrispondenza della Torre 1 e pari a 844 m/s in corrispondenza della Torre 2, è possibile individuare il sito in esame come ricadente nella categoria di sottosuolo A tra quelle previste alla tabella 3.2 II delle NTC 2018, caratterizzata da "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,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 – *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.

-

5.2 Rilievo geostrutturale

Allo scopo di individuare e definire le caratteristiche strutturali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, nella zona è stata eseguita un'analisi geostrutturale di dettaglio dell'ammasso roccioso.

Il rilievo è stato eseguito adottando, come metodologia di lavoro, le indicazioni riportate in ISRM 1978 "Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses".

Le singole superfici di discontinuità, strati o fratture, sono state caratterizzate attraverso i seguenti parametri: orientazione, spaziatura, forma, scabrezza, apertura, riempimento e presenza d'acqua.

Per ogni discontinuità rilevata sono stati descritti i parametri geometrici e fisico-meccanici principali (giacitura, persistenza, spaziatura, scabrezza, apertura, condizioni d'alterazione, presenza d'acqua, riempimento). Le classi in cui sono stati suddivisi i valori misurati per i differenti parametri sono quelle suggerite da ISRM (2007).

L'utilizzo di uno *Shape Tracer* (con passo di lettura inferiore a 1 mm) ha consentito di verificare i profili di scabrezza dei singoli giunti esaminati, quindi di esprimere quantitativamente l'entità delle asperità sulla parete del giunto, attraverso il confronto con i profili standard proposti dalla ISRM (1978).

La resistenza a compressione delle superfici di discontinuità (JCS) è stata determinata in funzione dell'espressione proposta da Barton e Choubey (1977) a partire dalle misure del rimbalzo dello sclerometro di tipo L effettuate in situ.

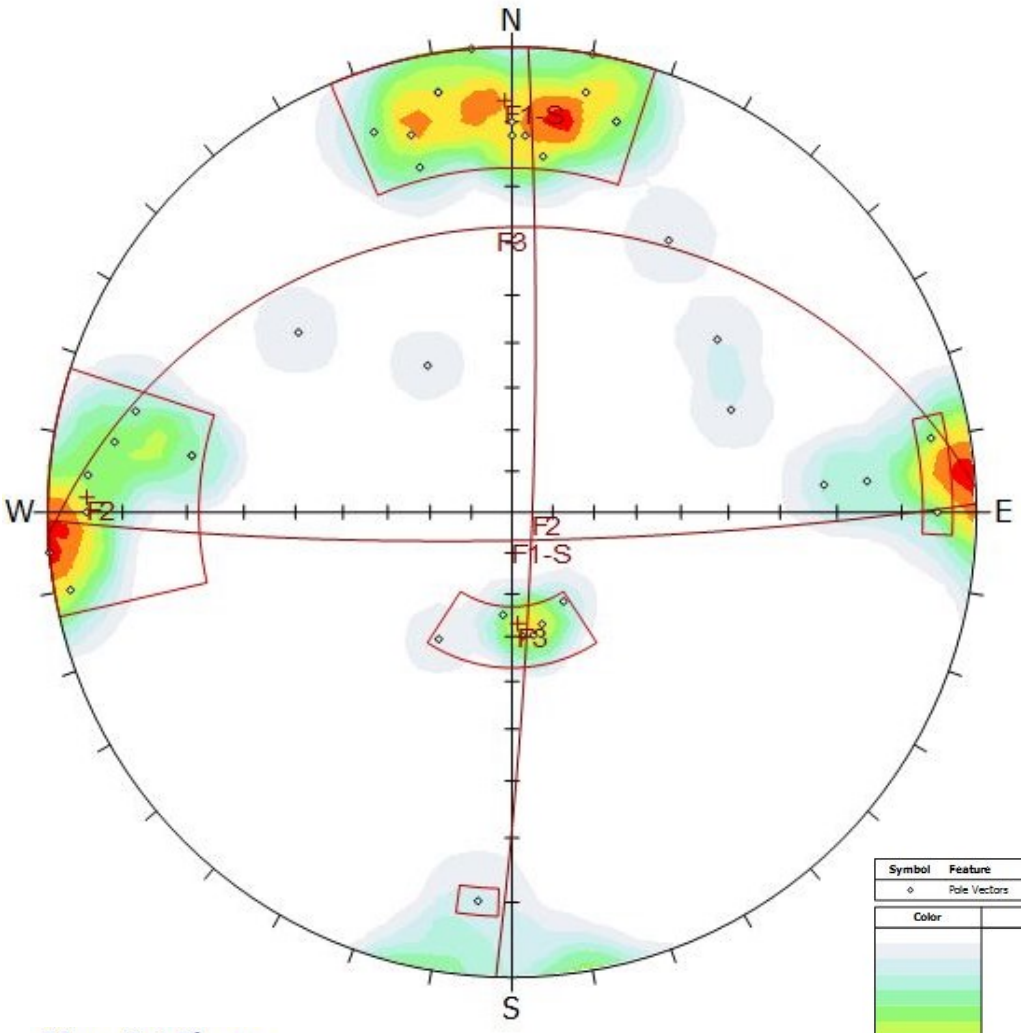
Per derivare JCS dai valori dei rimbalzi "r" ottenuti sulle superfici delle differenti famiglie individuate, previa correzione degli stessi in funzione dell'orientazione del martello rispetto alla superficie testata, si è applicata la relazione:

$\log(\sigma c) = 0.00088\ r\ \gamma + 1.01$, dove γ è il peso di volume della roccia, assunto pari a 2.60 ton/mc.

L'orientazione spaziale delle superfici di discontinuità è stata rappresentata mediante proiezioni stereografiche equiareali su reticolo di Schmidt (semisfera inferiore). La giacitura di una superficie è espressa, nelle proiezioni stereografiche, come direzione dell'immersione, con valore variabile da 0° a 360°.

Adottando la metodologia indicata da ISRM 1978 sono stati misurati per ogni discontinuità riscontrata sul terreno l'orientazione spaziale, quindi l'azimut del vettore immersione rispetto al N e l'inclinazione del piano rispetto all'orizzontale, e ne è stata analizzata la distribuzione statistica con proiezione stereografica su reticolo di Schmidt tramite il software *Dips vers. 7.0* (Rocscience Inc. - Toronto), cercando di determinare la distribuzione e le rispettive caratteristiche dei principali raggruppamenti di discontinuità nell'ipotesi che i dati siano rappresentati da una distribuzione di tipo normale, secondo quanto asserito anche nelle note "Rock engineering – course notes by Hoek (2001), laddove si sottolinea come la distribuzione statistica dei parametri geomeccanici sia ben approssimata da una distribuzione normale, a meno di non avere a disposizione una rilevante mole di dati da cui derivare un tipo diverso di rappresentazione.

Nella figura rappresentata qui di seguito si riporta, mediante rappresentazioni stereografiche, la distribuzione della densità dei poli delle discontinuità rilevate, nonché le ciclografiche ed i poli corrispondenti ai piani medi misurati.



Mean Set Planes

ID	Dip	Dip Direction	Label
1m	83.00	179.16	F1-S
2m	84.50	91.71	F2
3m	27.50	357.07	F3

Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.30
	1.30 - 2.60
	2.60 - 3.90
	3.90 - 5.20
	5.20 - 6.50
	6.50 - 7.80
	7.80 - 9.10
	9.10 - 10.40
	10.40 - 11.70
	11.70 - 13.00

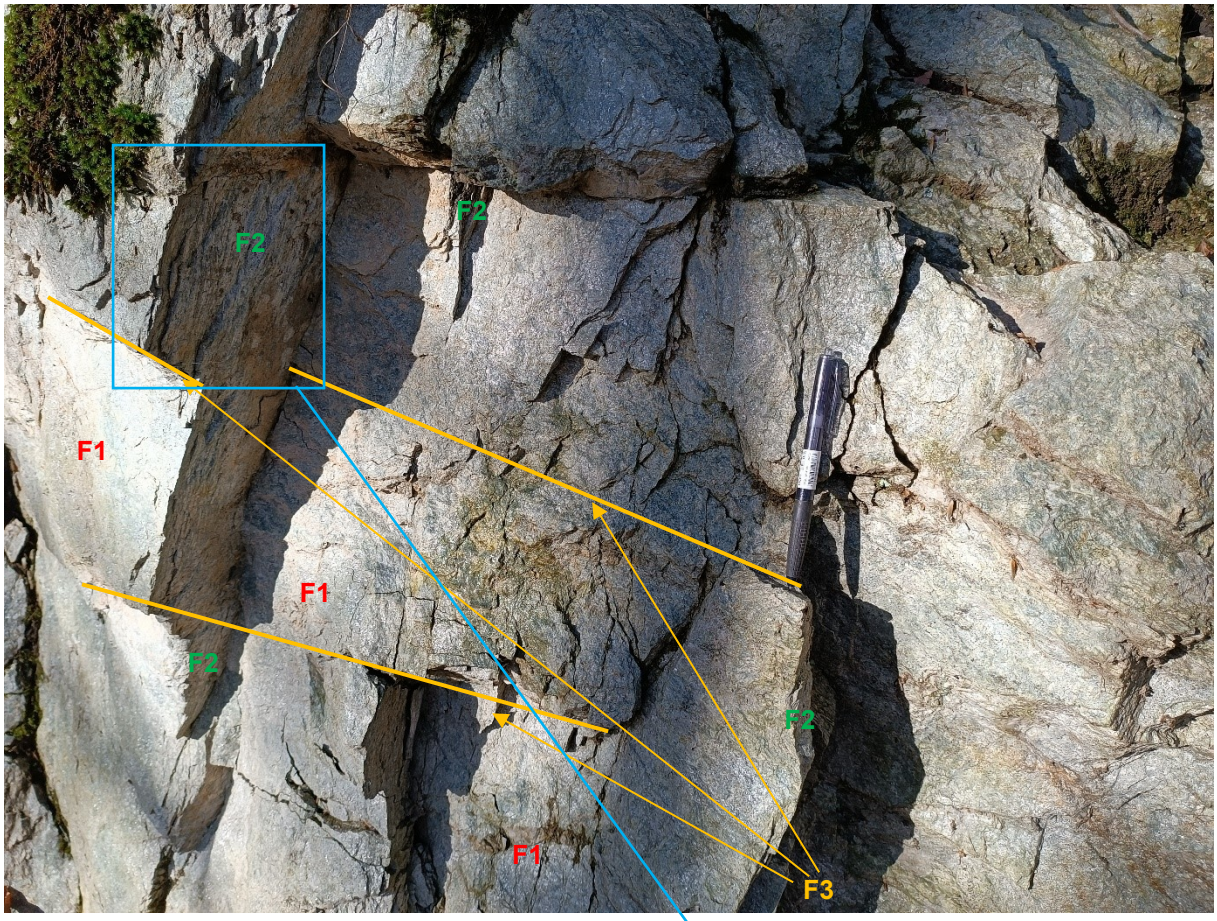
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	12.83%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	39 (39 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Orientazione delle discontinuità.

L'elaborazione delle misure di giacitura registrate in situ (immersione ed inclinazione) è stata eseguita attraverso la proiezione stereografica di Schmidt.

La proiezione dei poli dei piani su un reticolo equatoriale equal-area e la successiva analisi statistica dei cluster, ha permesso di individuare, all'interno dell'ammasso roccioso, tre famiglie di discontinuità principali. Nella foto qui di seguito riprodotta si sono evidenziati i 3 set di discontinuità, per una più chiara ed esaustiva comprensione delle loro posizioni spaziali.



La più importante e ricorrente discontinuità è quella rappresentata dalla pseudo-scistosità del litotipo, sovente mascherata, alla scala del rilevamento, dalla sovrapposizione sulla stessa di un set di fratturazione (F1), come individuabile anche visivamente nella fotografia qui a lato, ingrandimento di quella riprodotta sopra.



Tale famiglia è orientata in direzione Sud, con inclinazione dell'ordine di circa 80-85°. Le altre tre famiglie, rappresentano giunti di frattura, di minore persistenza rispetto alla famiglia precedente, con andamento maggiormente disperso.

I set principali di discontinuità individuati all'interno dell'ammasso dall'analisi dei cluster sono i seguenti:

Discontinuità F1 (pseudoscistosità): 179°/83°

Discontinuità F2: 92°/84°

Discontinuità F3: 357°/27°

La sostanziale caratteristica che accomuna le famiglie di discontinuità F1 e F2 è l'angolo di inclinazione, sempre molto elevato e prossimo alla verticale, in contrasto con la terza famiglia di discontinuità F3, che invece denota un'inclinazione dell'ordine di circa 30 gradi.

Spaziatura.

L'esame della spaziatura ha rivelato valori ricorrenti per le singole famiglie distinte, con massima frequenza, per tutti i set di discontinuità, nell'intervallo 2-5 cm (28%) e nell'intervallo 10-50 cm (65%). Solo il 7% delle discontinuità ha una spaziatura compresa tra 0.50-2.00 mt, oltre a valori dispersi.

Apertura e riempimento.

L'apertura dei giunti di frattura negli affioramenti osservati è in generale millimetrica e i giunti risultano privi di riempimento.

, oltanto nelle porzioni sommitali del fronte o in corrispondenza di lineazioni tettoniche particolarmente evidenti, i giunti risultano allentati, beanti, oppure riempiti da detrito fine prodotto dal dilavamento superficiale del materiale roccioso e del terreno sommitale, sul ciglio della parete. Su alcune superfici sono presenti talora patine di ossidazione di colore ocraceo.

Forma e scabrezza.

Per definire qualitativamente tali parametri, che riguardano le caratteristiche geometriche delle pareti dei singoli giunti, sono state utilizzate definizioni codificate, scelte sulla base di quanto osservato direttamente sul terreno. La valutazione quantitativa della scabrezza, altrimenti definita rugosità, è stata invece effettuata attraverso l'utilizzo del pettine di Barton, per la definizione dell'indice JRC, proprio di ciascuna famiglia, illustrato nelle tabelle che seguono.

Più del 75% dei giunti analizzati presenta una forma segmentata ed ondulata, mentre i giunti piani rappresentano circa il 25%.

Le superfici dei giunti, alla scala standard di un decimetro, sono rugose nel 66% dei casi, lisce nel 18% dei casi ed in subordine, segmentate ed ondulate.

Acqua.

Nel contesto esaminato non sono state riscontrate percolazioni idriche attive dalle discontinuità dell'ammasso roccioso, stante anche la posizione morfologica sostanzialmente prossima al crinale. Si esclude pertanto che l'ammasso roccioso possa essere interessato da filtrazione e percolazione idrica. Sicuramente l'infiltrazione superficiale è possibile in occasione di eventi meteorici dove le fratture sono beanti e dove, pertanto, possono generarsi modeste sovrappressioni interstiziali.

Caratteristiche di rugosità e di resistenza delle discontinuità.

Le caratteristiche medie di resistenza lungo le discontinuità sono state ottenute per ciascuna discontinuità attraverso misure specifiche di rugosità e di resistenza.

È stata ottenuta un'ampia gamma di valori del parametro JRC con il pettine di Barton per le diverse famiglie di giunti.

Il valore di JCS, invece, è stato determinato attraverso l'esecuzione di prove sclerometriche mediante l'utilizzo del martello di Schmidt, con la formula:

$log(jcs) = 0{,}00088 * \gamma r + 1{,}01$

γ = peso di volume naturale della roccia (assunto pari a 26 KN/m3

r = valore del rimbalzo del martello corretto

Si riportano i dati ottenuti per ciascuna famiglia nella seguente tabella.

Discontinuità	F1	F2	F3
JRC	10	10-12	10
JCS	64	75	68

Sintesi delle caratteristiche delle discontinuità

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche geomeccaniche essenziali dei sistemi di discontinuità così come rilevate sui diversi affioramenti.

	F1	F2	F3
Orientazione	179/83	92/84	357/27
Lunghezza	>1 m	< 1 m	< 1 m
Spaziatura	10-30 cm	10-30 cm	30-50 cm
Scabrezza	Ondulata rugosa	Ondulata rugosa	Ondulata rugosa
JRC	10	10-12	10
JCS	64	75	68
Apertura	Millimetrica	Millimetrica	Millimetrica
Condizioni d'alterazione	Non alterata Debol. alterata (rara)	Non alterata Debol. alterata (rara)	Non alterata
Riempimento	Assente	Assente	Assente
Presenza d'acqua	Asciutta	Asciutta	Asciutta

Classificazione geomeccanica e criteri di rottura dell'ammasso roccioso

In esito ai rilievi geostrutturali compiuti sugli affioramenti rocciosi è stato possibile classificare l'ammasso roccioso, definendo i valori dei principali parametri geomeccanici che localmente caratterizzano l'ammasso roccioso.

L'analisi si è articolata in due fasi: in una prima fase si è eseguita una classificazione dell'ammasso roccioso basandosi sui dati del rilevamento generale e sintetizzando valori di qualità dell'ammasso con specifico riferimento alla classificazione di Bieniawski. In un secondo momento, ai fini della determinazione delle classi di qualità rappresentative delle diverse zone si è sviluppato un approccio di analisi della qualità su ciascuna area di rilevamento strutturale.

Il metodo introdotto da Bieniawski, noto come "Rock Mass Rating (RMR) System", sviluppato dall'autore a partire dagli anni 1972-1973, si basa sull'attribuzione di pesi a cinque parametri rappresentativi sia della roccia intatta sia delle condizioni dei giunti, la cui sommatoria risulta rappresentativa della qualità dell'ammasso roccioso nel suo complesso (RMR).

La classificazione si basa sulla determinazione dell'indice RMR come sommatoria di indici parziali relativi a:

• resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta;

• indice RQD (Rock Quality Designation), estrapolato dai valori di spaziatura;

• spaziatura dei giunti di discontinuità;

• condizione dei giunti di discontinuità (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, presenza di materiale di riempimento);

• condizioni idrauliche;

I valori degli indici parziali sono stati determinati sulla base della seguente tabella, scegliendo, parametro per parametro, la classe che meglio rappresenta l'effettiva situazione dell'ammasso roccioso in esame.

A - Classification parameters and their ratings

PARAMETER			RANGES OF VALUES						
1	Streing of intact rock material	Point-load strengt index	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred		
		Uniassial compressive strengt	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces OR Gouge < 5 mm thinck OR Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thinck OR Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel lenght	None	< 10 litres/min	10 - 25 litres/min	25 - 125 litres/min	>125 litres/min		
		Ratio joint water pressure / major principal stress	0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General condition	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		

La sommatoria dei coefficienti numerici dei cinque fattori fornisce un indice globale delle condizioni geomeccaniche della massa (Rock Mass Rating).

Total Rating	100 – 81	80 - 61	60 – 41	40 – 21	< 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Pessimo

Il valore di RMR ottenuto per l'ammasso roccioso è pari a 65, cui corrisponde la classe II - Buona

Dal valore RMR ottenuto in condizioni anidre, cioè considerando l'ammasso completamente asciutto, si ricava, dalla nota correlazione, GSI - Geological Strenght Index GSI = RMR (Bieniawski, 1989) – 5 (Hoek, 1995).

LITOTIPO	RMRdry	CLASSE E QUALITÀ	GSI
Ortogneiss metagranitoidi	**70**	**II - BUONA**	**65**

Il criterio di rottura generalizzato di Hoek – Brown, formulato su base empirica, esprime con una relazione non lineare la resistenza dell'ammasso roccioso in funzione degli sforzi principali a rottura (σ1 e σ3), utilizzando le proprietà di resistenza della roccia intatta e le caratteristiche geologiche dell'ammasso roccioso. Va sottolineato come tale criterio sia ampiamente valido laddove la scala dello studio sia notevolmente maggiore rispetto a quella della spaziatura dei sistemi di discontinuità e comunque richiede che siano presenti almeno tre famiglie di fratture.

Gli sforzi principali a rottura sono messi in relazione con la resistenza a compressione uniassiale della roccia integra (σci), introducendo fattori di riduzione per mezzo di alcune costanti empiriche, legate alle caratteristiche geologiche dell'ammasso roccioso (GSI, Geological Strength Index, Hoek et al., 2005, funzione dei parametri strutturali e del grado di alterazione, e l'indice mi, funzione delle caratteristiche litologiche) e tenendo conto del fattore di disturbo D, che stima gli effetti dell'uso di esplosivi.

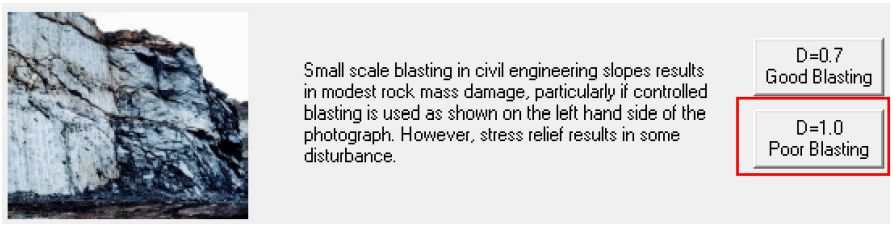
Per applicare il criterio di Hoek e Brown, sono state stimate le seguenti proprietà:

- la resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa (roccia intatta);

- il valore della costante mi della matrice rocciosa (dalle tabelle di riferimento fornite dall'Autore);

- il valore dell'indice GSI dell'ammasso roccioso, sulla base di criteri empirici, con riferimento alla tabella fornita dall'Autore e con il confronto con l'indice RMR anidro di Bieniawski, come calcolato in precedenza;

- lo "stato di disturbo" D, in termini di grado di fratturazione e allentamento dell'ammasso. Con riferimento alla problematica geotecnica in esame si assume la condizione di disturbo corrispondente a D = 1.0.



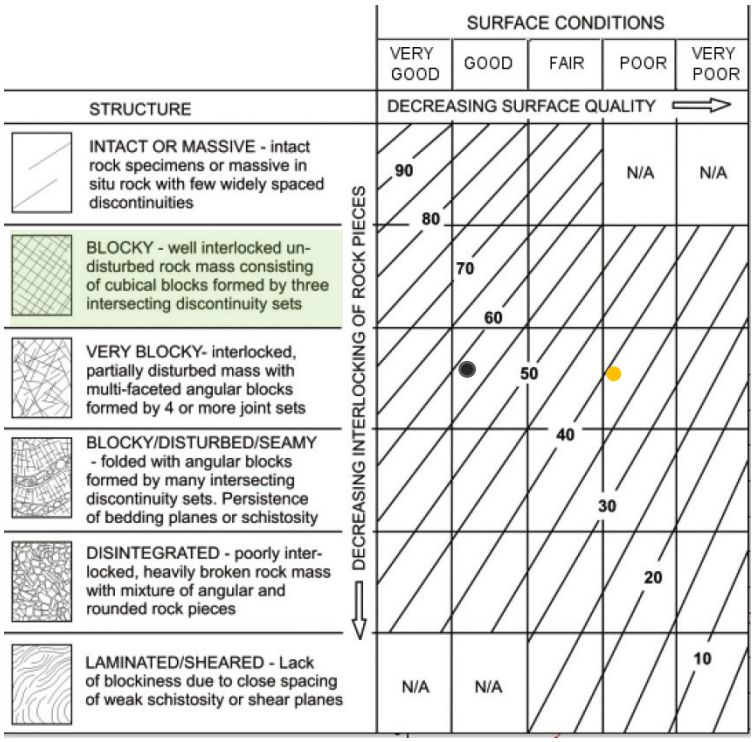
Per quanto riguarda l'indice GSI, l'ammasso roccioso può esser fatto rientrare nella classe **Blocky**, che è definita dalla presenza di diversi sistemi di discontinuità di frattura (3 o più), che scompongono l'ammasso roccioso in blocchi angolari.

Con riferimento alle condizioni geomeccaniche dell'ammasso roccioso, finalizzate alle condizioni di stabilità globale dei gradoni e dei fronti di scavo, occorre ribadire quanto già esposto in precedenza in relazione all'evidente grado di alterazione del substrato roccioso, nei primi metri, messo in risalto sia dall'osservazione in affioramento, sia dai risultati delle indagini sismiche, fattori che inducono anche all'accentuazione anche dei fenomeni di fratturazione, con un evidente scadimento del suo stato di conservazione.

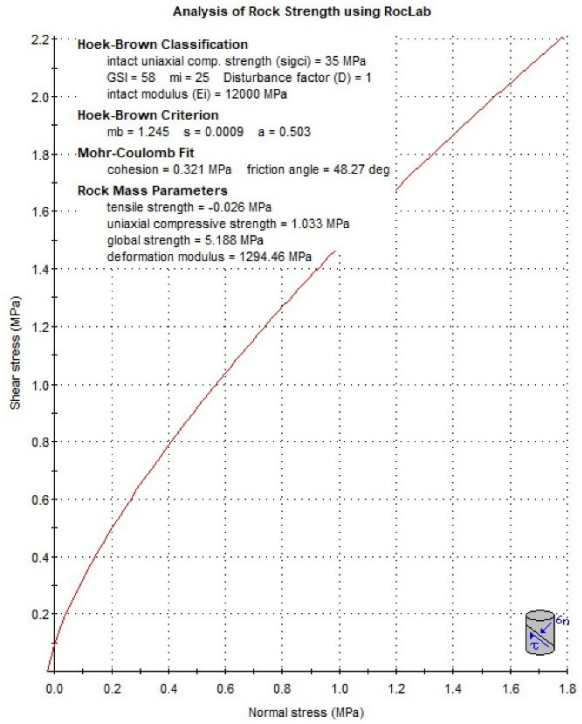
È stato pertanto possibile definire una "fascia di alterazione", che presenta spessori compresi tra 2 e4 m dalla superficie topografica, in cui le caratteristiche dell'ammasso roccioso sono in generale più scadenti, riflettendosi in un valore più basso dell'indice GSI.

Sono stati definiti due differenti valori di GSI, legati al variabile grado di interconnessione dei volumi unitari e di alterazione delle superfici di discontinuità. Il primo valore, GSI = 58 è stato attribuito all'ammasso roccioso integro; il secondo, GSI = 38, riguarda l'ammasso roccioso affiorante nelle porzioni sommitali riferibili alla vicinanza con la superficie topografica, che ne ha comportato una maggiore alterazione.

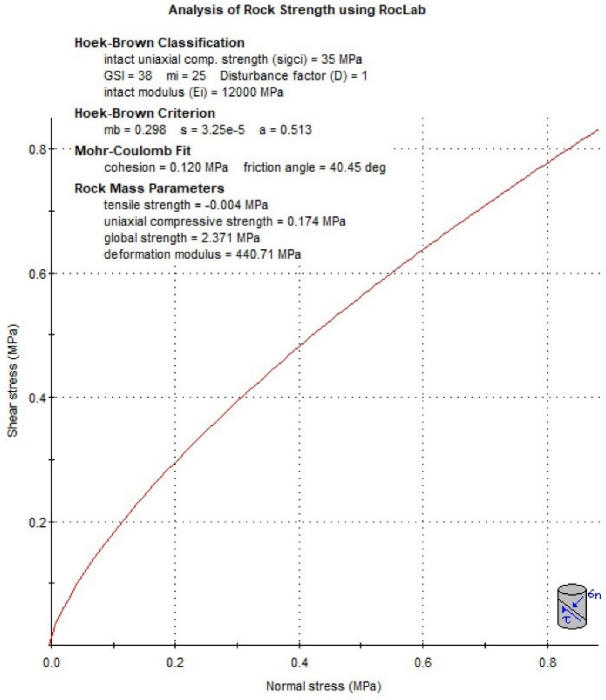
Il programma RocLab di Rocscience Inc. (Toronto, Canada) consente di calcolare le costanti empiriche e quindi la curva di rottura dell'ammasso roccioso. Dalla curva così ottenuta si possono poi calcolare i parametri di resistenza che meglio la approssimano secondo il criterio di rottura lineare di Mohr-Coulomb. Sviluppando l'analisi alle due condizioni dell'ammasso roccioso, differenziate per il valore di GSI, si ottiene:



Ammasso roccioso "integro"



Ammasso roccioso "alterato"

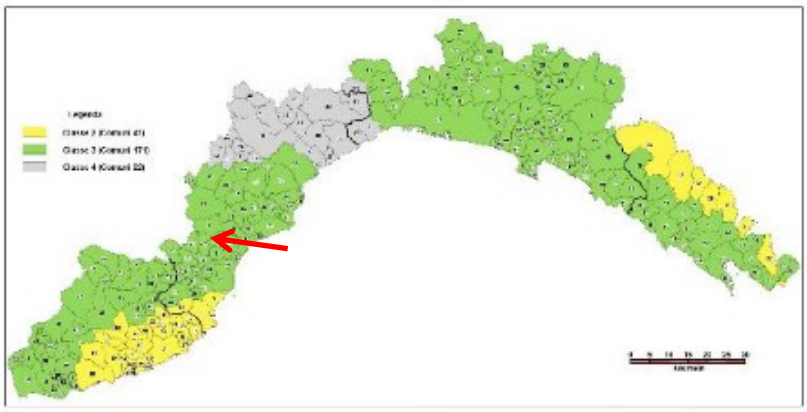


Sintesi dei parametri geomeccanici

Condizione ammasso roccioso	Angolo di attrito ϕ (°)	Coesione c (kPa)
GSI 58 - sano	**48**	**320**
GSI 38 - alterato	**40**	**120**

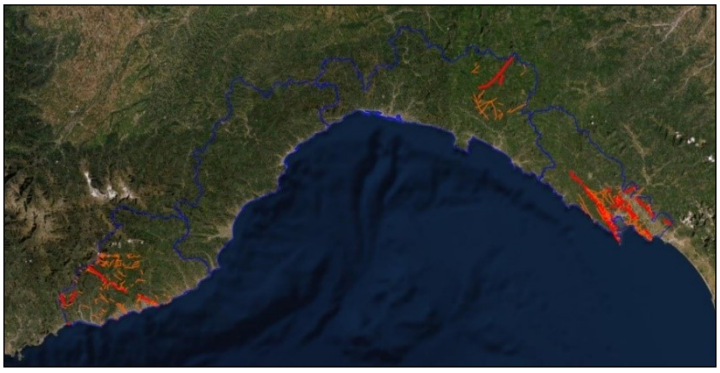
6. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE, EFFETTI DI SITO E LIQUEFACIBILITÀ.

L'area in esame è classificata in Zona Sismica 3 sulla base della D.G.R. n° 216/2017.



Carta della classificazione sismica dei Comuni della Liguria

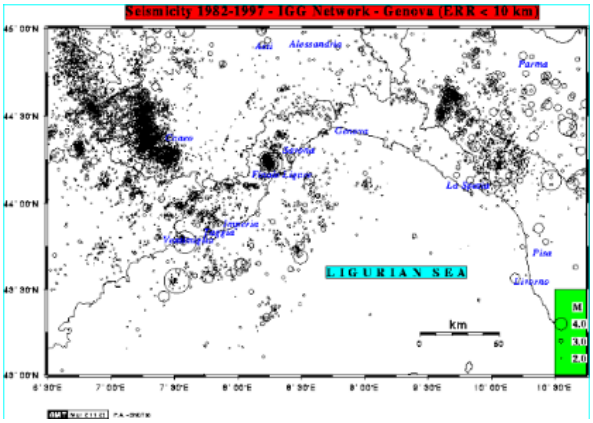
Il quadro sismotettonico locale e le analisi eseguite dall'INGV individuano per il territorio di Bardineto un grado medio-basso di rischio sismico, risentendo la zona, in modo più o meno intenso, degli effetti di propagazione e attenuazione di sismi con epicentro nel settore del Mar Ligure occidentale (Prov. Imperia) e orientale (Prov. La Spezia) e, in misura minore, nell'Appennino settentrionale. Nell'immagine satellitare riportata sono indicate, le zone sismogenetiche riconosciute della Liguria in base alla D.G.R.534 del 18.06.2021



Carta della Zone Sismogenetiche della Liguria

6.1 Sismicità storica

Esaminando la sismicità storica della zona del ponente savonese si evidenzia che la costa è frequentemente interessata da terremoti di media intensità con epicentri per lo più situati in prossimità della costa (sia in mare che in terraferma) o nella fascia in direttrice NW estesa dal Monviso al Mar Ligure. Gli epicentri sono in genere superficiali salvo alcuni al di sotto del Mar Ligure posti all'altezza del contatto crosta - mantello.



Carta sismicità storica per la Liguria Occidentale

6.2 Sorgenti sismogenetiche

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia ha diffuso, nell'ambito del Progetto DISS3, le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche

presenti sul territorio nazionale. In corrispondenza dell'area di studio non sono presenti sorgenti sismogenetiche. La sorgente sismogenetica più vicina all'area di intervento, codificata come "ITIS 130 Imperia Promontory", è situata a distanza superiore a 40 Km La seguente tabella (tratte dal sito dell' INGV) rappresenta le caratteristiche della sorgente sismogenetica indicata.

Code IT CS 022 **Name:** Imperia Promontory **Latest Update** 06/11/2013

Compiled By Vannoli P and Burrato, P

PARAMETRIC INFORMATION

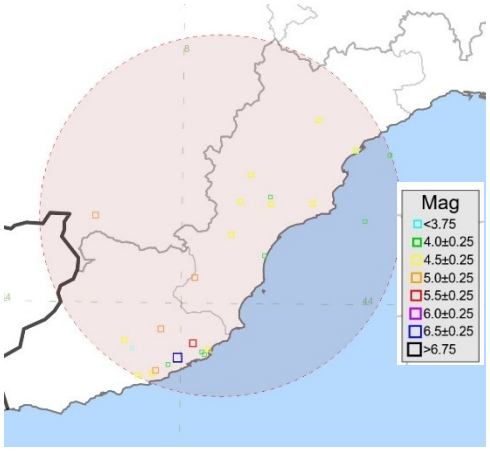
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Location [Lat/Lon]	43.88 / 8.28	EJ	Inferred from geological and morphobathymetric data.
Length [km]	32.0	EJ	Inferred from geological and morphobathymetric data.
Width [km]	15.0	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	5.5	OD	Based on geological and morphobathymetric data.
Max depth [km]	13.0	AR	Derived from from dip, width and minimum depth.
Strike [deg]	240	OD	Based on geological and morphobathymetric data.
Dip [deg]	30	OD	Based on geological data.
Rake [deg]	90	EJ	Inferred from active stress data.
Slip Per Event [m]	1.0	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min...max	0.15...0.2	EJ	Inferred from topographic and geological data.
Recurrence [y] min... max	5000... 6667	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	6.6	LD	Value adopted from the earthquake catalogue SHEEC.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP;EJ=EXPERT JUDGEMENT;

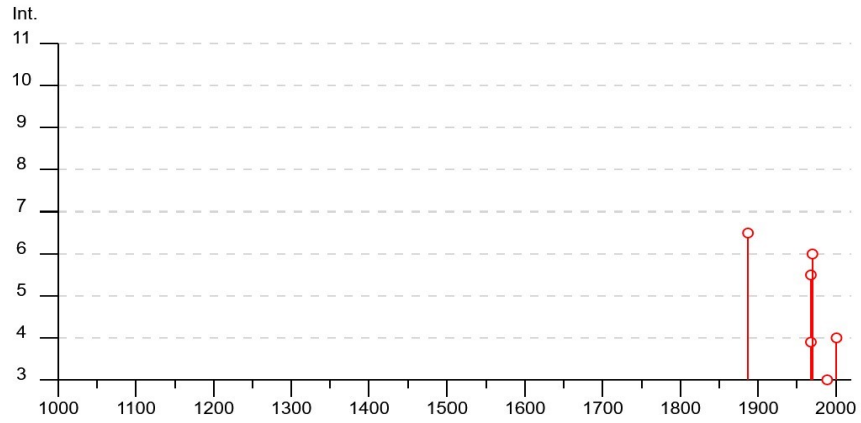
Si tratta di sorgente sismogenetica di media profondità (compresa tra 5 e 15 Km di profondità), in grado di produrre eventi sismici di magnitudo consistente (Mw superiore a 6). In considerazione della distanza esistente tra i margini della sorgente e l'area di intervento non sono da prevedere eventi sismici di particolare intensità.

6.3 Sismicità locale

Per la caratterizzazione della sismicità locale è stato fatto riferimento ad un'area circolare avente un raggio pari a 40 Km centrata sull'area d'intervento. Nell'area in oggetto sono stati riportati gli epicentri relativi ai terremoti strumentali, storici ed i dati concernenti i meccanismi focali presenti in letteratura.



Il terremoto di maggiore intensità, come si evidenzia dalla tabella rappresentata alla pagina seguente che riporta i riferimenti bibliografici utilizzati per la definizione del quadro macrosismico, è quello del 1887 che ha avuto epicentro nel Mar Ligure.

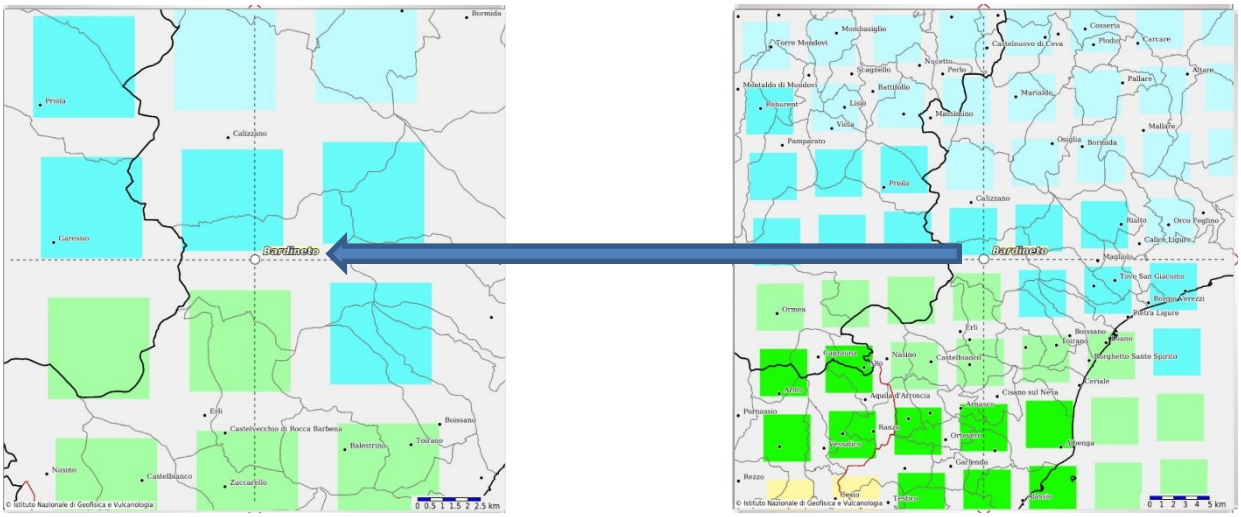


Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
NF	1909	05	27	06	10		Liguria occidentale	51	5-6	4.34
NF	1912	01	14	03	11		Liguria occidentale	19	4-5	3.89
5-6	1968	04	18	19	38	1	Liguria occidentale	51	7-8	4.93
F	1968	09	07	16	49	5	Savonese	12	5	4.39
6	1970	12	31	22	04	4	Liguria occidentale	79	6	4.62
3	1989	12	26	19	59	5	Mar Ligure	290		4.46
4	2001	02	06	22	28	4	Mar Ligure	47	4-5	4.17

Eventi sismici manifestatisi in un area di raggio 40 Km di Intensità superiore a 4 (CPTI15 – Anno 2017 - INGV)

6.4 Caratterizzazione sismica di base

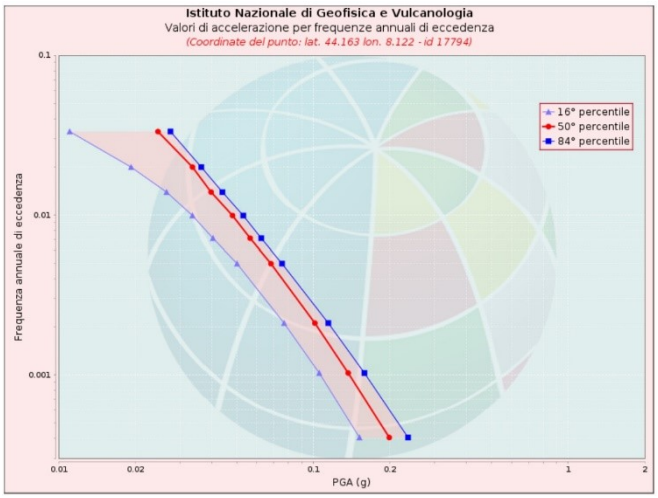
Nella carta probabilistica di pericolosità sismica, redatta dall'INGV Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (2006), adottata nell'Ordinanza P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006, che evidenzia per tutto il territorio italiano i valori attesi di accelerazione; come si osserva nell'immagine qui di seguito riprodotta, il territorio di **Bardineto** ricade in un'area con range compreso tra 0.050 e 0.100 PGA/ag.



Le azioni sismiche sono calcolate con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, corrispondente allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), come descritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza (Coordinate del punto: lat. 44.163 lon. 8.122 - id 17794)			
Frequenza annuale di eccedenza	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.1519	0.1988	0.2356
0.0010	0.1055	0.1371	0.1588
0.0021	0.0768	0.1015	0.1146
0.0050	0.0502	0.0682	0.0754
0.0071	0.0404	0.0565	0.0625
0.0099	0.0335	0.0482	0.0531
0.0139	0.0266	0.0397	0.0440
0.0199	0.0193	0.0336	0.0364
0.0332	0.0111	0.0246	0.0275

Tabella del parametro di scuotimento ag per le diverse probabilità annuali di superamento riferita al nodo più vicino all'area in studio.



Curve di hazard: grafico del parametro di scuotimento ag per le diverse probabilità annuali di superamento riferita al nodo più vicino all'area in studio.

Di seguito vengono riportati i dati di *DISAGGREGAZIONE* (o *deaggregazione*) della *pericolosità sismica* (*Mc Guire, 1995; Bazzurro e Cornell, 1999*) che consentono di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito.

La forma più comune della *disaggregazione* è quella *bidimensionale* in Magnitudo (M) e distanza (R) che permette di definire il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (*terremoto di scenario*) ossia l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

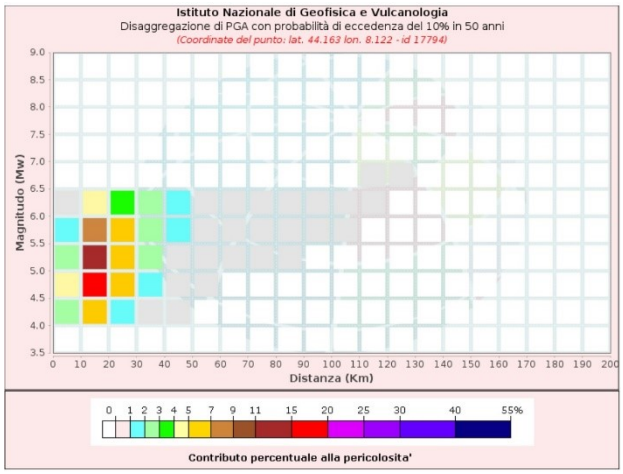


Grafico (a lato) e tabella (pagina seguente) della disaggregazione dei valori di ag ossia la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di magnitudo (M) e distanza (D) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita al nodo più vicino all'area in studio

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.163 lon. 8.122 - id 17794)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	2.3100	4.6000	2.8600	1.5200	0.6110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	6.3600	15.7000	13.0000	8.8300	4.3200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	1.8100	5.9700	6.9300	6.3300	3.8900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.2420	1.3700	2.2800	2.7100	2.0600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0033	0.3110	0.9540	1.3900	1.2500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0286	0.3370	0.6660	0.6970	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0617	0.2090	0.2560	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0059	0.0577	0.0869	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0171	0.0354	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0139	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0048	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Analogamente alla disaggregazione in M-R, è possibile definire la disaggregazione tridimensionale in M-R-ε dove ε rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una legge di attenuazione dati M ed R.

Di seguito vengono riportati i **parametri del terremoto di scenario**, ossia i valori medi della coppia Magnitudo (M) - Distanza (R) e relativa deviazione standard (ε) della sorgente che maggiormente contribuisce alla pericolosità sismica del **comune di Bardineto** ottenuti a seguito della disaggregazione: il valore medio dei dati riportati fornisce un sisma di Magnitudo 5,25 ad una distanza di 20,3 km dal sito.

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.25	20.3	0.82

6.5 Caratterizzazione sismica specifica del sito – Risposta sismica locale

Con riferimento al Decreto Ministeriale 17.01.2018 Testo Unitario –Norme Tecniche per le Costruzioni e alla Circolare 11 febbraio 2019 "Istruzioni per l'applicazione delle N.T.C.", si è caratterizzata la pericolosità sismica specifica del sito, in quanto l'accelerazione massima attesa per il sito in esame può essere valutata con riferimento alla condizione topografica e stratigrafica attraverso la relazione Amax = Ss x ST x ag

Per quel che concerne la classificazione del suolo finalizzata alla stima **dell'amplificazione sismica locale basata sulle caratteristiche litologiche e stratigrafiche dell'area**, sulla base dell'assetto litostratigrafico specifico e delle risultanze delle prove HVSR è possibile individuare il sito in esame come ricadente nella **categoria di sottosuolo A** tra quelle previste alla tabella 3.2 II delle NTC 2018, caratterizzata da "*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m*", da cui si ottiene il **coefficiente di amplificazione stratigrafica Ss** evidenziato nelle tabelle alle pagine seguenti.

Riguardo invece agli effetti d'**amplificazione sismica dovuta alle condizioni topografiche locali**, l'area d'intervento e classificabile nella categoria ***T3*** (indicata nella tabella 3.2.III del D.M. 17/01/18) ovvero – *"Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤i ≤30°"*

Con specifico riferimento alle opere in progetto, il progetto ha come fine la realizzazione di torri eoliche e annesse piazzole di servizio e viabilità di cantiere, ovvero opere senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. La tipologia ricade pertanto nella **classe d'uso II.**

La stima della pericolosità sismica è stata effettuata attraverso il software on line Geostru PS Parametri Sismici; ci si è basati sui seguenti dati di sito:

Torre 1

Coordinate WGS84: Lat 44.178 - Lng 8.097

Coordinate ED50: Lat 44.179 - Lng 8.098

Categoria sottosuolo: A Categoria topografica: T3 Vita nominale: 50 anni

Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, ambienti residenziali.

Classe d'uso: 2 Coefficiente d'uso: 1 Periodo di riferimento: 50 anni

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.025	2.483	0.177
Danno (SLD)	50	0.033	2.526	0.199
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.097	2.510	0.295
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.130	2.528	0.309

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.006	0.008	0.023	0.042
kv	0.003	0.004	0.012	0.021
Amax [m/s²]	0.291	0.392	1.136	1.528
Beta	0.200	0.200	0.200	0.270

Tr = tempo di ritorno

ag = accelerazione orizzontale massima al sito

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

Tc* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica

Cc = Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

St = coefficiente di amplificazione topografica

Kh = coefficiente sismico orizzontale

Kv = coefficiente sismico verticale

Amax = accelerazione massima

Beta = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

Torre 2

Coordinate WGS84: Lat 44.179 - Lng 8.101

Coordinate ED50: Lat 44.180 - Lng 8.102

Categoria sottosuolo: A Categoria topografica: T3 Vita nominale: 50 anni

Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, ambienti residenziali.

Classe d'uso: 2 Coefficiente d'uso: 1 Periodo di riferimento: 50 anni

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.025	2.484	0.177
Danno (SLD)	50	0.033	2.526	0.199
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.096	2.510	0.295
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.130	2.528	0.309
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Tr = tempo di ritorno

ag = accelerazione orizzontale massima al sito

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

Tc* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica

Cc = Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

St = coefficiente di amplificazione topografica

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.006	0.008	0.023	0.042
kv	0.003	0.004	0.012	0.021
Amax [m/s²]	0.290	0.392	1.134	1.526
Beta	0.200	0.200	0.200	0.270

Kh = coefficiente sismico orizzontale

Kv = coefficiente sismico verticale

Amax = accelerazione massima

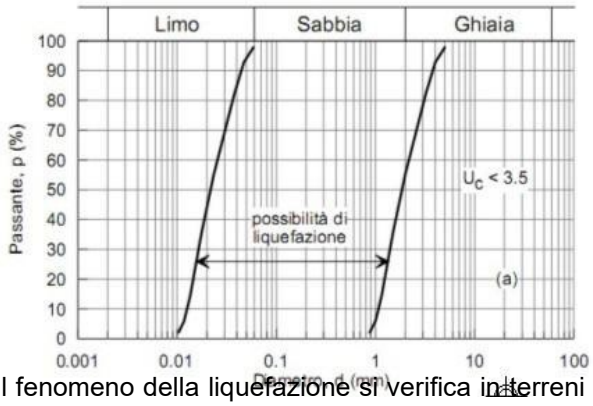
Beta = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

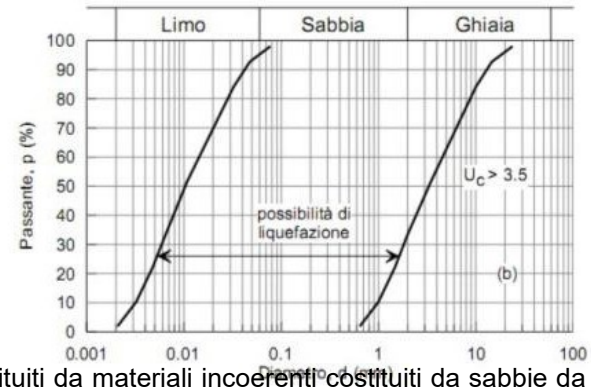
Da quanto sopra, le opere di nuova realizzazione dovranno essere progettate attenendosi a tali disposizioni tecnico-costruttive, nonché i calcoli e le verifiche relativi alla costruzione andranno condotti allo stato limite ultimo adottando i valori dei parametri sopra riportati, in adeguamento alle vigente normativa in materia di prevenzione del rischio sismico.

6.6 Suscettibilità del terreno alla liquefazione

Come indicato Nel Capitolo 7.11.3.4.2 delle Norme Tecniche NTC 18 viene specificato quando deve essere svolta la verifica a liquefazione dei terreni; in particolare, essa può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1) 60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5





Il fenomeno della liquefazione si verifica in terreni costituiti da materiali incoerenti costituiti da sabbie da fini a medie a granulometria uniforme, a bassa densità relativa saturi d'acqua, che nel corso di un evento sismico subiscono una forte riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale il terreno può scorrere o fluire nel caso di un pendio o assestarsi nel caso di una giacitura orizzontale.

Il fenomeno è dovuto ad un aumento temporaneo della pressione interstiziale causato dalle sollecitazioni cicliche del terremoto fino a valori prossimi alle pressioni totali.

La resistenza alla liquefazione è maggiore con la profondità e la probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua, pertanto si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti che presentano le seguenti caratteristiche:

• granulometricamente sono sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile generalmente dallo 0 al 25%;

• si trovano sotto falda;

• sono da poco a mediamente addensati (NSPT <20);

• si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori ai 15 metri).

A valle di queste considerazioni, trattandosi nello specifico di substrato litoide e di assenza di falda, risultano pertanto soddisfatte due delle condizioni di cui al punto 7.11.3.4.2 delle NTC e la verifica potrebbe essere omessa, in quanto **si può escludere la possibilità di liquefazione del terreno a seguito di sollecitazioni sismiche**.

D.G.R. 535/2021 Regione Liguria

La recente approvazione ed entrata in vigore della DGR 535 del 18/6/2021 - *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)* individua il Comune di **Bardineto** tra quelli ove, prendendo a riferimento un periodo di ritorno di **2475 anni**, il valore di Magnitudo del terremoto atteso (valore modale), derivante da una analisi di disaggregazione 1D, risulta maggiore o uguale a 5.0 ed anche il valore di ag in superficie risulta maggiore o uguale a 0.1g.

Nel regime transitorio vigente nelle more degli adeguamenti dello SUG alle suddette linee guida, fino al completamento della Microzonazione sismica dei territori comunali e l'adozione dei successivi aggiornamenti agli SUG, la valutazione del rischio liquefazione si localizza in determinati ambiti con precise caratteristiche sia geologiche che geomorfologiche, che permettono pertanto di escludere dalle zone a rischio determinate porzioni di territorio.

Criteri di tipo geologico

Depositi di tipo sedimentario

Età del deposito	Profondità della falda (metri)		
	< 9	Da 9 a 15	>15
Olocene recente	Elevata	Bassa	Molto bassa
Olocene antico	Moderata	Bassa	Molto bassa
Pleistocene recente	Bassa	Bassa	Molto bassa
Pleistocene antico	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa

Tab. A - Probabilità alla liquefazione di depositi sedimentari (Facciorusso, 2011)

Criteri di tipo geomorfologico

a) l'intervento edilizio ricade in ambienti geomorfologici riconducibili alle classi A e B della tabella B del §. 1: in questo caso occorre svolgere una preventiva verifica di compatibilità delle previsioni edificatorie

b) l'intervento edilizio NON ricade in ambienti geomorfologici di cui ai tipi A e B della tab B del precedente §.1 (rif. Condizioni e Contesti territoriali di applicazione): l'intervento è fattibile nel rispetto degli accertamenti ordinari di cui alle vigenti Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018), previ approfondimenti geologico-geotecnici.

Classe	Geomorfologia	Suscettibilità
A	Letti di fiume recenti e antichi; paludi; zone di bonifica; zone interdunari	Liquefazione probabile
B	Conoidi; argini naturali; dune di sabbia; pianure di esondazione; spiagge; altre pianure	Liquefazione possibile
C	Terrazzi; colline; montagne	Liquefazione non probabile

Tab. B - Classi di suscettività alla liquefazione in funzione della geomorfologia (Iwasaki et al., 1982)

Come evidenziato in precedenza, il contesto geomorfologico in cui l'intervento edilizio si colloca è costituito dalla fascia assiale di crinale, per le torri eoliche, e da ambito di versante collinare per la viabilità; sono inoltre assenti i depositi sedimentari; per tale ragione, come si evince dalla seguente tabella, l'intervento non ricade in un ambito geologico e geomorfologico suscettibile di liquefazione.

Tipo analisi	***Suscettibilità***
Analisi geologica	***probabilità nulla (non ricade in zone di deposito sedimentario)***
Analisi geomorfologica	***classe C liquefazione non probabile***

7. CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO.

L'ipotesi, progettuale prevede un Parco Eolico dotata di 2 torri eoliche di grande taglia, diametro rotorico previsto pari a 136 m, altezza al mozzo pari a 111 m e 4.5 MW di potenza unitaria.

L'intervento prevede sbancamenti importanti in termini di altezze e volumi di scavo, in quanto per ogni piazzola sarà previsto la formazione di un piazzale di manovra e movimentazione del materiale, nonché lo scavo della fondazione della singola torre.

La dimensione dei piazzali è stata ridotta al minimo necessario per la movimentazione ed il montaggio delle varie componenti in quanto lo stoccaggio avverrà in un piazzale esistente ed il cantiere sarà di tipo *just-in-*time, per cui ogni elemento verrà trasportato in loco solamente nel momento della sua installazione vera e propria.

Per quanto riguarda la viabilità di accesso alle torri, è previsto che tutte le macchine operatrici e tutti i mezzi che saranno impiegati per i trasporti in cantiere transiteranno lungo la strada esistente che diparte dal C.le S. Bernardo e conduce fino al confine regionale, proseguendo fino al Bric Schenasso.

Da qui, su viabilità forestale, si raggiungerà l'area di cantiere centrale e le due torri eoliche

L'intento della società proponente è quello apportare modifiche puntuali e localizzate alla carreggiata delle strade esistenti affinché le medesime risultino idonee per il transito degli autoarticolati che saranno impiegati per il trasporto delle componenti di impianto che costituiscono il parco eolico quali i conci delle torri, le navicelle che accolgono i generatori e le pale che compongono il rotore.

Il collegamento alla rete di distribuzione elettrica avverrà mediante un cavidotto completamente interrato, su viabilità presente, con punto di connessione in cabina MT realizzata in prossimità della sottostazione AT nel territorio comunale di Garessio (CN).

8. AEROGENERATORI E AREA DI CANTIERE SOMMITALE.

Le singole zone di indagine delle Torri T1 e T2 e l'area di cantiere centrale presentano nel complesso caratteristiche simili per geomorfologia, litostratigrafia ed uso del suolo (cfr. Tav. BA-GE-TAV. 01 – Carta Geomorfologica, scala 1:1.500).

L'area che ospiterà l'aerogeneratore T1 è posta in corrispondenza della fascia assiale della dorsale del Bric Tencione, sul settore di versante meridionale che si sviluppa tra le quote 1180 e 1188 m s.l.m..

In questo punto la sommità della dorsale, culminante nel Bric Tencione, risulta piuttosto arrotondata e caratterizzata da una pendenza molto modesta, con inclinazione dell'ordine di 15-16°, anche a valle dell'area di interesse, fino grosso modo alla quota 1170 m; più a valle la pendenza si accentua, anche se sempre con valori di inclinazione contenuti all'intorno dei 20-22°.

L'area su cui sarà realizzato l'aerogeneratore T2 si colloca in corrispondenza della fascia assiale della dorsale de I Groppi, sul settore di versante settentrionale che si sviluppa tra le quote 1160 e 1166 m s.l.m..

Anche in questo punto la sommità della dorsale culminante ne I Groppi (1174 m s.l.m.), risulta piuttosto arrotondata e caratterizzata da una pendenza molto modesta, con inclinazione dell'ordine di 16-18°, anche a valle dell'area di interesse, fino grosso modo alla quota 1155 m; più a valle la pendenza si accentua, anche se sempre con valori di inclinazione contenuti all'intorno dei 22-24°.

Va da sé che acclività così basse, in tutte le immediate vicinanze del sito, escludono la formazione di morfologie accidentate, anche a seguito della presenza del substrato roccioso affiorante e/o subaffiorante.

L'uso del suolo predominante è quello boschivo, modificato unicamente dalla sentieristica locale e dalle opere di manutenzione e taglio del bosco stesso

Sulla base di quanto evidenziato nel corso dei sopralluoghi sul campo, dai rilievi sul terreno e dall'analisi dei dati di archivio (IFFI, PAI), sul sito in oggetto e nelle aree circostanti, a livello di versante, non si rileva la presenza di indizi morfologici di dissesti franosi o di instabilità pregresse o in atto o franosità superficiale puntuale o diffusa, attiva o quiescente, come tipico in zona lungo le aree di dorsale collinare e sulla parte più elevata dei versanti.

Nell'area in esame è presente il substrato roccioso a modesta profondità: si tratta degli ortogneiss metagranitoidi già descritti in precedenza ed affioranti in più punti, a partire dai tagli di versante in prossimità delle strade

poderali e in diversi punti dei sentieri/carrarecce che vanno in direzione della sommità del poggio collinare in oggetto.

Le indagini hanno permesso di ricostruire alcune sezioni geologiche interpretative, (cfr. BA-GE-Tav. 02 – Torre T1 – Sezioni geologiche interpretative e BA-GE-Tav 03 Torre T2 e Area Cantiere – Sezioni geologiche interpretative, scala 1:250

Come rappresentato anche graficamente, dalle indagini dirette effettuate in sito all'interno delle aree di fondazione e delle piazzole definitiva il substrato roccioso compatto si rinviene generalmente entro 1.5-2.0 m dal piano campagna e lo spessore del livello di alterazione non supera 1.5 m, con copertura detritico-colluviale di ridotta potenza, da decimetrica a metrica.

Il substrato roccioso verrà pertanto sicuramente intercettato dalle future fondazioni dell'aerogeneratore, mentre la piazzola di servizio e/o parte delle strutture di accesso saranno poste parte in scavo, parte su rilevato, con appoggio sul substrato roccioso, previo scotico del sottile livello di coltre sciolta presente.

Per quel che concerne la classificazione sismica, rimandando i dettagli a quanto esposto già in precedenza, il sito in esame ricade nella **categoria di sottosuolo A** tra quelle previste alla tabella 3.2 II delle NTC 2018, caratterizzata da "*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m*", mentre per quanto riguarda gli effetti d'**amplificazione sismica dovuta alle condizioni topografiche locali**, l'area d'intervento e classificabile nella categoria ***T3*** (indicata nella tabella 3.2.III del D.M. 17/01/18) ovvero – *"Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤i ≤30°"*

Considerazioni tecniche per la fase esecutiva

Opere fondazionali

Il calcolo e il dimensionamento delle importanti opere di fondazione delle singole torri sarà sviluppata in sede di progettazione strutturale. Dal punto di vista di una schematica analisi di compatibilità geotecnica, si devono tuttavia effettuare alcune osservazioni, inerenti le caratteristiche geostratigrafiche e geomeccaniche dei terreni che costituiranno la base di appoggio.

Infatti il posizionarsi dei sedimi di progetto in ambito di versante, seppur ad acclività moderata, comporta necessariamente che la natura geotecnica dei terreni costituenti l'ampia base di appoggio delle singole torri non sia omogenea, interessando sia gli strati di alterazione del substrato roccioso, sia il substrato a minore alterazione e fratturazione. Questo comporterà necessariamente la presenza di possibili disomogeneità relative alla risposta del suolo alle sollecitazioni di progetto, che dovranno essere attentamente valutate in sede di progettazione esecutiva, eventualmente ricorrendo a opere di fondazione mista (platea su pali) o di approfondimento della quota di fondazione.

A questo proposito in fase esecutiva sarà importante precisare, mediante indagini dirette specifiche quali sondaggi a carotaggio continuo, prove di laboratorio su campioni di terreno e rocce e l'esecuzione di sismica in foro tipo down-hole le caratteristiche meccaniche degli ortogneiss: le indagini saranno utili anche per controllare lo spessore della copertura detritico-eluviale.

Fronti di scavo

Analizzando gli elaborati di progetto in comparazione con la morfologia attuale, si osserva come l'altezza massima effettiva prevista risulta assai variabile da un massimo di 10-12 mt per la Torre T1 ai circa 4-6 mt per la Torre T2. I fronti di scavo si giustificano correlando il posizionamento altimetrico delle varie opere di fondazione rispetto al piano campagna attuale.

In considerazione della stratigrafia presente in loco gli sbancamenti vanno ad interessare in porzioni variabili i terreni detritici, il regolite e lo strato milonitico ove presente.

Partendo dal presupposto che l'esecuzione dello sbancamento nella sua totalità dovrà avvenire in diverse fasi esecutive, si riportano per linee generali le tecniche di cantiere che dovranno essere messe in opera in fase di sbancamento della sede di fondazione della torre eolica e sulla base delle quali saranno eseguite le verifiche di stabilità:

- Si deve conferire ai fronti un angolo di scarpata massimo pari a 60°, con asportazione sul ciglio dello strato sciolto detritico per aumentare in fase provvisionale la stabilità dello scavo;

 Si deve procedere allo sbancamento adottando la metodologia di scavo per campioni verticali sequenziali e discendenti con altezza del singolo fronte non superiore a 6 mt per fronti in roccia, con pedata di interposizione orizzontale di ampiezza non inferiore a 3.5-4 mt;

Inoltre, poiché la differenza di quota tra la base della fondazione (e delle piazzole provvisoria e definitiva) ed il profilo naturale del versante sarà di entità plurimetrica risulterà necessario ricorrere sia ad opere provvisionali nella fase transitoria del montaggio che ad opere di sostegno e contenimento terra in quella definitiva di esercizio: anch'esse potranno essere validamente fondate sul substrato roccioso e realizzate eventualmente con tecniche di ingegneria naturalistica.

Scarpate in materiali di riporto

L'altezza delle scarpate in materiali di riporto necessarie per realizzare le piazzole per il montaggio delle torri eoliche supera abbondantemente i 3 m; in particolare sono pari a 6-7 m per la Torre T1 e 4 m nella Torre T2; per altezze così importanti si rende necessario obbligatoriamente ricorrere ad opere di sostegno e contenimento terra sia in fase provvisionale di montaggio, sia in quella definitiva di esercizio: esse potranno essere validamente appoggiate sul substrato roccioso e realizzate con tecniche di ingegneria naturalistica, quali in particolare le terre armate.

In tutti i casi in cui ciò sia valutato economicamente dispendioso, l'alternativa più semplice è quella di ricorrere all'abbassamento dell'angolo di scarpa delle coperture detritico-alluviali sino all'angolo di natural declivio (circa 30°).

Al fine di prevenire processi erosivi da parte di acque meteoriche dilavanti, si dovrà provvedere alla realizzazione di un idoneo reticolo di canalette superficiali per la regimazione delle stesse, sia a monte della futura scarpata relativa al taglio di versante necessario per la realizzazione della piazzola definitiva che ai piedi della stessa.

9. ADEGUAMENTO DELLA VIABILITÀ ESISTENTE

Le attività previste a progetto hanno come obiettivo quello di apportare modifiche puntuali e localizzate alle carreggiate delle strade esistenti affinchè le medesime risultino idonee, per ampiezza e andamento, al transito degli autoarticolati che saranno impiegati per il trasporto delle componenti di impianto che formeranno il parco eolico quali i conci delle torri, le navicelle che accolgono i generatori e le pale che compongono il rotore.

Si tratta, nello specifico, di tre tratti di strada che sono stati così differenziati:

Tratto A: strada dal confine regionale a Bric Schenasso, con uno sviluppo lineare ci circa 580 m;

Tratto B: strada forestale da Bric Schenasso a Cascina Dondella, di lunghezza pari a circa 650 m;

Tratto C: strada da Cascina Dondella fino alla sella tra Bric Tencione e I Groppi, dove è prevista l'area di cantiere, per uno sviluppo lineare di circa 430 m.

Nel complesso le attività necessarie a predisporre il terreno per l'adeguamento della viabilità esistente accesso prevedono una serie di operazioni che vengono di seguito elencate:

1. Asportazione, mediante operazioni selvicolturali, della componente arborea ed arbustiva;

2. Rimozione delle ceppaie mediante interventi puntuali di estirpo radicale in corrispondenza di ogni singolo esemplare arboreo;

3. Operazioni di movimentazione del terreno e realizzazione delle opere di adeguamento del piano viario;

4. Regimazione delle acque di superficie mediante la realizzazione delle opere di drenaggio;

5. Attività di rifinitura della strada

L'analisi ed il rilevamento geologico dell'area hanno permesso di definire le caratteristiche specifiche della zona e dei tratti stradali interessati dagli interventi, riportate nella carta geomorfologica e degli elementi di insieme (cfr. BA-GE-Tav. 01 – Carta Geomorfologica, scala 1:1.500), oltre a ricostruire le sezioni geologiche interpretative più rappresentative per ogni singolo tratto di strada.

Nel prosieguo vengono illustrati, per ciascun tratto, le caratteristiche specifiche di ordine geologico l.s. e le cautele da adottare in fase esecutiva, peraltro già esplicitate in questa fase progettuale.

Tratto A: strada dal confine regionale a Bric Schenasso

(cfr. BA-GE-Tav. 01 – Carta Geomorfologica, scala 1:1.500 – BA-GE-Tav. 04 – Sezioni geologiche tratto A, scala 1:200)

È un tratto di lunghezza pari a circa 580 m, che interessa la strada sterrata esistente; gli interventi di adeguamento necessari prevedono una risagomatura a valle o a monte della strada.

In funzione delle peculiarità geologiche, geomorfologiche o idrauliche, si è privilegiata in generale una modifica del lato di monte del percorso, mediante sbancamenti sulla scarpata di controripa: in tal modo le scarpate previste sono caratterizzate da altezza ridotta (da pochi decimetri fino ad un massimo di 2 m).

Gli scavi interesseranno principalmente il substrato roccioso costituito da scisti quarzitici e lo strato sottile e discontinuo di terreni di copertura ad esso sovrapposto, evitando la maggior parte delle problematiche legate alla stabilità delle scarpate modellando le stesse con inclinazione non superiore a 60° e prevedendo la realizzazione di opere di stabilizzazione e di contenimento degli effetti erosivi con tecniche di ingegneria naturalistica (geostuoie antierosive, fascinate, viminate e palificate semplici con inserimento di talee arbustive).

Da questa soluzione si distinguono due piccoli tratti, in cui, per ragioni soprattutto topografiche e geomorfologiche, il tracciato si discosta ed amplia verso valle: è il tratto tra il confine comunale e la sezione 3A, e quello a cavallo della sezione 7A, dove i due piccoli impluvi presenti, ma soprattutto la modesta pendenza del terreno a valle dell'attuale sede stradale consentono l'ampliamento con minore impatto rispetto al lato di monte.

Si sono infine individuati due punti specifici, adeguatamente rappresentati sulla cartografia, in cui la strada presenta problematiche legate a dissesti geomorfologici manifestatisi nel recente passato a seguito di eventi meteorici di particolare rilevanza.

Nel primo caso si tratta, nello specifico, di un ciglio di arretramento morfologico dovuto agli effetti erosivi di un solco di ruscellamento presente in un piccolo impluvio, localizzato all'intorno della sezione 16A; se allo stato attuale non si evidenziano problematiche a carico della sede stradale, l'evoluzione della fenomenologia in atto può portare ad un arretramento del ciglio e ad un coinvolgimento della sede stradale.

È stato pertanto previsto un consolidamento e una stabilizzazione del ciglio mediante la realizzazione di una gabbionata in rete metallica riempita in pietrame unita all'intervento idraulico di rifacimento della tombinatura.



Ciglio di arretramento per erosione solco deflusso

Il secondo caso è uno scivolamento roto-traslazionale di materiali sciolti di copertura e dei livelli più esterni e disarticolati del substrato in corrispondenza di una modesta concavità del versante, che si evidenzia all'intorno delle sezioni 18A e 19A.

A monte della strada, sulla scarpata, è presente un ciglio di distacco in condizioni di potenziale arretramento; i materiali sono stati mobilizzati e si sono naturalmente accumulati a valle, mentre nella nicchia di distacco è osservabile il substrato roccioso; lungo la scarpata a partire dal ciglio stradale, si sviluppa la zona di mobilizzazione e, alle quote inferiori, quella di accumulo del corpo di frana.

A monte è prevista la stabilizzazione della scarpata mediante la realizzazione di una palificata doppia con ricarica e riprofilatura dei materiali conferendo stabilità al ciglio di distacco.



Dissesto a monte e a valle della strada

A valle, lungo il ciglio strada, è prevista una palificata in micropali con cordolo in testa per uno sviluppo lineare di circa 20 m di strada.

La cunetta attualmente presente a lato di quasi tutto il tracciato stradale appare adeguata allo smaltimento delle acque; la stessa dovrà essere pulita e mantenuta ed eventualmente risagomata, mentre nei tratti in cui non è presente dovrà essere risagomata al fine di prevenire processi erosivi da parte di acque meteoriche dilavanti.

Sotto il profilo più generale, il versante appare in buone condizioni generali e non si sono evidenziate problematiche di tipo geologico-tecnico, fatta eccezione dei due punti sopra evidenziati e per i quali sono previsti gli specifici interventi individuati.

In ultimo, sarà necessario, precedentemente al transito dei mezzi di trasporto degli impianti, verificare le condizioni del fondo stradale e la sua effettiva funzionalità e procedere ad una sua manutenzione per garantire l'efficienza in ordine alla sua compattezza e portanza.

Sotto il profilo dell'idrologia superficiale, si evidenzia che in questo tratto sono presenti tre corsi d'acqua, o rii, che risultano appartenere al reticolo idrografico regionale, ed un'altra linea di deflusso, di importanza minore, non classificata nel reticolo ed ascrivibile ad un piccolo solco di ruscellamento a regime sporadico.

Particolare attenzione è stata posta a evitare che la strada funga da linea di raccolta delle acque meteoriche e di ruscellamento in maniera improvvida e differente da quella attualmente in essere, mantenendo i naturali deflussi verso i modesti avvallamenti e le piccole concavità presenti lungo il versante e realizzando nuovi attraversamenti adeguati sotto il profilo idraulico, in base allo studio idraulico e agli elaborati di progetto cui si rimanda.

Tratto B: strada da Bric Schenasso a Cascina Dondella

(cfr. BA-GE-Tav. 01 – Carta Geomorfologica, scala 1:1.500 – BA-GE-Tav. 05 – Sezioni geologiche tratto B, scala 1:200)

Si tratta di un tratto di lunghezza pari a circa 650 m, che interessa la strada sterrata esistente; gli interventi di adeguamento necessari prevedono alcuni interventi di risagomatura a valle o a monte del tracciato attuale.

Il più rilevante è quello in corrispondenza del suo innesto sulla strada comunale, per ottenere un raggio di curvatura maggiore e idoneo al transito dei mezzi d'opera e di trasporto e montaggio delle torri.

In questo tratto, come meglio evidenziato sulle relative sezioni di progetto, ed in particolare la sezione 3B, verrà realizzato un riempimento con materiali di riporto della depressione presente a valle dell'attuale strada.

I materiali di riporto dovranno essere stesi in strati di spessore non superiore a 60 cm e adeguatamente compattati e rullati per eliminare la possibilità di assestamenti e dcedimenti nel tempo.



Depressione oggetto di messa in opera di riporti

Il riporto dovrà essere contenuto a valle da terre armate, con le tecniche di esecuzione proprie per l'esecuzione delle stesse a regola d'arte ed in grado di assicurare la stabilità complessiva alla scarpata e al rilevato stesso.

Anche in questo tratto in funzione delle peculiarità geologiche, geomorfologiche o idrauliche, si è privilegiata in generale una modifica del lato di monte del percorso, mediante sbancamenti sulla scarpata di controripa: in tal modo le scarpate previste sono caratterizzate da altezza ridotta (da pochi decimetri fino ad un massimo di 2 m).

Gli scavi interesseranno principalmente il substrato roccioso costituito da scisti quarzitici e lo strato sottile e discontinuo di terreni di copertura ad esso sovrapposto, evitando la maggior parte delle problematiche legate alla stabilità delle scarpate modellando le stesse con inclinazione non superiore a 60° e prevedendo la realizzazione di opere di stabilizzazione e di contenimento degli effetti erosivi con tecniche di ingegneria naturalistica (geostuoie antierosive, fascinate, viminate e palificate semplici con inserimento di talee arbustive).

Sotto il profilo generale, il versante appare in buone condizioni generali e non si sono evidenziate problematiche di tipo geologico-tecnico; i settori di versante interessati sono tutti caratterizzati da acclività da limitata a media, complessivamente in discrete condizioni di stabilità e privi di dissesti geomorfologici in atto o potenziali.

Anche se l'area di intervento in questo tratto è posta quasi in sommità del crinale, e il bacino idrografico sotteso è estremamente limitato, particolare attenzione sarà posta a evitare che la strada funga da linea di raccolta delle acque meteoriche e di ruscellamento, mantenendo i naturali deflussi verso i modesti avvallamenti e le piccole concavità presenti lungo il versante.

In ultimo, sarà necessario, precedentemente al transito dei mezzi di trasporto degli impianti, verificare le condizioni del fondo stradale e la sua effettiva funzionalità e procedere ad una sua manutenzione per garantire l'efficienza in ordine alla sua compattezza e portanza.

Tratto C: strada da Cascina Dondella a area cantiere torri

(cfr. BA-GE-Tav. 01 – Carta Geomorfologica, scala 1:1.500 – BA-GE-Tav. 06 – Sezioni geologiche tratto C, scala 1:200)

Si tratta di un tratto di lunghezza pari a circa 430 m che interessa la strada forestale esistente sul versante sudorientale di Bric Tencione. Il tratto iniziale e quello finale prevedono una semplice regolarizzazione dell'attuale sede stradale, mentre quello centrale prevede uno scostamento finalizzato a mantenere una livelletta più regolare e un tracciato più lineare.

In questo tratto, come meglio evidenziato sulle relative sezioni di progetto, ed in particolare la sezione 2C, 4C e 6C verrà realizzato un riempimento con materiali di riporto della depressione presente a valle dell'attuale strada.



Tratto in scostamento rispetto alla strada forestale

Come per i tratti precedenti, anche qui si è privilegiata in generale una modifica del lato di monte del percorso, mediante sbancamenti sulla scarpata di controripa; tuttavia, soprattutto a cavallo della sezione 6, per contenere l'altezza della scarpata si è optato per una soluzione mista, parte in sterro e parte in riporto.

Gli scavi interesseranno principalmente il substrato roccioso costituito dagli ortogneiss metagranitoidi, subaffioranti su tutto il versante o al più sovrastati da un sottile e discontinuo strato di terreno di copertura ad esso sovrapposto.

Sotto il profilo generale, il versante appare in buone condizioni generali e non si sono evidenziate problematiche di tipo geologico-tecnico; i settori di versante interessati sono tutti caratterizzati da acclività da limitata a media, complessivamente in discrete condizioni di stabilità e privi di dissesti geomorfologici in atto o potenziali.

Le scarpate in scavo saranno modellate con inclinazione non superiore a 60° e prevedendo la realizzazione di opere di stabilizzazione e di contenimento degli effetti erosivi con tecniche di ingegneria naturalistica (geostuoie antierosive, fascinate, viminate e palificate semplici con inserimento di talee arbustive).

Le scarpate in materiali di riporto potranno essere sagomate con inclinazione non superiore a 35°; per angolazioni superiori sarà necessario ricorrere ad un armatura mediante reti ad armatura metallica o similare, quali palificate doppie in legname, al fine di aumentarne la stabilità.

Analogamente alle scarpate in scavo, sulla superficie esposta potranno essere utilizzate opere di stabilizzazione e di contenimento degli effetti erosivi con tecniche di ingegneria naturalistica (geostuoie antierosive, fascinate, viminate e palificate semplici con inserimento di talee arbustive).

I materiali di riporto saranno messi in opera in strati di spessore non superiore a 60 cm e adeguatamente compattati e rullati per eliminare la possibilità di assestamenti e cedimenti nel tempo.

In ultimo, sarà necessario, precedentemente al transito dei mezzi di trasporto degli impianti, verificare le condizioni del fondo stradale e la sua effettiva funzionalità e procedere ad una sua manutenzione per garantire l'efficienza in ordine alla sua compattezza e portanza.

Considerazioni tecniche per la fase esecutiva

Come già messo in luce nelle descrizioni e nelle analisi dei singoli tratti stradali esposti in precedenza, si forniscono qui alucne considerazioni tecniche da adottarsi nella fase esecutiva.

Le scarpate in scavo saranno modellate con inclinazione non superiore a 60° e prevedendo la realizzazione di opere di stabilizzazione e di contenimento degli effetti erosivi con tecniche di ingegneria naturalistica (geostuoie antierosive, fascinate, viminate e palificate semplici con inserimento di talee arbustive).

Le scarpate in materiali di riporto potranno essere sagomate con inclinazione non superiore a 35°; per angolazioni superiori sarà necessario ricorrere ad un armatura mediante reti ad armatura metallica, terre armate, gabbioni o similare, quali palificate doppie in legname, al fine di aumentarne la stabilità.

Analogamente alle scarpate in scavo, sulla superficie esposta potranno essere utilizzate opere di stabilizzazione e di contenimento degli effetti erosivi con tecniche di ingegneria naturalistica (geostuoie antierosive, fascinate, viminate e palificate semplici con inserimento di talee arbustive).

I materiali di riporto saranno messi in opera in strati di spessore non superiore a 60 cm e adeguatamente compattati e rullati per eliminare la possibilità di assestamenti e cedimenti nel tempo.

Il terreno di riporto che verrà posto in opera come base d'appoggio e sottofondo per la formazione e l'allargamento della carreggiata dovrà sottostare ad alcune precise regole e dovrà essere abbancato secondo la metodologia di seguito riportata.

 i materiali dovranno essere opportunamente selezionati secondo le caratteristiche granulometriche prevalenti in modo, all'occorrenza, da utilizzare i materiali più grossolani 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 possibilmente frantumati con dimensioni finali intorno ai 200-300 mm e percentuali in peso massime intorno al 30% - 40% dell'inerte utilizzato.

 Il costipamento dovrà essere eseguito con mezzi meccanici idonei (rulli gommati e ruspe) per strati successivi di spessore uniforme (spessore massimo reso non superiore a 30 cm) fino a raggiungere le quote di progetto con un peso di volume secco in sito non inferiore al 95% del valore ricavato dalla prova di costipamento del terreno AASHTO modificata.

 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.

10. CAVIDOTTO.

Il collegamento alla rete di distribuzione elettrica avverrà mediante un cavidotto completamente interrato che si svilupperà lungo i tracciati stradali esistenti sino a raggiungere la cabina elettrica MT realizzata in prossimità della sottostazione AT nel territorio comunale di Garessio (CN).

Il cavidotto sarà completamente interrato al di sotto della viabilità già esistente, quindi senza necessità di alterare anche solo temporaneamente l'assetto naturale delle aree circostanti. Per la realizzazione è previsto uno scavo a sezione obbligata pari a 0.50 m. di larghezza per una altezza variabile da 1.0 a 1.5 m.

L'opera si configura di fatto come una trincea continua che segue l'andamento stradale, quindi disposta trasversalmente alle linee di pendenza del versante.

Va da sé che, stanti le condizioni geomorfologiche ed idrogeologiche della zona presa in esame, l'opera può intercettare quantitativi idrici provenienti da monte, nei confronti dei quali sono tuttavia previsti idonei accorgimenti tecnici atti a garantire la funzionalità e la durata nel tempo del cavidotto e a salvaguardia degli equilibri idrogeologici esistenti.

È innanzitutto necessario "attrezzare" lo scavo in modo da consentire il corretto smaltimento delle acque di circolazione sottosuperficiale intercettate e richiamate dallo stesso, contro fenomeni di accumulo anomali e conseguenti percolazioni concentrate a valle delle strade interessate, che possono metterne in crisi la stabilità.

Saranno pertanto previsti:

- ogni 100 m circa, installazione di pozzetti di ispezione con tubo di raccolta delle acque provenienti dal cavidotto , che verranno scaricate possibilmente in scoli naturali già esistenti ai margini della strada;
- il rinterro dello scavo con materiale arido grossolano, riutilizzando lo sterro prodotto dello scavo, eventualmente vagliato, messo in posto con costipatura e rullatura.

11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE.

Le considerazioni riportate nel presente paragrafo riguardano l'area dell'intervento a progetto. Lo studio è stato svolto al fine di evidenziare i principali parametri geotecnici del substrato roccioso e della coltre, facendo riferimento sia ai dati ricavati dai rilievi geomeccanici dell'ammasso roccioso, sia a dati di letteratura relativi a litotipi della medesima natura, integrati da precedenti studi svolti dallo scrivente in aree limitrofe.

Come già descritto in precedenza, è prevista, in fase esecutiva, l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche che verranno concordate con i progettisti e con le specifiche della società costruttrice della pala eolica.

Coltre detritica superficiale

La coltre detritica eluviale ad elevata componente pedogenica, presenta uno spessore medio compreso tra 0.5 e 2 m e sfuma nel regolite di alterazione del sottostante substrato lapideo.

Tali materiali denotano un consistente scheletro litico (costituito da trovanti di dimensioni anche pluridecimetriche), di natura petrografia analoga al substrato, immerso in una matrice di colore marroncino scuro a granulometria fine. Il terreno è quindi decisamente eterogeneo: sulla base di esperienze conseguite dallo scrivente in aree con coltri di analoga composizione e origine, i terreni sopraindicati possono essere inseribili nella classifica funzionale U.S.C.S. nei gruppi GM-SM (ghiaie e sabbie limose scarsamente plastiche) e nonostante una certa variabilità composizionale possono esserne definiti i seguenti parametri litotecnici:

- Peso di Volume = γ = 19.0 kN/m3
- Coesione = c = 10 kPa
- Angolo di Attrito = ϕ = 28°

Substrato roccioso marcatamente alterato e fratturato (Scisti di Gorra) – Tratti stradali A e B

Substrato roccioso quarzo-sericitico con elevatissimo grado di scistosità fortemente alterato e destrutturato, costituito essenzialmente da alternanze di livelli argilloso-limosi e livelli lamellari con rade fasce a maggiore componente massiva di estensione decimetrica.

Si ritengono adeguate le seguenti caratteristiche litologiche:

- Peso di Volume = γ = 22.0 kN/m3
- Coesione = c = 15 kPa
- Angolo di Attrito = ϕ = 30°

Substrato roccioso a minor grado di alterazione e fratturazione (Scisti di Gorra) – Tratti stradali A e B

- Peso di Volume = γ = 25.0 kN/m3
- Coesione = c = 60 kPa
- Angolo di Attrito = ϕ = 36°

Substrato roccioso marcatamente alterato e fratturato (Ortogneiss Metagranitoidi) – Tratto stradale C, Aree Aerogeneratori T1 T2 e Area tecnica sommitale

Substrato roccioso in facies massiva, più raramente scistosa, caratterizzato dall'esistenza di diverse famiglie di giunti di discontinuità, e suddivisione della roccia in blocchi di dimensioni variabili da centimetriche a metriche, fortemente alterato.

Si ritengono adeguate le seguenti caratteristiche litologiche:

- Peso di Volume = γ = 24.0 kN/m3
- Coesione = c = 120 kPa
- Angolo di Attrito = ϕ = 40°

Substrato roccioso a minor grado di alterazione e fratturazione (Ortogneiss Metagranitoidi) – Tratto stradale C, Aree Aerogeneratori T1 T2 e Area tecnica sommitale

- Peso di Volume = γ = 27.0 kN/m3
- Coesione = c = 320 kPa
- Angolo di Attrito = ϕ = 48°

Resta inteso che la caratterizzazione geotecnica media dei diversi livelli distinti potrà essere usata come riferimento da parte dell'Ingegnere Strutturista nei calcoli progettuali, per valutare l'interazione con le opere proposte e per i calcoli fondazionali. Rappresenta il modello di partenza sulla base del quale è possibile sviluppare la progettazione, con eventuali modifiche e precisazioni che possono certamente derivare dalla sensibilità e dall'esperienza del Progettista, anche in funzione delle normative cui intende riferirsi, degli strumenti di calcolo utilizzati, dei livelli di sicurezza traguardati, del tipo e della vulnerabilità dell'opera, ecc.

12. STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO E DELLE SCARPATE IN MATERIALI DI RIPORTO.

Come già esposto in precedenza, l'inserimento delle due torri eoliche nel versante comporta una fase costruttiva che determina la realizzazione di frontI di scavo temporaneo di rilevante altezza, anche superiori ai 10 m, che interessano la ridotta copertura superficiale, pressochè totalmente il cappellaccio di alterazione del substrato roccioso e, nella porzione basale, il substrato roccioso in condizioni geomeccaniche discrete.

Analogamente per la realizzazione delle piazzole di cantiere è necessaria la messa in opera di importanti abbancamenti di materiali di riporto, attraverso il rinforzo con interventi di ingegneria naturalistica quali le terre armate.

Si è provveduto all'esecuzione di verifiche di stabilità realizzata sulle singole sezioni che prevedono le maggiori criticità in termini di stabilità: in particolare si sono prese in considerazione le condizione più gravose sia per i fronti di scavo, sia per i materiali di riporto, attribuendo ai vari strati i parametri geotecnici definiti in precedenza e non considerando che il substrato roccioso migliora con la profondità: cautelativamente ed a favore della sicurezza si è ipotizzato che tutto lo scavo si sviluppasse unicamente nella coltre superficiale e nel cappellaccio di alterazione del substrato roccioso.

Per la Torre T1 in relazione ai fronti di scavo si sono verificate le sezioni B2 e B3, mentre per quanto riguarda i riporti in terra armata è stata verificata la sezione B2; per la Torre T2 è stata verificata la sezione B12 sia nel settore in scavo, sia per quello in riporto.

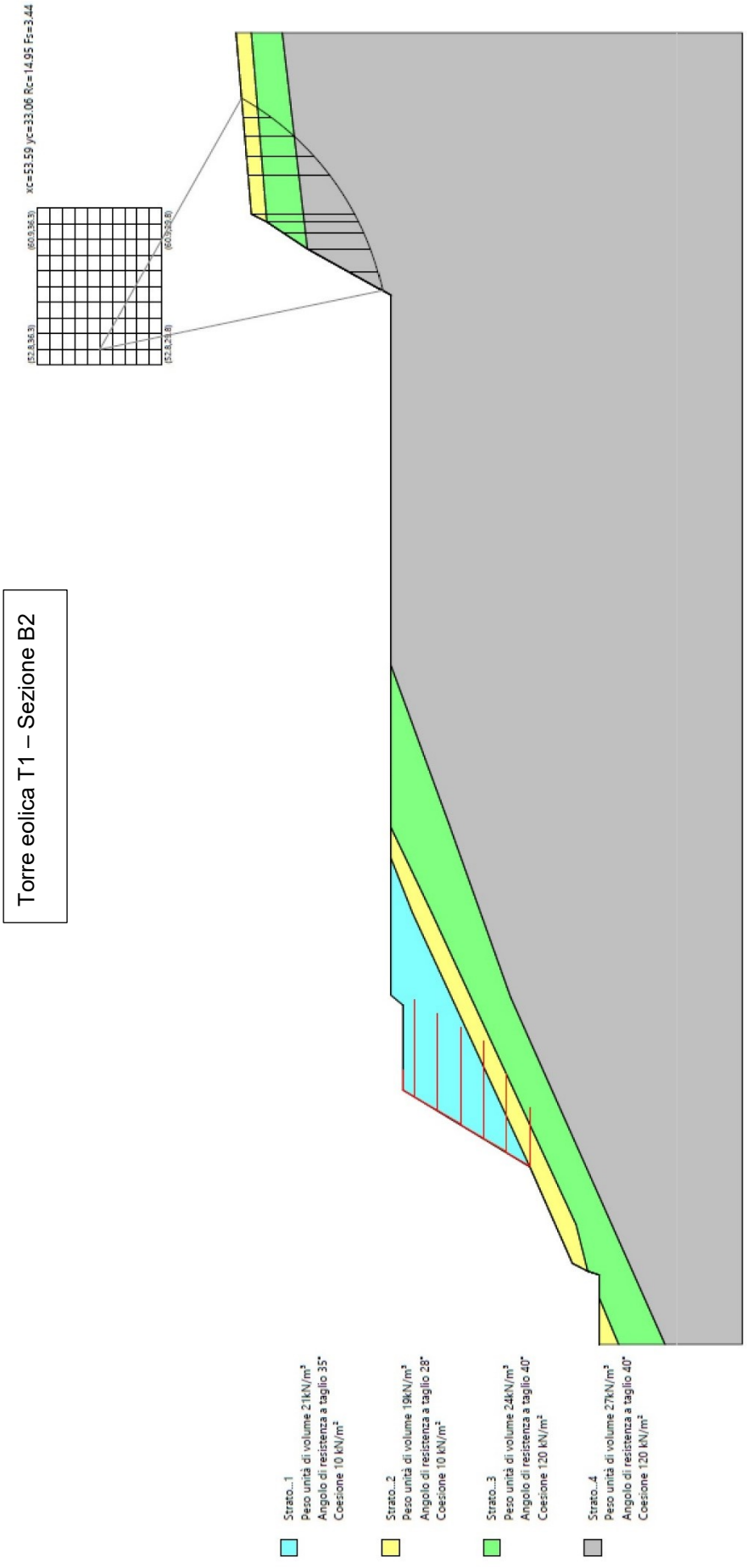
Le verifiche si sono concentrate sull'analisi delle condizioni di cantiere ovvero durante le fasi di sbancamento provvisionale collegate alla posa delle opre di fondazione, in ragione della necessità di controllo della stabilità del sistema "opera – versante" durante le fasi operative che vedono impegnate le maestranze di cantiere per una tempistica ipotizzabile plurimensile.

Per quanto riguarda le terre armate, assumendo che i materiali di riporto che verranno impiegati sono quelli derivanti dagli scavi e sbancamenti, e come tali costituiti dalle coperture detritiche (in misura minore) e dagli scavi in roccia (percentualmente più rilevanti), e che i materiali verranno messi in posto in strati successivi e con adeguata compattazione, a titolo cautelativo si sono identificati i seguenti parametri geotecnici:

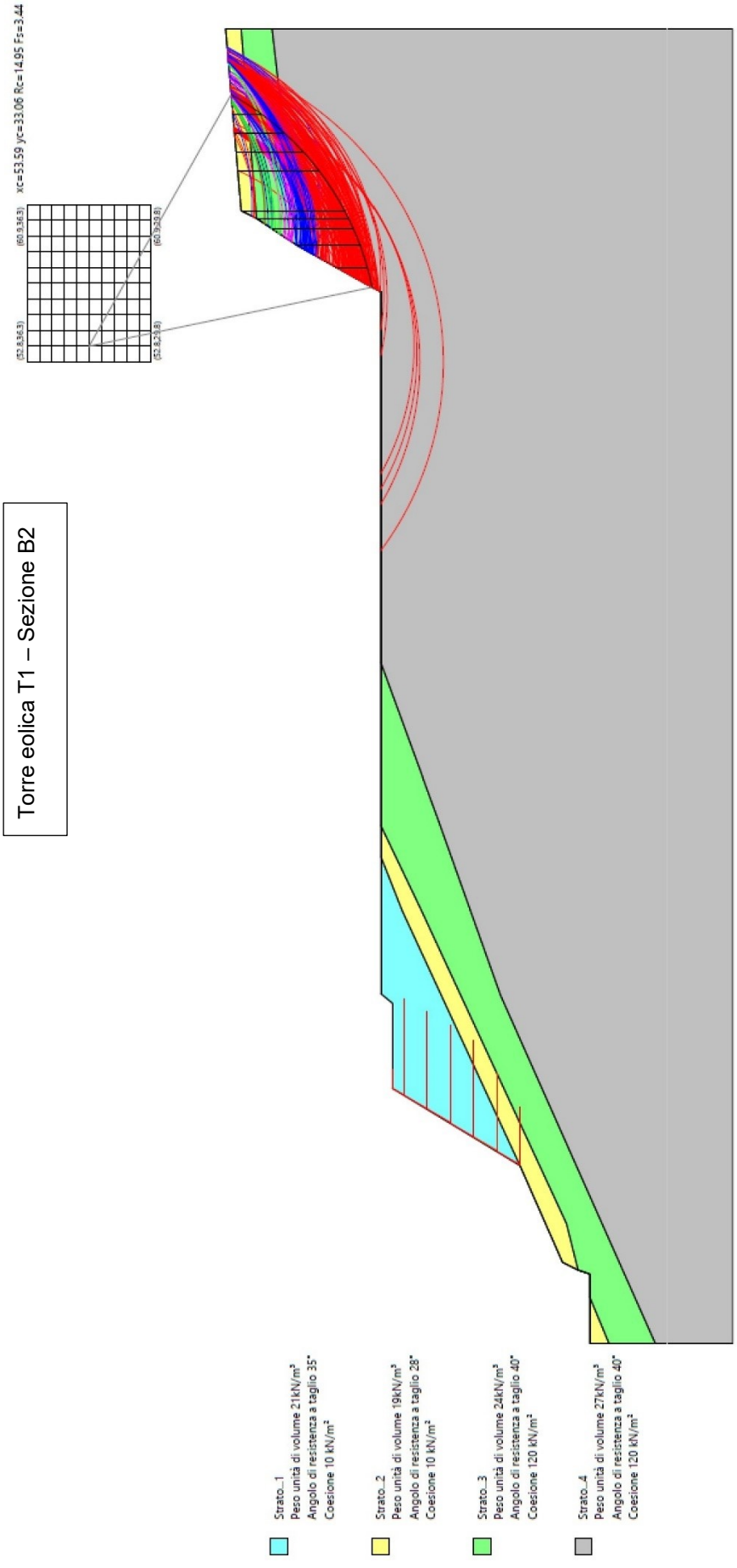
- Peso di Volume = γ = 21.0 kN/m3
- Coesione = c = 10 kPa
- Angolo di Attrito = ϕ = 35°

La falda è stata considerata assente, in funzione delle condizioni specifiche del sito e della prescrizione relativa al corretto smaltimento delle acque di circolazione superficiale e sottosuperficiale individuate per gli scavi e per i riporti.

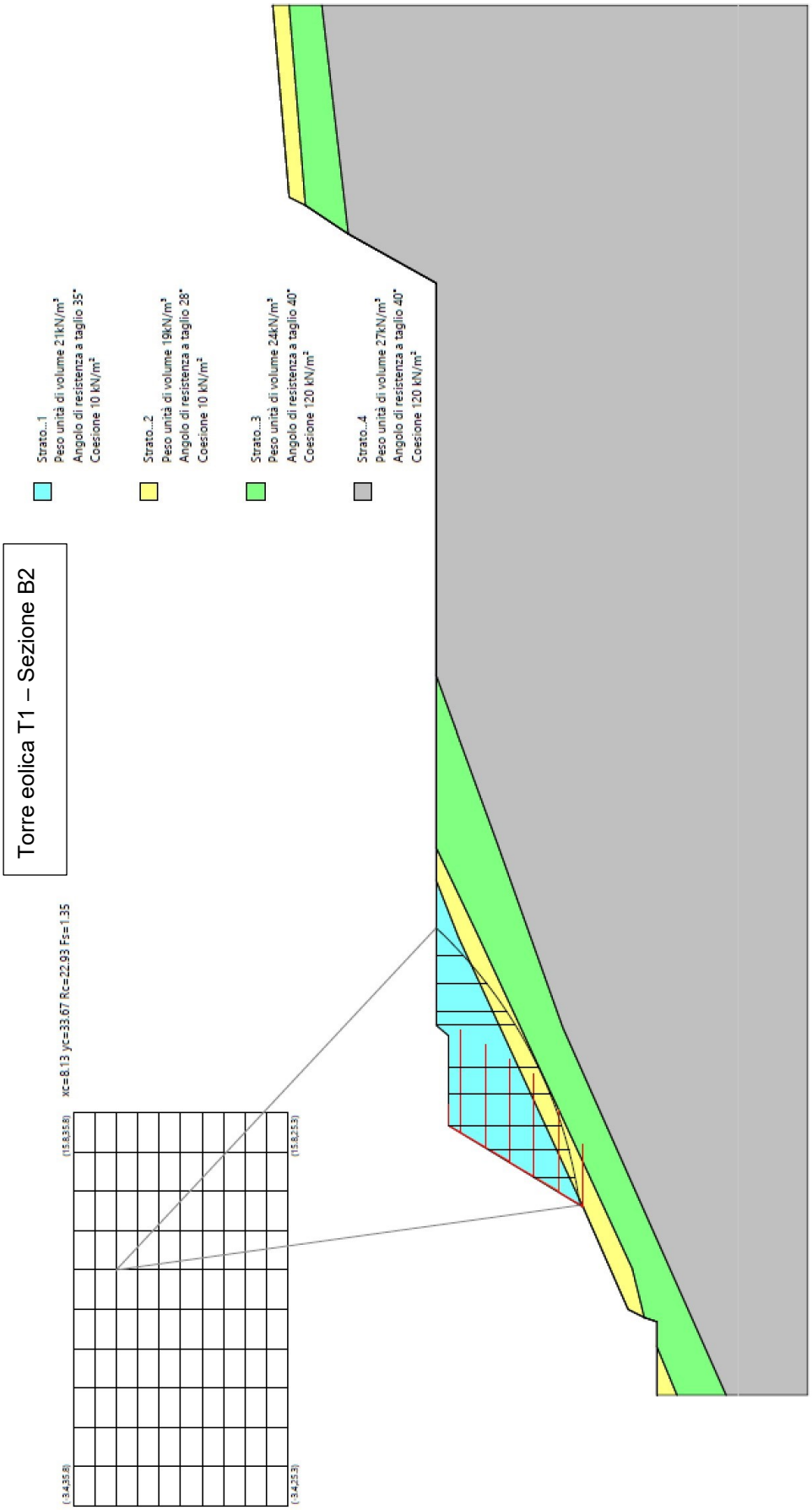
Nelle figure alla pagina seguente sono state rappresentate le superfici calcolate aventi il minor fattore di sicurezza e tutte quelle calcolate nella verifica, mentre per il dettaglio di tutti i calcoli si rimanda all'apposito elaborato (Verifiche di stabilità dei fronti di scavo e delle scarpate)

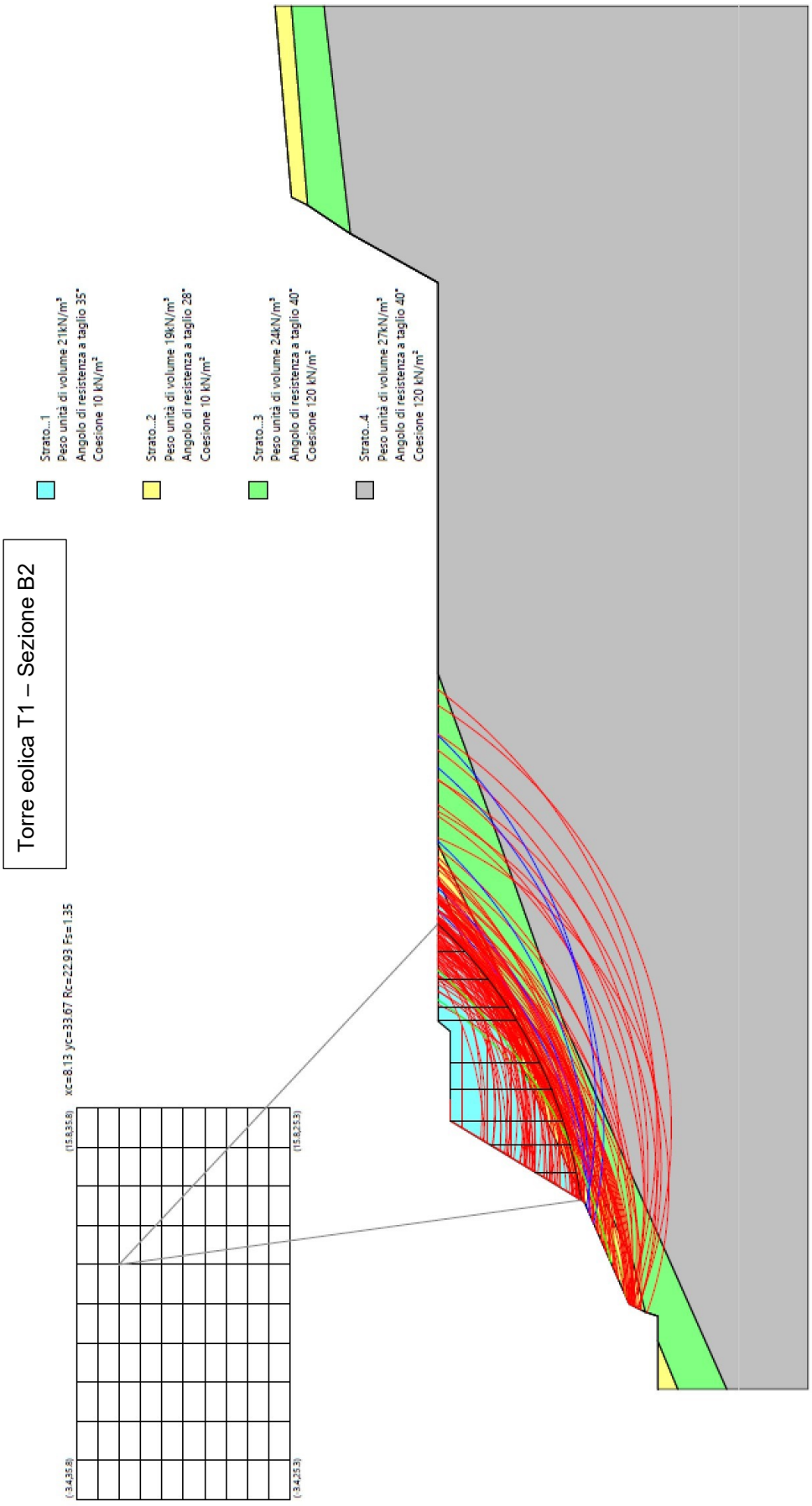


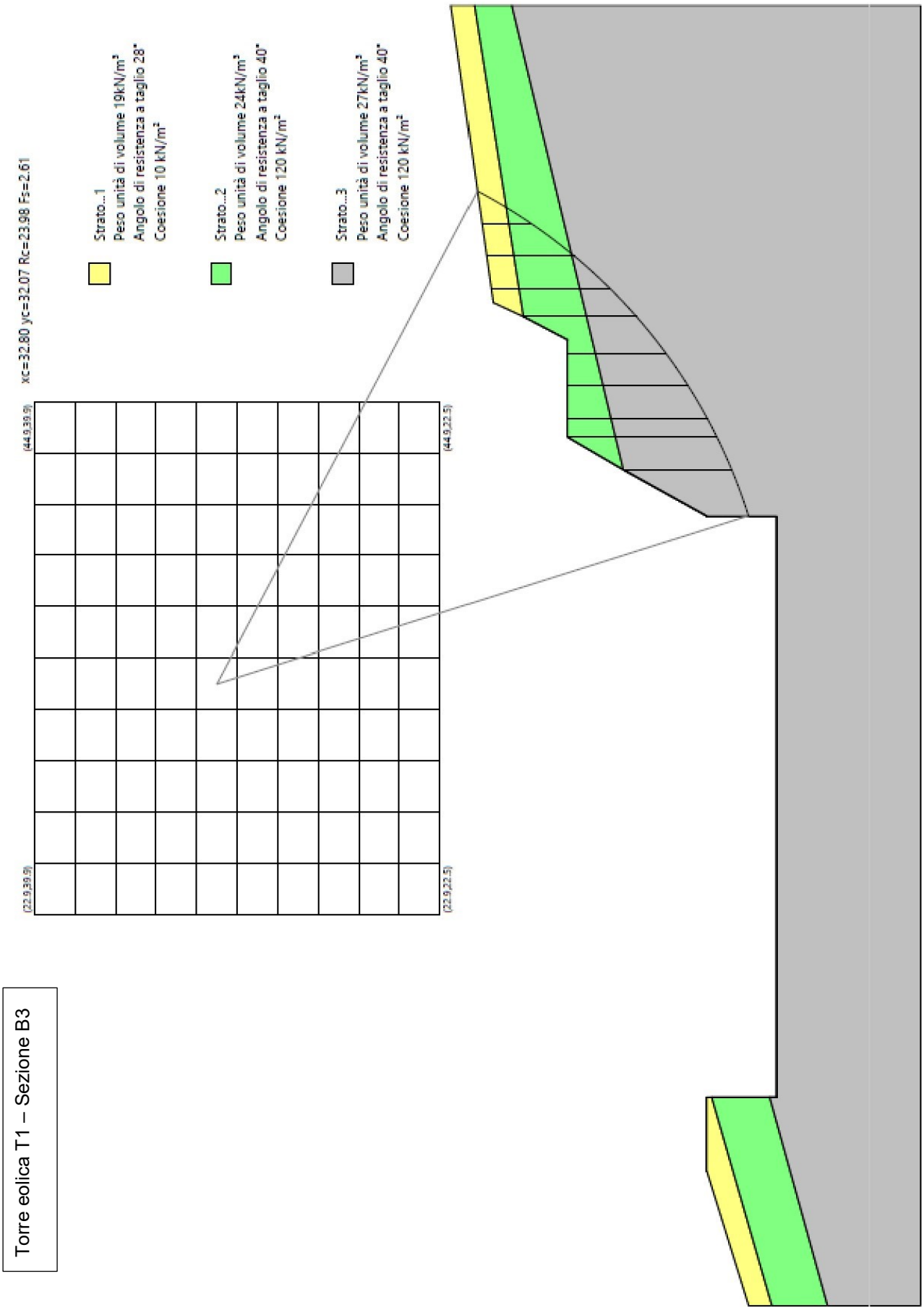
Torre eolica T1 – Sezione B2



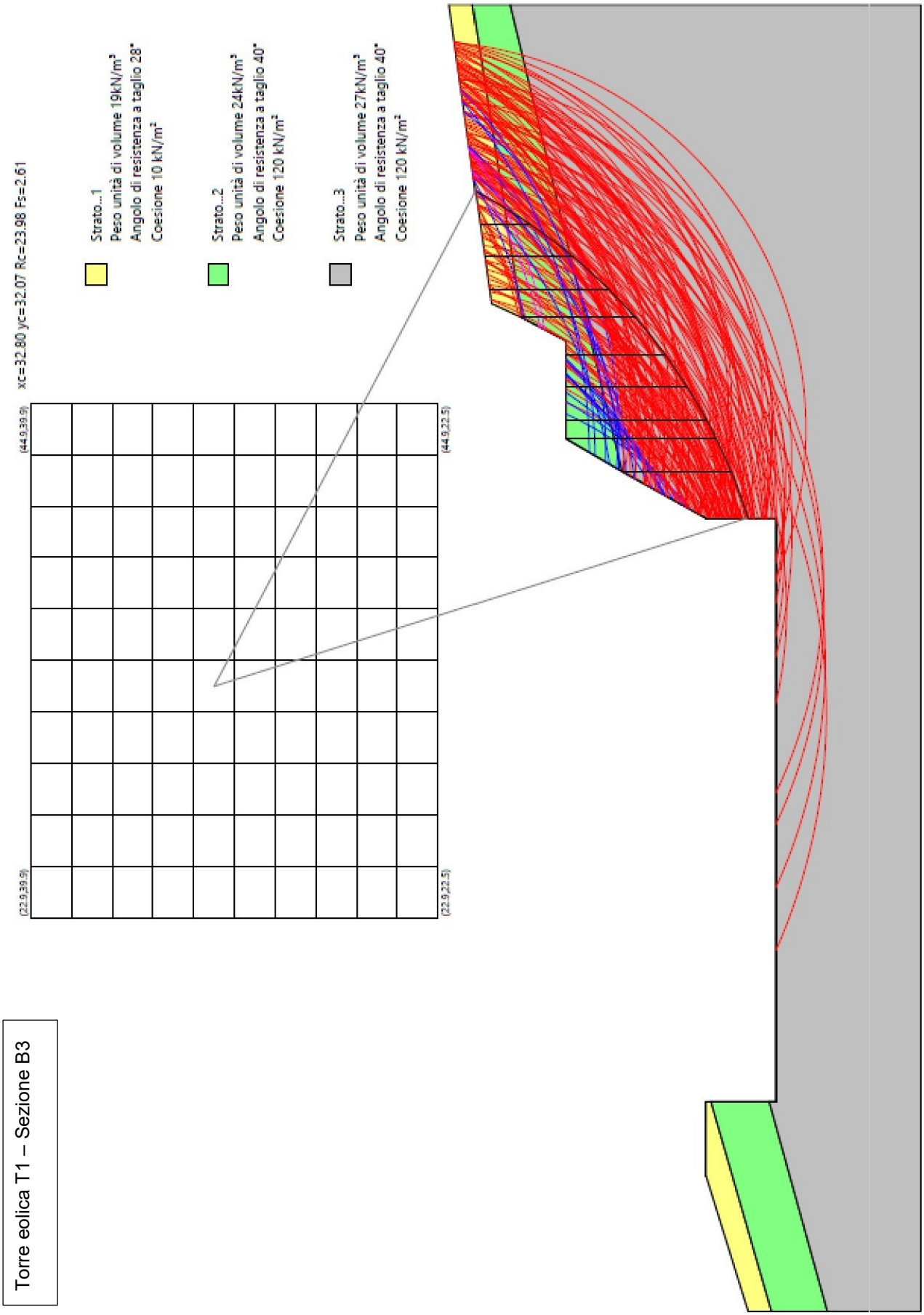
Torre eolica T1 – Sezione B2


Torre eolica T1 – Sezione B2
Strato...1
Peso unità di volume 21kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 35°
Coesione 10 kN/m²
Strato...2
Peso unità di volume 19kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 28°
Coesione 10 kN/m²
Strato...3
Peso unità di volume 24kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 40°
Coesione 120 kN/m²
Strato...4
Peso unità di volume 27kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 40°
Coesione 120 kN/m²
xc=8.13 yc=33.67 Rc=22.93 Fs=1.35

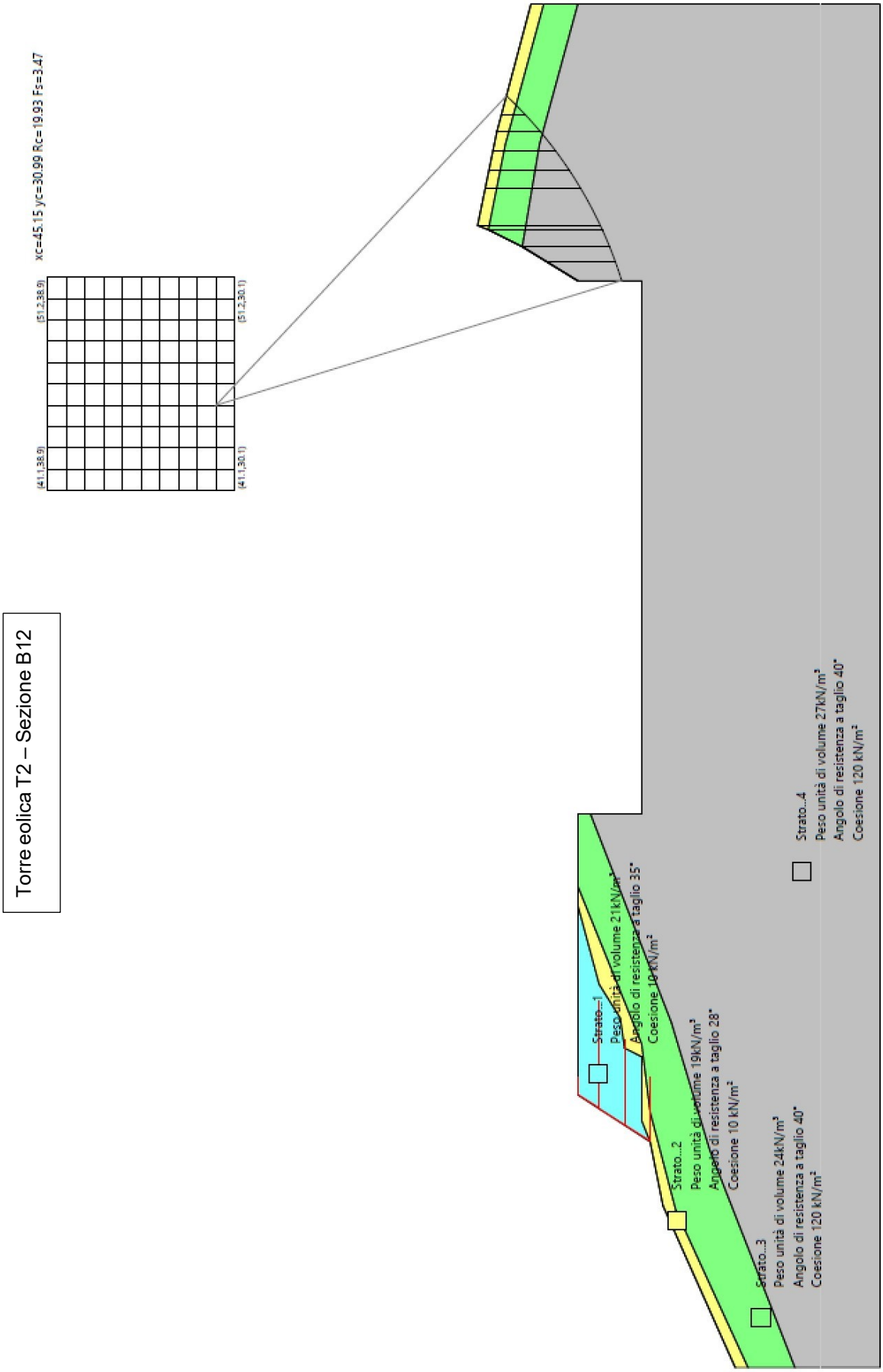

Torre eolica T1 – Sezione B2
Strato...1
Peso unità di volume 21kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 35°
Coesione 10 kN/m²
Strato...2
Peso unità di volume 19kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 28°
Coesione 10 kN/m²
Strato...3
Peso unità di volume 24kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 40°
Coesione 120 kN/m²
Strato...4
Peso unità di volume 27kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 40°
Coesione 120 kN/m²
xc=8.13 yc=33.67 Rc=22.93 Fs=1.35



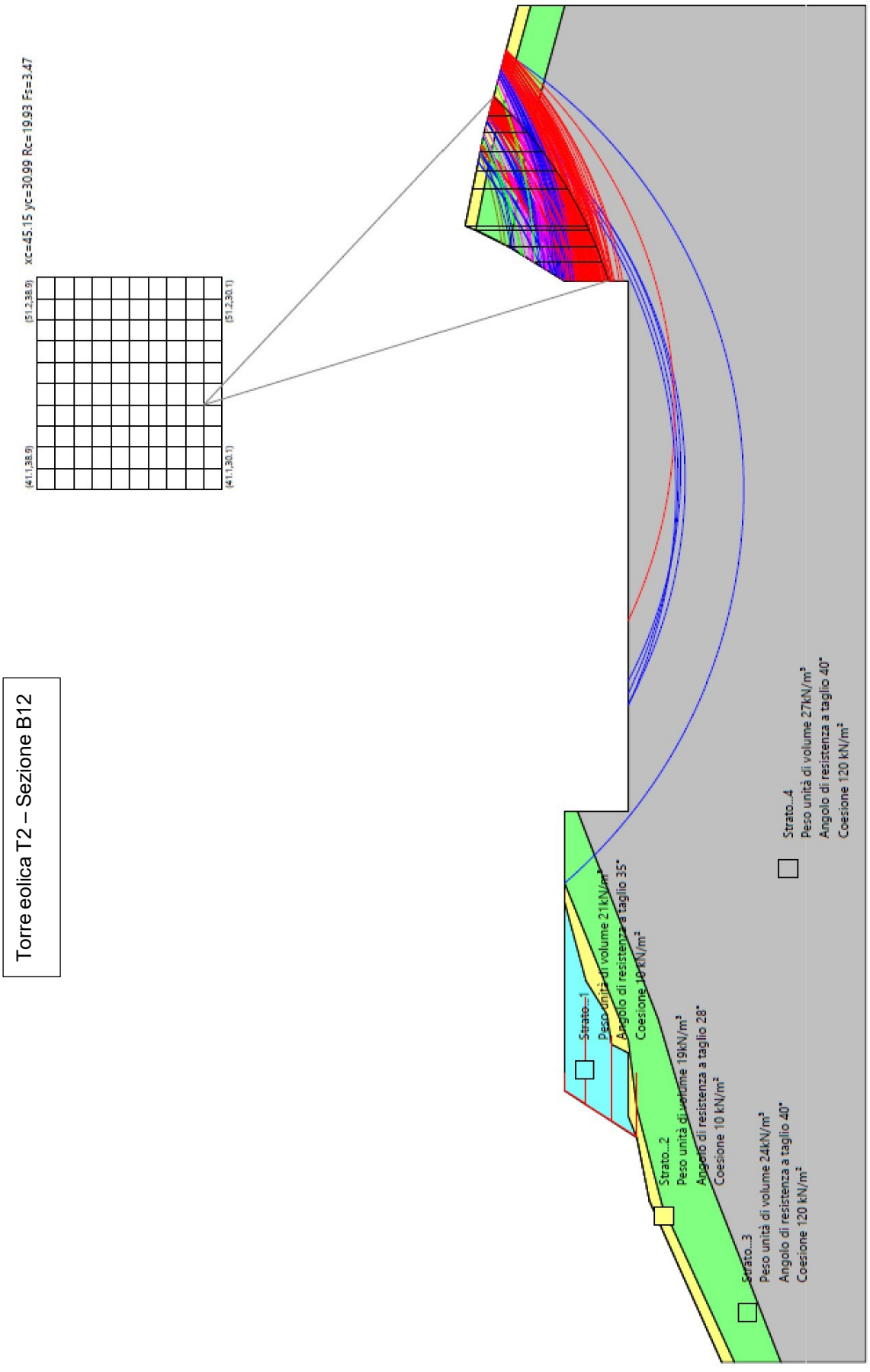
Torre eolica T1 – Sezione B3



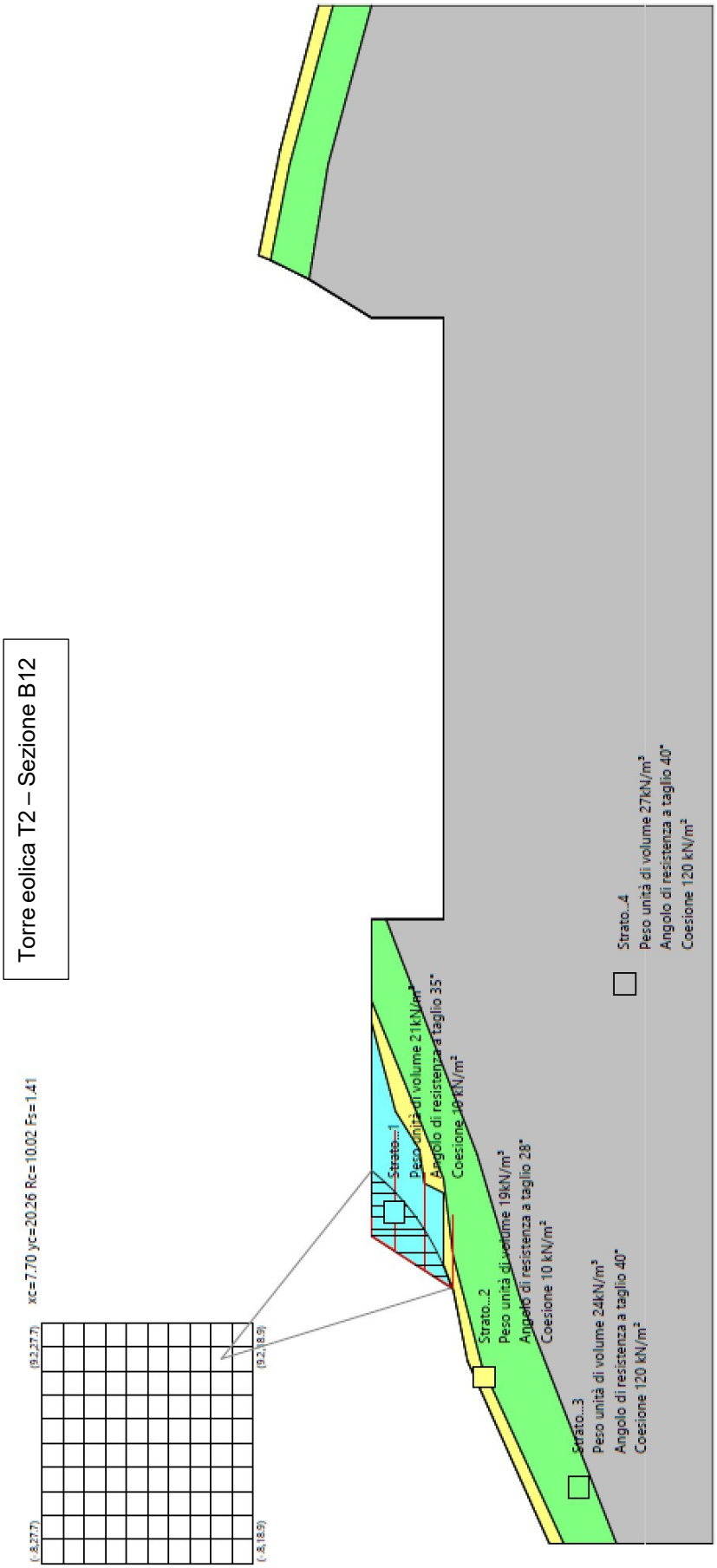
Torre eolica T1 – Sezione B3

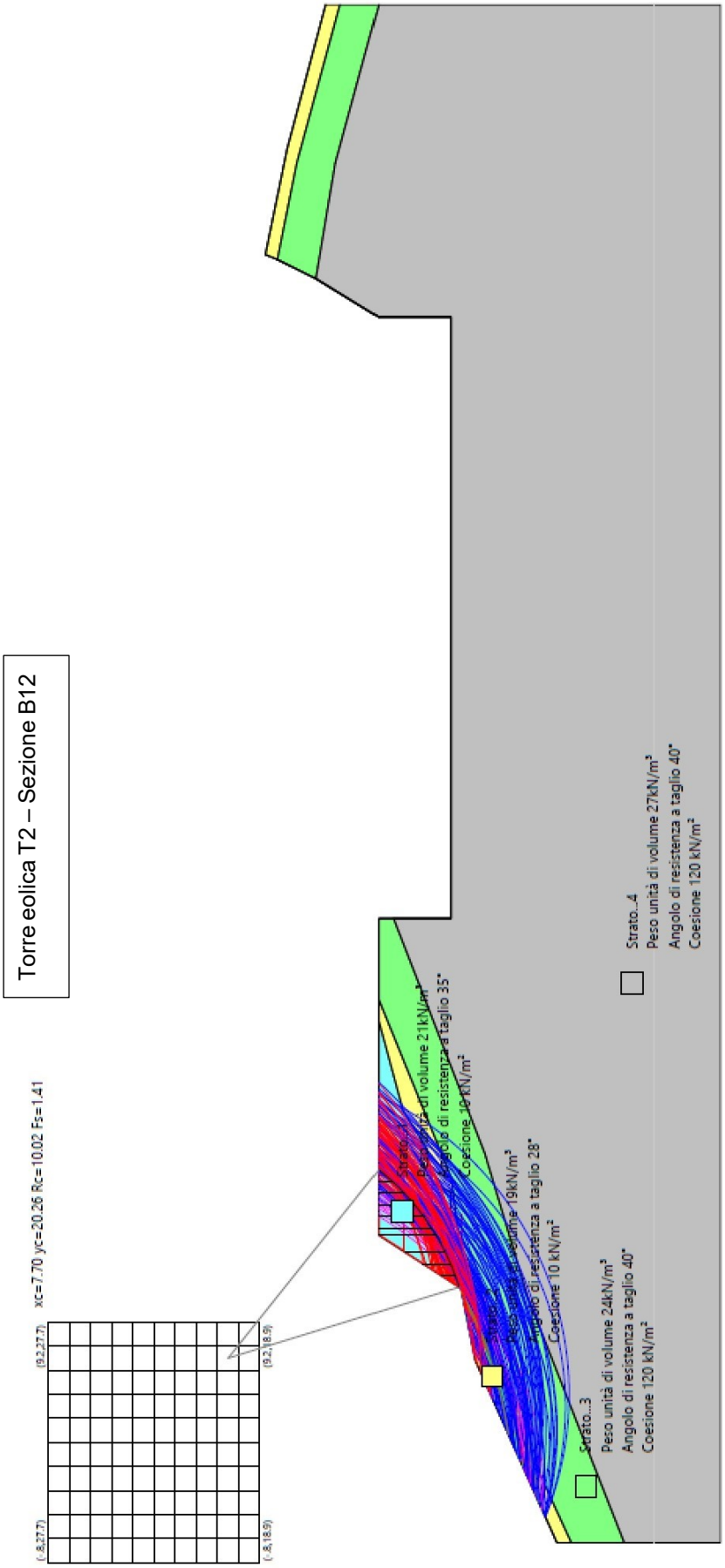


Torre eolica T2 – Sezione B12



Torre eolica T2 – Sezione B12


Torre eolica T2 – Sezione B12
xc=7.70 yc=20.26 Rc=10.02 Fs=1.41
Strato...1
Peso unità di volume 21kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 35°
Coesione 10 kN/m²
Strato...2
Peso unità di volume 19kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 28°
Coesione 10 kN/m²
Strato...3
Peso unità di volume 24kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 40°
Coesione 120 kN/m²
Strato...4
Peso unità di volume 27kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 40°
Coesione 120 kN/m²


Torre eolica T2 – Sezione B12
xc=7.70 yc=20.26 Rc=10.02 Fs=1.41
Strato...4
Peso unità di volume 27kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 40°
Coesione 120 kN/m²
Strato...3
Peso unità di volume 24kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 40°
Coesione 120 kN/m²

Risultanze delle verifiche

Le verifiche sulle tre sezioni sono state ripetute con i diversi metodi di calcolo; nella tabella qui di seguito elaborata si evidenziano i fattori minimi di sicurezza Fs calcolati per ciascun metodo.

	Torre T1 fronti di scavo		Torre T1 scarpate	Torre T2 Fronti di scavo	Torre T2 scarpate
Metodo	**Sezione B2 Fs**	**Sezione B3 Fs**	**Sezione B2 Fs**	**Sezione B12 Fs**	**Sezione B2 Fs**
Bishop	3,44	2,61	1,35	3,39	1,41
Janbu	3,37	2,57	1,31	3,29	1,40
Sarma	3,49	2,65	1,39	3,46	1,46
Zeng Liang	3,50	2,64	1,42	3,47	1,53
Media metodi	**3,45**	**2.62**	**1.37**	**3.40**	**1.45**

Come si evince dai suddetti risultati le verifiche effettuate con i diversi metodi di calcolo sulle tre sezioni evidenziano coefficienti di sicurezza ampiamente superiori a 1,1, attestando la stabilità globale dei fronti di scavo e delle scarpate in terre armate anche in presenza di sollecitazione sismica.

13. TERRE E ROCCE DA SCAVO.

Alla luce della natura del suolo derivante dal rilevamento geologico si può affermare quanto segue:

-l'area di progetto non ricade in siti contaminati o siti sottoposti ad interventi di bonifica

-lo scavo non è soggetto a potenziali fonti di inquinamento e non ricade negli affioramenti delle Pietre Verdi

-allo stato attuale ed in tempi pregressi l'area non è mai stata utilizzata né per scopi agricoli né per altre attività antropiche.

Si può ritenere che i materiali provenienti dagli scavi potranno essere utilizzati per le sistemazioni dell'area secondo le quote di progetto, mentre il terreno vegetale potrà essere utilizzato solo come strato di chiusura superficiale; nel caso il materiale sia riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato escavato o nel caso di riutilizzo in altro sito in qualità di "terra e roccia da scavo" si dovrà fare riferimento ai contenuti del D.P.R. n.120 del 13 giugno 2017 **"**Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164".

Il materiale eccedente dovrà essere conferito a discarica autorizzata oppure riutilizzati in altro sito come rocce e terre da scavo previa verifica della compatibilità con quanto previsto dal D.M. n° 161 del 10 agosto 2012.

14. COMPATIBILITÀ CON LA TUTELA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO.

Sulla scorta di quanto precedentemente esposto, si rileva:

- che l'intervento è compatibile con la natura dei luoghi;
- che i deflussi superficiali e sotterranei non risulteranno alterati dagli interventi realizzati;
- che l'intervento non influisce sulla stabilità del versante e più in generale sull'assetto idrogeologico dell'area.

In base a quanto precedentemente esposto, si certifica che l'intervento in progetto rispetta le condizioni poste a tutela dell'assetto idraulico, idrogeologico e delle falde acquifere e pertanto compatibile e non in contrasto con la presenza sul terreno del vincolo idrogeologico.

16. COMPATIBILITÀ CON IL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME PO.

A completamento della presente si è provveduto ad analizzare eventuali interferenze o vincoli tra la realizzazione dell'intervento con gli strumenti di pianificazione del rischio idrogeologico in vigore.

Con DGR 428 del 21 maggio 2021, ai sensi dell'art. 33, c. 6, della l.r. 41/2014, e dell'art. 58 delle Norme di Attuazione del PAI del fiume Po, è stata approvata una disciplina di tutela, coerente con la disciplina del PAI del f. PO, nonché con l'analoga normativa vigente per i bacini padani liguri nel territorio della Città Metropolitana di Genova (già Provincia), con riferimento alle aree individuate nella carta della pericolosità idraulica e geomorfologica da frana.

Per la parte idraulica, le aree sono coerenti con le mappe della pericolosità da alluvione del distretto idrografico del fiume Po approvate ai sensi della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010, anche ai fini del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA).

La disciplina sulle aree a pericolosità idraulica e geomorfologica da frana si applica nei territori o porzioni di territori non ancora assoggettati a verifica di compatibilità dello strumento urbanistico comunale ai sensi dell'art. 18 delle Norme di Attuazione del PAI Po.

Si allega alla presente lo stralcio della carta della pericolosità idraulica e geomorfologica da frana su cui è stata individuata l'area oggetto dell'intervento.



Cartografia allegata alla D.G.R. n. 428 del 21/05/2021

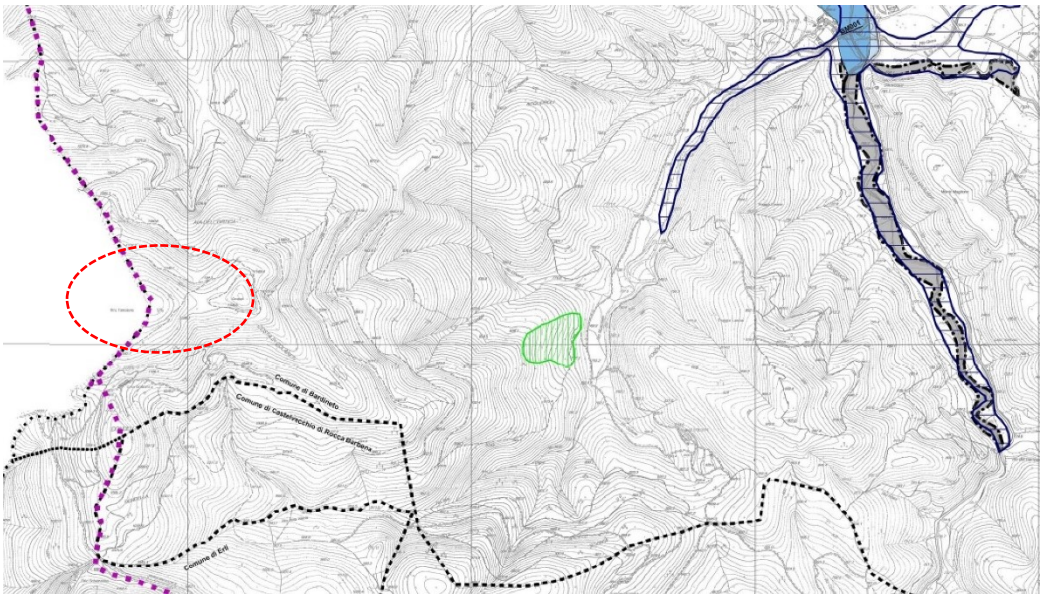
CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA E GEOMORFOLOGICA DA FRANA

scala 1:10.000

metri 0 200 400 600 800 1000

squadro n. 245020 - Bardineto

(Comuni di Bardineto e Castelvecchio di Rocca Barbena)



LEGENDA

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA DA FRANA:

- (Fa) FRANE ATTIVE (pericolosità molto elevata)
- (Acr) AREE SOGGETTE A CROLLI (pericolosità molto elevata)
- (Fq) FRANE QUIESCENTI (pericolosità elevata)
- (Fs) FRANE STABILIZZATE (pericolosità media o moderata)
- (Fd) FRANOSITA' DIFFUSA (pericolosità moderata)
- (DGPV) DEFORMAZIONI GRAVITATIVE PROFONDE (pericolosità moderata)

PERICOLOSITA' IDRAULICA:

- Pi 3 - AREE A PERICOLOSITA' MOLTO ELEVATA
- Pi 2 - AREE A PERICOLOSITA' ELEVATA
- Pi 1 - AREE A PERICOLOSITA' MEDIA
- Pi 3* - AREE INTERESSATE DALL'ALLUVIONE 2016
- Pi 3* - AREE 'EE' PAI E 'STORICAMENTE INONDATE' NON INDAGATE
- ER01 Traccia delle sezioni idrauliche (tratti indagati)

L'area non è compresa tra quelle con rischi idraulici o idrogeologici, l'intervento ricade a distanze superiori a 40 m dai corsi d'acqua più prossimi ed individuati come demaniali, nel Piano non sono previsti interventi di tipo strutturale.

Si certifica pertanto che allo stato attuale dell'area vasta, nell'area in esame non sono presenti rischi idrogeologici e/o di dissesto geostatico.

Savona, 14 luglio 2023



ALLEGATI

- BA-GE-RVS01 – Verifiche di stabilità – Relazione di calcolo

- BA-GE-TAV. 01 – Carta Geomorfologica, scala 1:1.500
- BA-GE-TAV. 02 – Torre T1 – Sezioni geologiche interpretative, scala 1:250
- BA-GE-TAV. 03 – Torre T2 e Area Cantiere – Sezioni geologiche interpretative, scala 1:250
- BA-GE-TAV. 04 – Adeguamento stradale Tratto A – Sezioni geologiche interpretative, scala 1:200
- BA-GE-TAV. 05 – Adeguamento stradale Tratto B – Sezioni geologiche interpretative, scala 1:200
- BA-GE-TAV. 06 – Adeguamento stradale Tratto C – Sezioni geologiche interpretative, scala 1:200