

STUDIO DI GEOLOGIA PROFETI
DOTT. MAURIZIO PROFETI GEOLOGO

VIA ROCCATAGLIATA N.96, 54033 CARRARA (MS)
TEL.: 3479059317 E-MAIL: maurizioprofeti@libero.it

COMUNE DI CARRARA BACINO DI COLONNATA



INTEGRAZIONI AL NUOVO PROGETTO DI COLTIVAZIONE DELLA CAVA N.131 "PIRINEA" COORDINATO CON LA CAVA N.136 "ORTENSIA"

RELAZIONE TECNICA

AI SENSI:

**ART.31 C.5 - TUTELA E GESTIONE DEI RAVANETI -
ART.32 C.1 – RAVANETI A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA -
NTA PABE DEL COMUNE DI CARRARA**

Committente:

Marmo Canaloni Srl
Via Piave 7/a - 54033 - Carrara (MS)
P.Iva 00088410451

Direttore Responsabile

P.M. Gianluca Guadagni

Progettisti

Geom. Alessandro Agostini - Ing. Claudia Chiappino

Il Tecnico

Dott. Maurizio Profeti Geologo

FIRMATO DIGITALMENTE
PRFMRZ73C19B832X

Maggio 2025

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. LOCALIZZAZIONE	3
3. NORMATIVA, VINCOLI E PERICOLOSITA'	5
4. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA DI STUDIO	8
4.1. Geomorfologia	8
4.2. Geologia	11
4.3. Idrografia e idrogeologia	15
5. SISMICITÀ	18
6. INDAGINI E ANALISI DEL TERRENO	19
7. AZIONE SISMICA	20
8. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL TERRENO	23
8.1. Modello geologico in presenza di "ravaneti"	23
9. ANALISI DI STABILITA' GLOBALE DEL RAVANETO	24
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	31

1. PREMESSA

La presente relazione viene redatta per conto di Marmo Canaloni S.r.l. su richiesta del Settore 7 - Ambiente e Marmo - del Comune di Carrara in relazione alla presentazione del nuovo progetto di coltivazione, ai sensi della LR 10/10, per la Cava n.131 denominata "Pirinea", ubicata nel Bacino marmifero di Colonnata. Nel particolare, il presente lavoro focalizza l'attenzione sulle condizioni di stabilità del ravaneto, presente al limite orientale dell'area in disponibilità, individuato in parte con la sigla R2 ai sensi dell'art. 31 c.5 ed, in parte, in area a pericolosità geomorfologica molto elevata secondo l'art.32 c.1 delle NTA dei PABE del Comune di Carrara.

2. LOCALIZZAZIONE

Il sito di studio rientra nell'area in disponibilità della cava denominata Pirinea, contrassegnata dal numero d'ordine 131 nell'elenco delle cave del comune di Carrara; è ubicato nel bacino marmifero di Colonnata ed è raggiungibile attraverso la strada comunale asfaltata che si diparte dal bivio per Colonnata, proseguendo con una strada di arroccamento sterrata che conduce alla zona oggetto di studio. L'area ricade in destra orografica della parte sommitale del Canale dei Canaloni, rimanendo compresa tra il Fosso Cobiato e la Fossa della Campanella.

Lo skyline è segnato dai versanti dei monti in Maggiore a Nord da cui si originano la catena orientale che ha come vette i monti La Cima delle Serre e la Cima d'Uomo caratterizzate da altezze compresa tra 800 e 1.100 m slm; ad occidente La cima del Canal Grande, il Serrone e il Campanile alla stessa altezza. Si rimanda alla **Fig. 1** per l'ubicazione in scala 1:10.000 sulla base della CTR locale, elementi D249100 e D249060.



Catasto e Urbanizzazione

Scala 1 :10.000

593.274,9

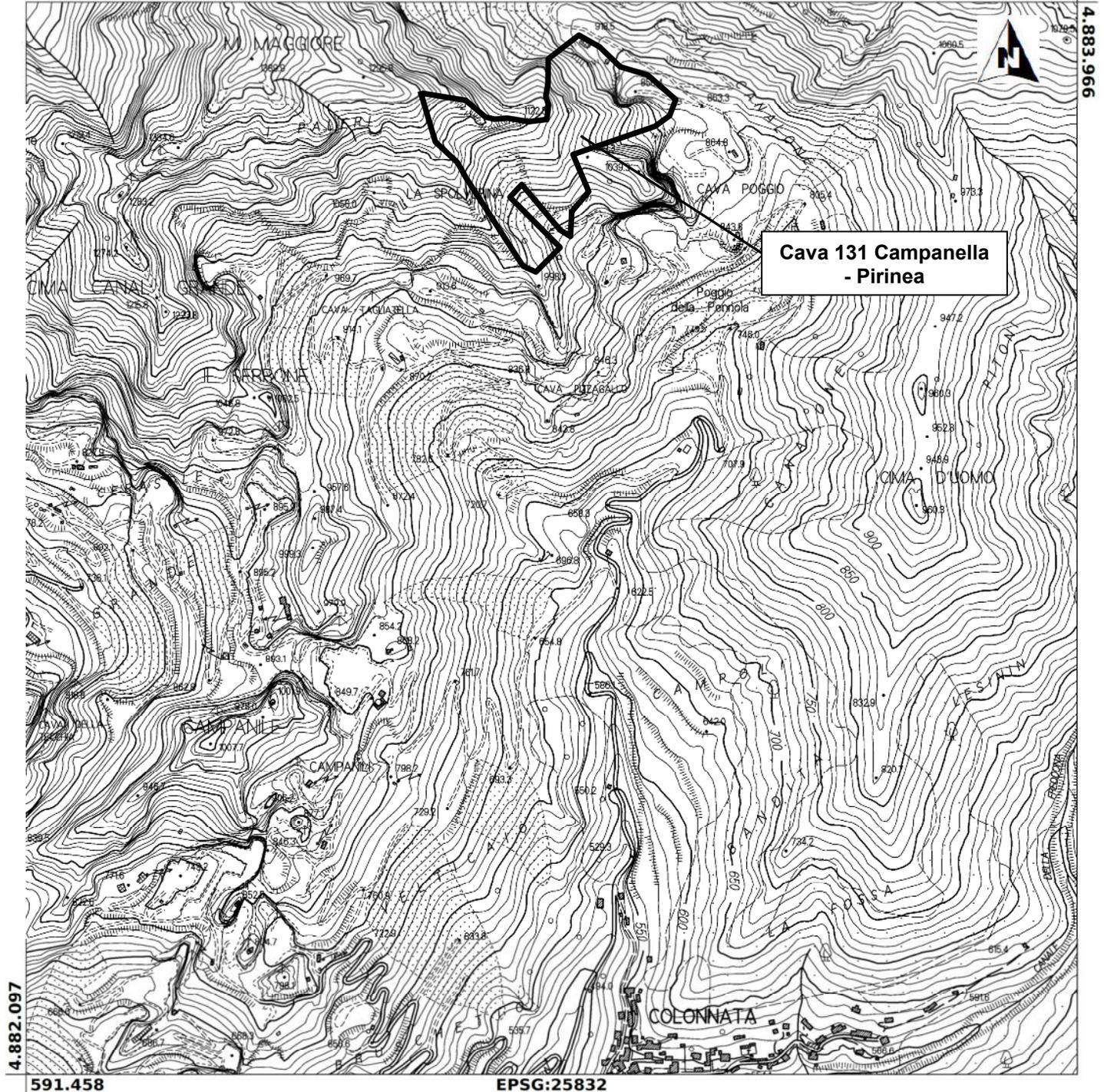


Fig. 1 – Localizzazione cava n.131 Pirinea nel bacino marmifero di Colonnata. Scala 1:10.000

3. **NORMATIVA, VINCOLI E PERICOLOSITA'**

Questa relazione è stata redatta ai sensi delle seguenti normative:

- **Decreto Ministeriale 14.01.2008**, Testo unitario –*“Norme Tecniche per le costruzioni”*.
- **Decreto Ministeriale 17.01.2018**, Testo unitario –*“Aggiornamento delle 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. 14.01.2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**, *“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”*. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.
- **Eurocodice 8** (1998), *“Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture”* – Parte 5: strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003).
- **Eurocodice 7.1** (1997), *“Progettazione geotecnica”* – Parte I: Regole generali – UNI.
- **Ordinanza P.C.M. n°3274** del 20 marzo 2003 e s.m.i., *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*.
- **D.G.R.T. n°431** del 19 giugno 2006 e s.m.i. *“Riclassificazione sismica del territorio regionale: attuazione del D.M. del 14.09.2005 e O.P.C.M n°3519 del 28 aprile 2006”*.
- **NORME DI PIANO PAI 2004** - *Piano Stralcio Assetto Idrogeologico ex Autorità di Bacino Toscana Nord*
- **L.R. 35/2015** e s.m.i.
- **PRC 2020** - *Piano Regionale Cave*
- **PABE 2021** - *Piani Attuativi dei Bacini Estrattivi delle Alpi Apuane*

Dalla figura seguente, estratta dal quadro propositivo relativo ai PABE del Comune di Carrara, si evince che l’area oggetto di studio, ubicata al limite dell’area in disponibilità, è contraddistinta dalla presenza di una limitatissima porzione, altimetricamente più bassa, di un ravaneto a pericolosità geomorfologica elevata e molto elevata, secondo l’art.32 c.1 delle NTA degli stessi PABE. Il ravaneto per quasi la sua totalità si sviluppa, sul versante che sale verso Nord-Est e lungo il fondovalle, al di fuori dell’area in disponibilità e quindi su terreni altrui.

Inoltre, nella stessa zona, si rileva la presenza di una piccolissima porzione di ravaneto “R2”, come indicato nella seguente figura, sottoposta alla disciplina dell’art. 31 c.5 delle NTA.

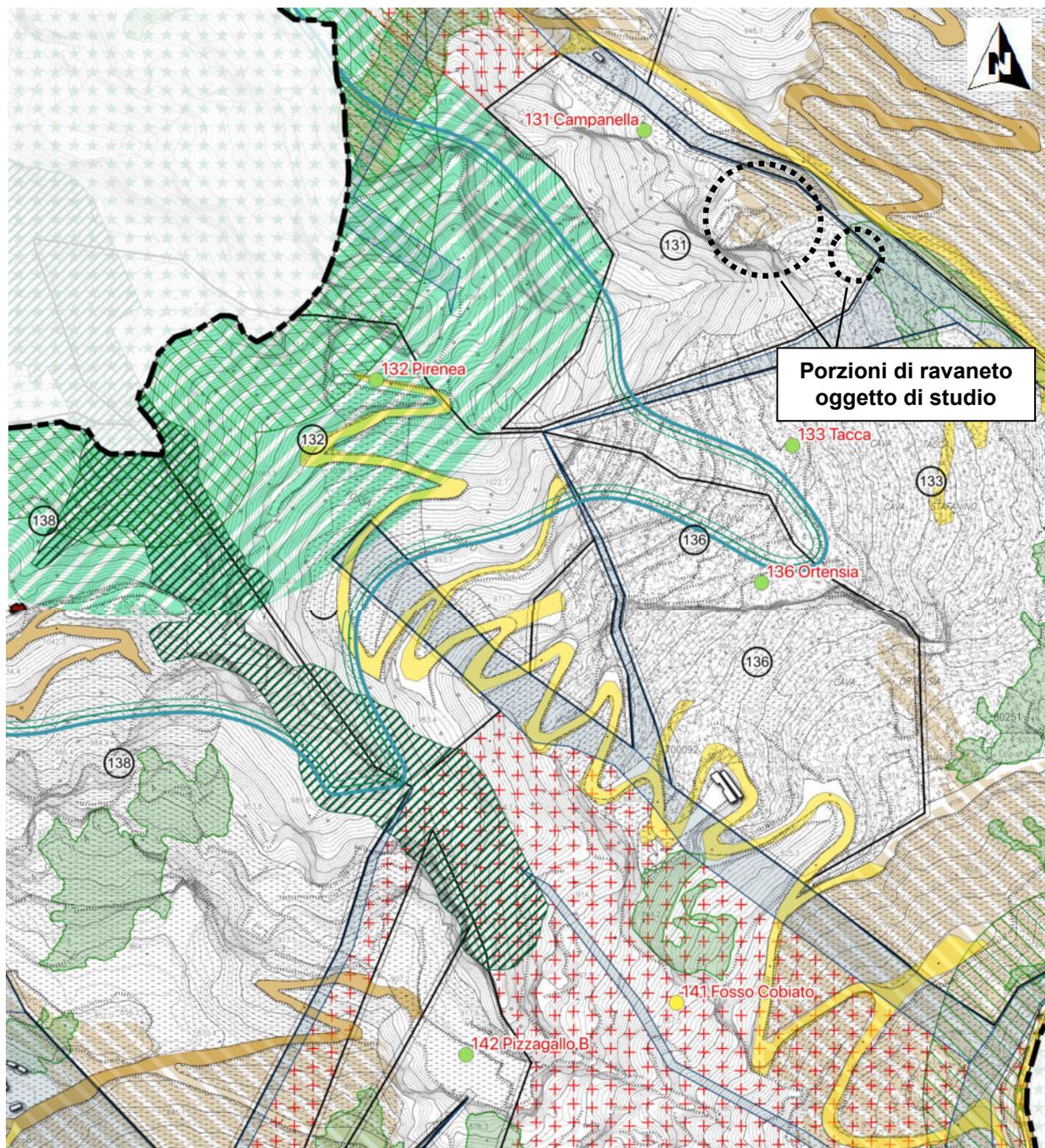


Fig. 2 – stralcio del quadro propositivo di dettaglio F1.3 + F1.6 allegato ai PABE con indicazione delle zone di ravaneto oggetto di analisi. Scala arbitraria

Legenda

 Limiti amministrativi comunali

 Perimetro Bacino Estrattivo

Localizzazione Cave e stato di attività (art.1 c.7)

 CAVE ATTIVE

 CAVE DISMESSE

 SITI ESTRATTIVI DISMESSI

 Aree in disponibilità

 Fosse Demaniali

 Aree di ricerca (art.33 c.1)

 Zone di protezione speciale ZPS/ZSC (art.8 c.1,2)

 Zona di tutela ZPS/ZSC (art.8 c.4)

 Crinali da tutelare (art.8 c.7 lett.c)

 Aree di elevato valore conservazionistico (art.6 c.4)

 Circo glaciale (art.6 c.3)

 Morfotipo Dorsale Carbonatica DOC (art.33 c.4)

 Aree di margine (art.33 c.2)

 Emergenze geologiche (art.8 c.7 lett.a1)

 Grotte (art.8 c.7 lett.a2)

 Cave storiche (art.8 c.7 lett.b1)

invarianti strutturali Piano Strutturale

 Antiche vie di lizza (art. 8 c.7 lett.b2)

 Piani inclinati (art.8 c.7 lett. b2)

 RET Sentieristica C.A.I. (art. 8 c.7 lett. b5)

Tracciato ferrovia Marmifera (art.8 c.7 lett.b4)

 in superficie

 in galleria

Viabilità e Parcheggi (art.26)

 Parcheggio

 Strade di arroccamento comprensoriali

 Strada di arroccamento singola cava

 Viabilità pubblica

classificazione edifici (art.11)

 Edifici privi di valore - c3a (art.15)

 Edifici coerenti con il contesto - c2b (art.14)

 Edifici di valore architettonico - c2a (art.13)

 Edifici di valore storico-testimoniale - c1 (art.12)

 Postazioni primo soccorso (art.25 c.1))

 Piazzole per soccorso elicotteri (art.25 c.2)

Disciplina dei suoli

 Br - Zone residenziali esistenti (art.19)

 Dc - Zone Espositive - Laboratori - Commerciali (art.20)

 Fm - Zona Mercatale di progetto (art.22)

 Di - Zone industriali/artigianali (art.21)

 Fc - Zone per attività didattico/culturali (art.23)

 As - Zone di interesse storico testimoniale (art.24)

Ravaneti soggetti a tutela (art.31)

 R1 (art.31 c.3)

 R2 (art.31 c.4) 

 Pericolosità geologica elevata e molto elevata (art.32) 

 Corsi d'acqua

 Aree immagazzinamento idrico (art.30 c.2)

 Masterplan sicurezza idraulica bacini a monte (art.30 c.3)

 Sorgenti (art.8 c.7. lett.a3 - art. 27))

Tutela delle sorgenti e dei pozzi idrop.

 A1 - zone di rispetto (art.27 c.2)

 A2 - vulnerabilità elevata (art.27 c.3)

 A3 - Vulnerabilità medio alta (art.27 c.4,5,6)

 A4 - Vulnerabilità media (art.27 c.7)

4. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA DI STUDIO

4.1. Geomorfologia

La cava 131 "Pirinea" è ubicata sul versante occidentale del complesso apuano a quote comprese tra circa 850 e 1270 m s.l.m., e si colloca all'interno dei bacini marmiferi del carrarese, nello specifico, come già detto, nel bacino di Colonnata. La cava in oggetto, inquadrabile come cava con tipo di escavazione sotterraneo, risulta ubicata in zona di versante acclive, circondata superiormente dall'allineamento dei seguenti rilievi: Campanile (1007.7 m s.l.m.), Il Serrone (1062.5 m s.l.m.), Cima Canal Grande (1223.8 m s.l.m.), M. Maggiore (1389.9 m s.l.m.), M. La Faggiola (1455.2 m s.l.m.), Cima di Bozzarello (1466.3 m s.l.m.), Cima delle Serre (1320.8 m s.l.m.) e Cima D'Uomo (963.3 m s.l.m.). Verso Sud, è presente il fondovalle costituito da una antica incisione fluviale denominata Fosso Canalone orientata in direzione NordOvest-SudEst nel settore più elevato e poi NordEst-SudOvest scendendo di quota. La strada di arroccamento per il sito estrattivo in oggetto, si diparte dalla località Poggio della Pennola ubicato nel fondovalle a quota circa 750 m. s.l.m. per poi salire verso la attigua cava n.136 Ortensia che costituisce il naturale passaggio alla cava n.131 Campanella-Pirinea. L'unità estrattiva è articolata su cantieri in sotterraneo che si svilupperanno in naturale prosecuzione di quelli presenti nella attigua cava n.136 Ortensia.

Nella zona sono presenti alcuni depositi detritici di origine antropica, cosiddetti ravaneti, che sono stati formati nell'arco degli ultimi secoli, dapprima quando la tecnica di coltivazione era, in gran parte, costituita dall'impiego degli esplosivi (depositi grossolani) e successivamente, durante gli ultimi decenni, ad opera delle lavorazioni condotte mediante l'utilizzo delle nuove tecnologie, che hanno prodotto depositi a granulometria minore. Questi si sono disposti con un'inclinazione di circa 40° ÷ 45° , assestandosi cioè secondo l'angolo di riposo caratteristico del materiale, e generalmente risultano molto permeabili per cui non si prevedono rischi di innesco di significativi movimenti gravitativi generalizzati.

Di seguito in **Fig.3** si allega uno stralcio della carta geomorfologica G3.1 allegata ai PABE, nella quale viene riportata l'ubicazione della zona di studio in relazione alla valutazione delle stabilità dei ravaneti descritti al capitolo precedente. Tale zona è caratterizzata dalla presenza di area scavata, ravaneti e monte vergine. Inoltre, la seguente Fig.4, estratta dalla caratterizzazione dei ravaneti allegata agli stessi PABE, non mette in evidenza alcuna forma di vegetazione per zona relativa al ravaneto oggetto di studio.

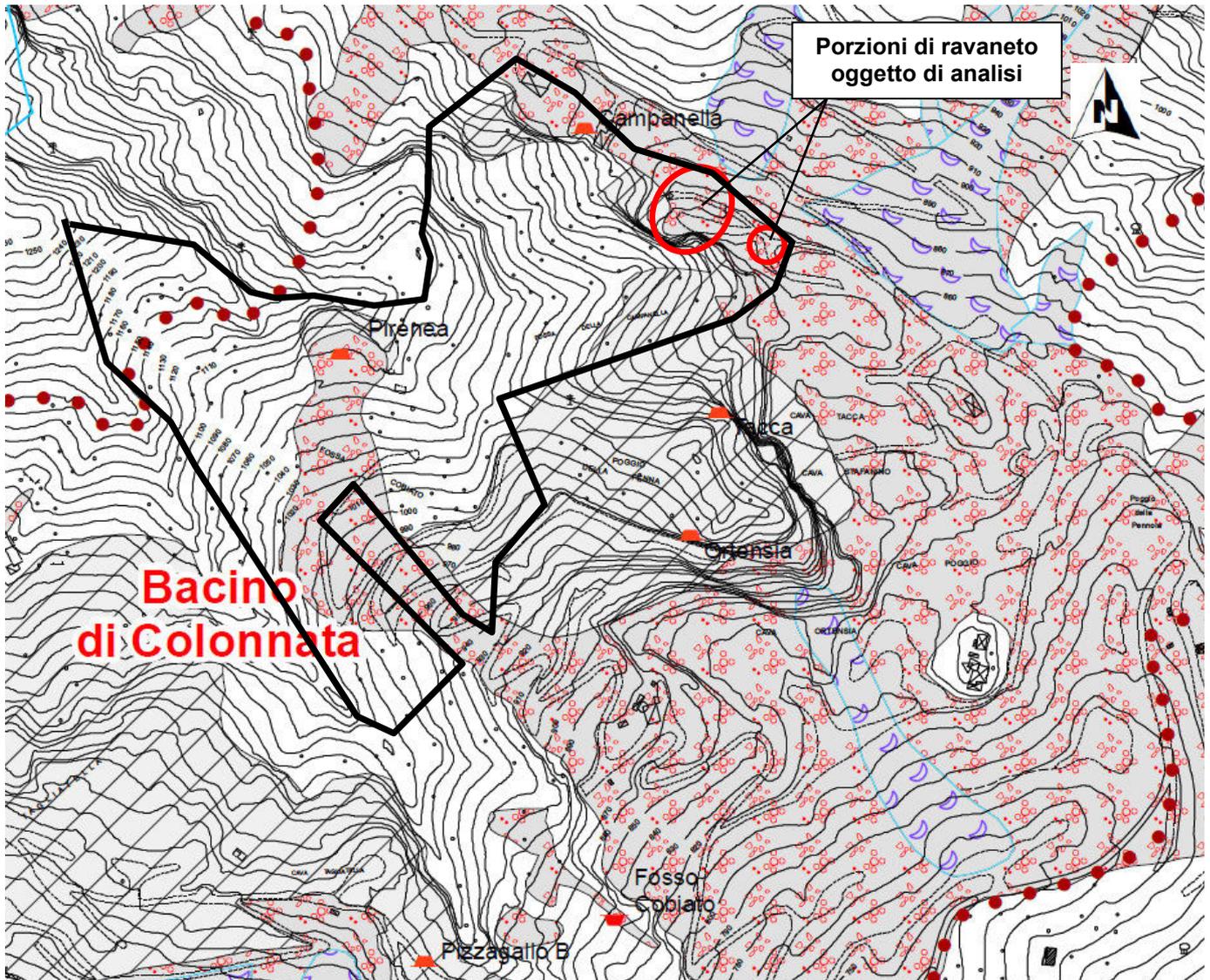


Fig. 3 – stralcio della Carta geomorfologica G3.1 (Tav. Nord) allegata ai PABE. Scala Arbitraria.



Corpo di colata da trasporto in massa di detrito (debris flow) attiva (a1dfa)
 Frane che interessano il materiale detritico di scarto prodotto dalle cave di marmo (ravanelti) scaricato lungo i versanti interni ai bacini estrattivi. Sono cartografati i corpi di frana più significativi originatisi da uno o più eventi gravitativi tra loro coalescenti.



Ravanelti (h3)
 Discariche di materiale di scarto delle cave.
 Oltre ai corpi detritici scaricati lungo i versanti di cava sono cartografati i depositi e/o manufatti realizzati nei fondivalle dei bacini estrattivi (riempimenti, terrapieni, rilevati, piazzali, viabilità etc....) utilizzando i medesimi materiali di scarto originati dall'attività estrattiva.

Cave



Perimetro Bacino/Sottobacino



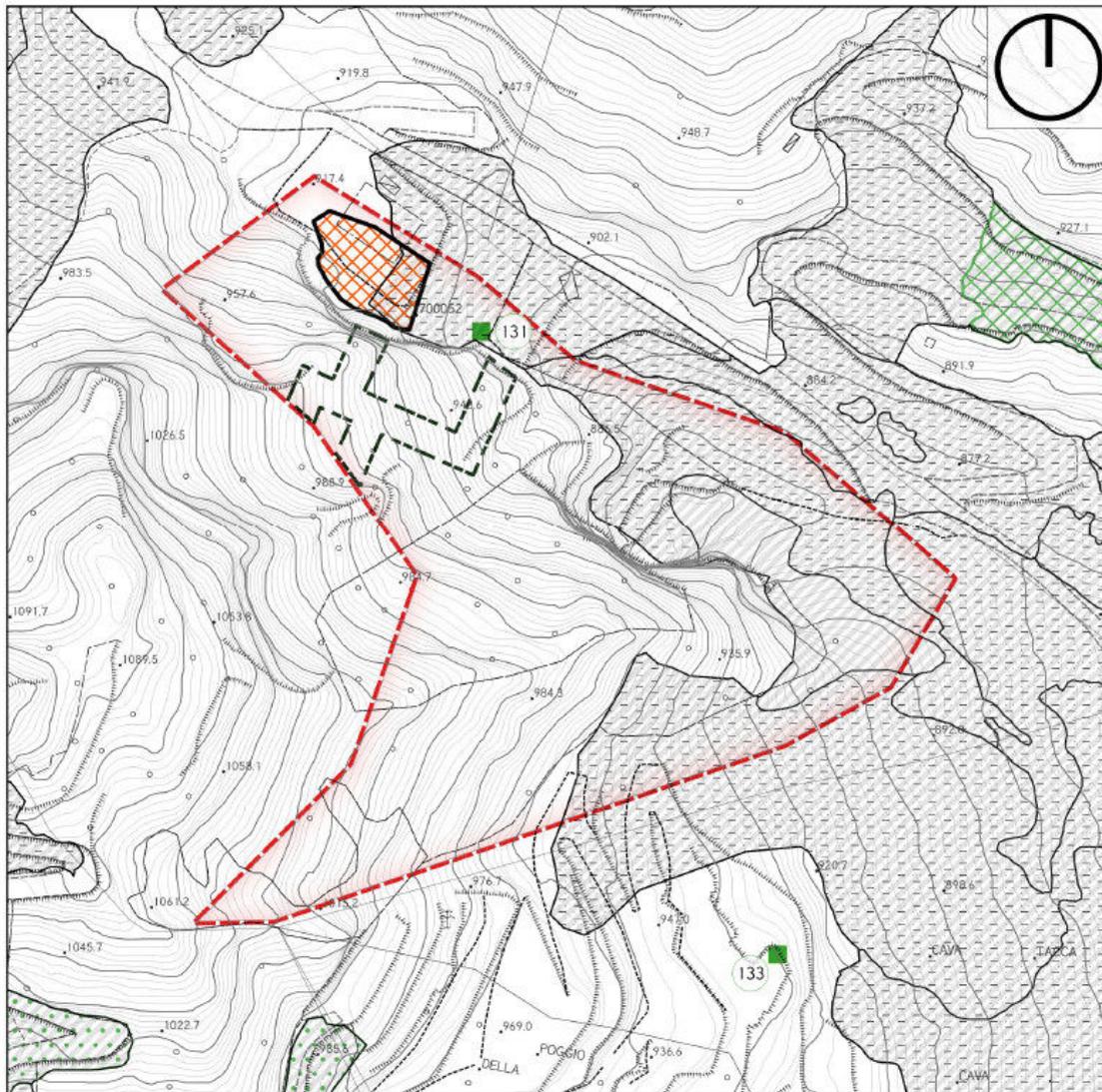
Area scavata (ae)

Caratterizzazione dei ravaneti (da studio dei ravaneti - UNIPI AIL A1.2)

Cava
131

Legenda

-  bacini_estrattivi
-  area in disponibilità
- Ravaneti senza forme evidenti di dissesto
- copertura vegetazionale
 -  Copertura arborea
 -  Copertura arbustiva
 -  Copertura erbacea
 -  Assenza di vegetazione



131 - Campanella

2020-10-12T09:21:05.704

Fig. 4 – stralcio Caratterizzazione dei ravaneti allegata ai PABE. Scala Arbitraria.

4.2. Geologia

Dal punto di vista geologico, le formazioni litoidi affioranti nell'area in disponibilità alla cava 131 "Pirinea" appartengono tutte alla serie toscana metamorfica e, dal basso verso l'alto, si ha:

- ❖ calcare selcifero (CLF) -
- ❖ marmi (MAA) -
- ❖ grezzoni (GR) -
- ❖ filladi (FAF) -

In particolare, nelle aree scavate locali e nelle immediate vicinanze affiorano rocce riferibili alla formazione dei marmi ed al calcare selcifero. Procedendo invece verso Est rispetto all'area di cava vera e propria, una volta attraversato il fondovalle, sul versante opposto affiorano, prima, rocce riferibili ai grezzoni e successivamente alle filladi. La disposizione superficiale delle formazioni è rappresentata nella figura successiva (**Fig. 5**). In questa sede non è stato ritenuto necessario descrivere in dettaglio le singole formazioni, che comunque si presentano nella loro facies più tipica, ampiamente descritta nella letteratura geologica.

Dal punto di vista tettonico, le formazioni appartenenti alla Serie Metamorfica Toscana hanno subito più fasi deformative, legate a episodi compressivi e distensivi. La collisione tra il margine sud europeo e la microplacca adriatica ha portato ad una fase compressiva in cui la parte occidentale della microplacca stessa, di cui faceva parte l'area apuana, scorse sotto il margine continentale fino a portare le rocce appartenenti a questa zona a profondità di circa 10 Km dentro la crosta, dove subirono trasformazioni metamorfiche di una certa intensità, comunque facies Scisti Verdi. I calcari, depositatisi circa 180 milioni di anni prima, si trasformarono in marmi. Le formazioni apuane, nel loro complesso, sollecitate dalle spinte compressive diedero luogo ad una serie di accavallamenti che produssero grandi pieghe isoclinali; parallelamente ai piani assiali di queste ultime si generò, nei marmi ed in alcuni altri litotipi apuani, una scistosità di flusso pervasiva, (verso di macchia). In questa fase si formarono grandi pieghe isoclinali come la Sinclinale di Carrara, l'Anticlinale di Vinca e altre pieghe minori.

Quando il metamorfismo diminuì di intensità, al perdurare delle spinte compressive, si formarono le grandi faglie, inverse e trascorrenti, che interessano tutte le formazioni della serie metamorfica. Le spinte compressive divennero sempre meno intense finché si passò ad una fase distensiva della crosta, che portò ad un denudamento tettonico e che, insieme a fenomeni erosivi, ha portato all'esumazione del complesso metamorfico apuano.

Si passò quindi da un regime compressivo ad uno distensivo in cui si svilupparono fasce di taglio duttile che causarono movimenti centrifughi rispetto al nucleo della catena. Questa fase deformativa originò altre pieghe da millimetriche a chilometriche e rimesse in movimento le faglie preesistenti generandone di nuove.

Più nello specifico, la zona di studio si colloca nella zona di piano assiale della Sinclinale di Carrara che al nucleo vede la presenza di una fascia allungata di calcari selciferi di spessore deca metrico, mentre sui fianchi affiorano rocce riferibili alla formazione dei marmi. La scistosità, dove osservabile, ha un andamento abbastanza regolare, con direzioni comprese tra 110° e 140° , immersione verso Sud Ovest, con pendenza variabile tra 35° e 50° . Questi valori sono abbastanza frequenti nel giacimento di Carrara, tipici delle zone poco interessate dalla tettonica plicativa delle fasi tardive. Ovviamente i valori di orientazione descritti sopra, possono subire locali variazioni indotte dalla presenza di accidenti tettonici, quali ad esempio faglie.

Le suddette formazioni risultano ricoperte in maniera discontinua da depositi detritici denominati ravaneti derivanti dalle lavorazioni passate dei litotipi marmorei accumulati lungo i pendii secondo il loro natural declivio (circa 45°). La zona oggetto di analisi, ubicata al limite NE dell'area in disponibilità, è contraddistinta dalla presenza di una limitatissima porzione, altimetricamente più bassa, di un ravaneto per quasi la sua totalità si sviluppa, sul versante che sale verso Nord-Est e lungo il fondovalle, al di fuori dell'area in disponibilità e quindi su terreni altrui, come visibile nella seguente Fig.5.



Regione Toscana



Regione Toscana - DB Geologico

Scala 1 : 10,000

1,593,769

4,884,039

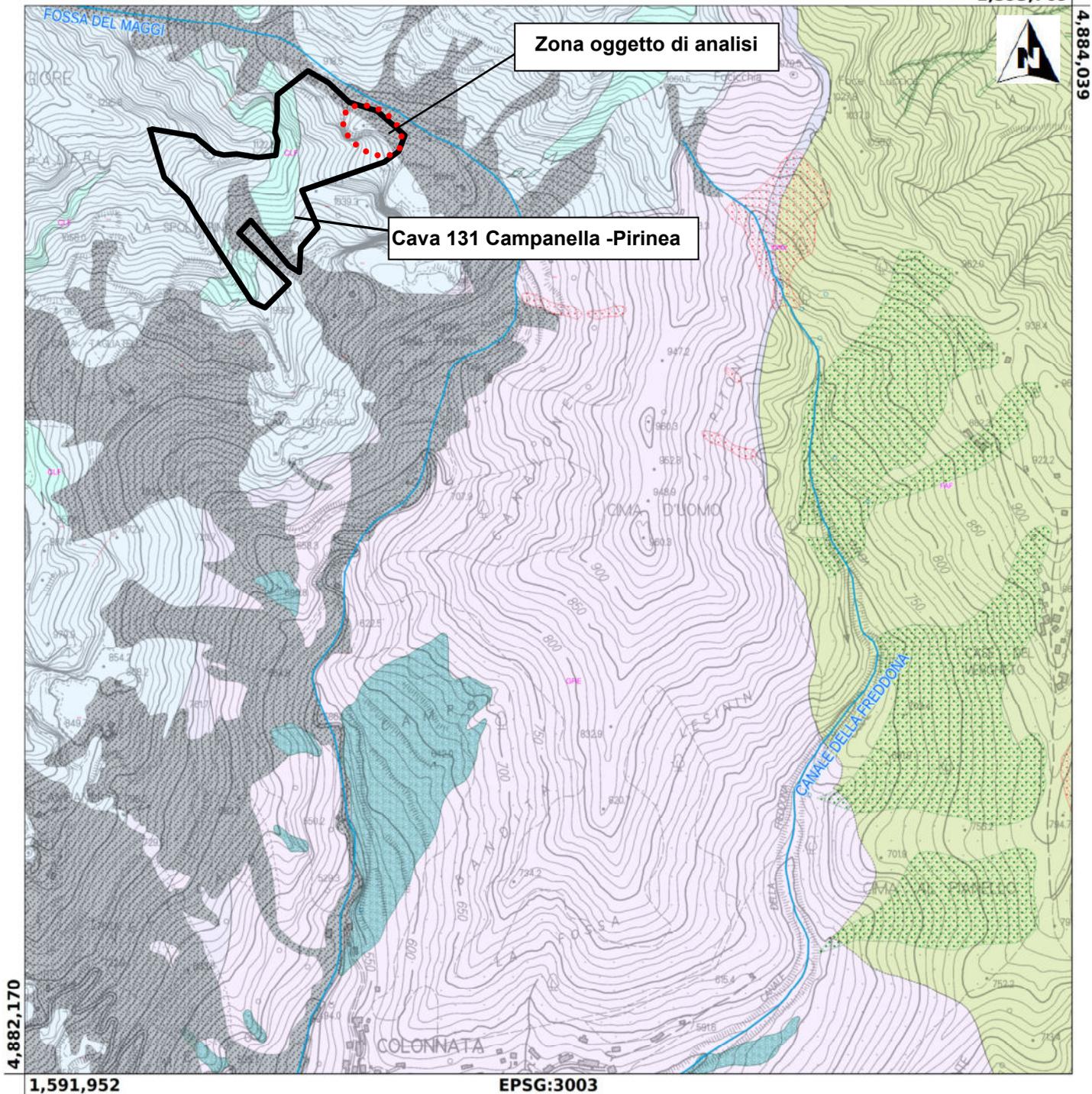


Fig. 5 – Inquadramento geologico da Geoscopio Regione Toscana. Scala 1:10.000

Legenda

Corsi



Specchi d'acqua



CTR 1:10.000 black

DataBase delle caratteristiche idrologiche e geotecniche dei terreni nei Depositi Superficiali

Cava o miniera

- cava attiva
- cava inattiva
- cava adibita a discarica
- saggio di cava
- cava in sottterraneo attiva
- cava in sottterraneo inattiva
- miniera attiva
- miniera inattiva

Risorsa idrica

- sorgente
- sorgente minerale
- sorgente termominerale
- pozzo per acqua

Depositi Superficiali da Geomorfologia

- Deposito di versante
- Deposito alluvionale Inattivo Ghiaie
- Deposito eluvio-colluviale
- Deposito di origine mista
- Discarica di cava, ravaneto

Limite geologico

- contatto stratigrafico e/o litologico - certo
- contatto stratigrafico e/o litologico - fittizio
- contatto stratigrafico e/o litologico - incerto
- contatto stratigrafico e/o litologico - sepolto
- faglia - certo
- faglia - incerto
- faglia - sepolto

Unita geologica areale

- CLF - Metacalcari selciferi LIAS MEDIO - LIAS SUPERIORE
- FAF - Filladi quarzítico-muscovitiche e cloritiche CAMBRIANO ? - ORDOVICIANO INFERIORE ?
- GRE - Grezzoni NORICO
- MAA - Marmi LIAS INFERIORE
- MDD - Marmi dolomitici LIAS INFERIORE
- VINA - Formazione di Vinca: Filladi grigio-verdastre, quarziti e metaconglomerati CARNICO - NORICO ?

4.3. Idrografia e idrogeologia

La zona è ubicata all'interno di un dosso secondario di 3° ordine, prolungamento di uno spartiacque di 2° ordine che si diparte dal soprastante M. Maggiore, rimanendo limitato:

- verso Nord dalla Fossa della Campanella
- verso Est dal fondovalle dei Canaloni;
- verso Sud dal Fosso Cobiato;
- verso Ovest dal prolungamento dello stesso dosso secondario su cui insiste il subgiacimento, la cui estensione areale si riduce salendo di quota.

Dal punto di vista idrogeologico, la permeabilità primaria si ha per la copertura detritica naturale ($k = 75\%$) e per i ravaneti ($k = 85\%$), tenuto conto del fatto che gran parte di questi si sono strutturati, come già detto, nel passato e quindi sono costituiti da clasti di pezzatura diversa di dimensioni superiori al decimetro cubo. Si individuano locali settori di ravaneto costituiti anche da materiale a granulometria minore, soprattutto per quanto riguarda le porzioni più prossime alla superficie topografica.

Per quanto riguarda gli affioramenti rocciosi, i marmi (**m**) e i calcari selciferi (**cs**) sono molto permeabili per fratturazione e carsismo, con un coefficiente di permeabilità che può raggiungere, in certe zone interessate da faglie o intensa fratturazione, anche il valore del 65%. I valori sopraddetti sono valutati in base ai dati della letteratura geologica e ad osservazioni locali basate sullo stato di fratturazione delle diverse formazioni.

Dal punto di vista della permeabilità, i litotipi affioranti all'interno dell'area di studio possono essere riuniti secondo tre classi:

- Classe I - terreni ad alta permeabilità per porosità ("ravaneti")
- Classe II - Rocce ad alta permeabilità per fessurazione e carsismo ("marmi")
- Classe III - Rocce a permeabilità medio-alta per fessurazione e carsismo ("calcari selciferi")

Le caratteristiche di permeabilità dei litotipi nell'area di indagine rivelano l'assenza di un livello impermeabile superficiale che permetta la formazione di un acquifero locale e, allo stesso tempo, favoriscono una circolazione idrica sotterranea, il cui andamento dipende dal grado di fratturazione delle rocce carbonatiche. Per l'individuazione delle caratteristiche idrogeologiche locali, si rimanda alla Fig.6 che rappresenta uno stralcio della Carta idrogeologica G4.1 (Tav. Nord) allegata ai PABE del comune di Carrara.

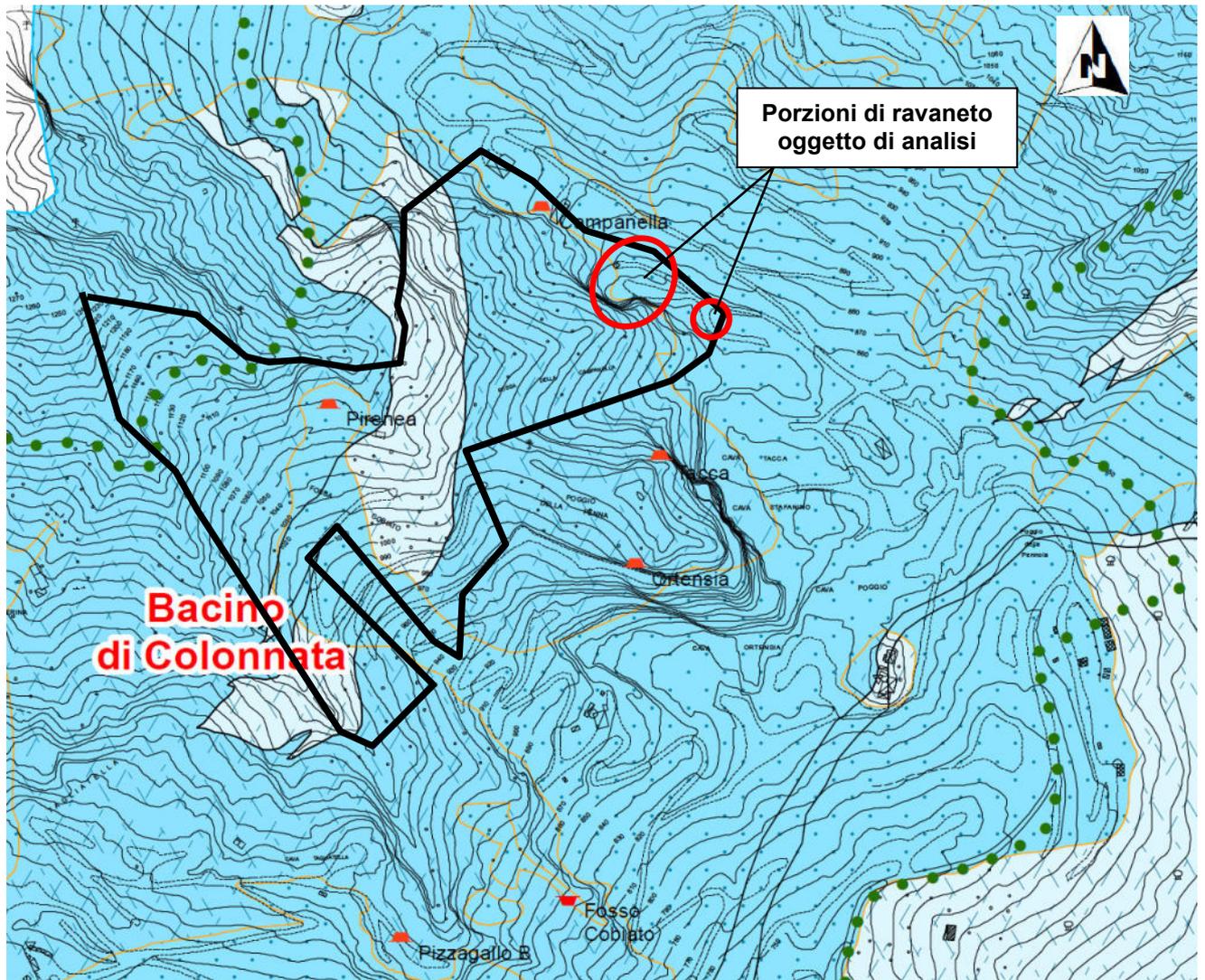


Fig. 6 – stralcio della Carta idrogeologica G4.1 (Tav. Nord)
allegata ai PABE. Scala Arbitraria.

LEGENDA



Limite amministrativo
del Comune di Carrara



Perimetro Bacino/Sottobacino

Classi di permeabilità relativa per i complessi idrogeologici in depositi quaternari, artificiali attuali e recenti (h3) Permeabilità primaria per porosità

Grado di permeabilità	Depositi quaternari, artificiali attuali e recenti (h3)
alta	 5
medio-alta	 4
media	 3
medio-bassa	 2 *
da bassa a molto bassa	 1 *

Classi di permeabilità relativa per i complessi idrogeologici in roccia Permeabilità secondaria

Grado di permeabilità	Complessi carbonatici		Complessi non carbonatici
	Permeabilità per fratturazione e/o carsismo	Permeabilità per fratturazione	Permeabilità per fratturazione
alta	 V		
medio-alta	 IV	 IV	
media	 III *	 III *	
medio-bassa			 II
da bassa a molto bassa			 I

* Classi di permeabilità relativa non rappresentate nell'area di studio

—— Contatto stratigrafico e/o litologico

Limiti dei complessi idrogeologici in roccia

— Emerso - - - - - Sepolto

5. SISMICITÀ

Il territorio comunale di Carrara con l'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003, che definisce la classificazione sismica del territorio nazionale e le nuove norme tecniche per la costruzione in zona sismica, viene confermato in II CATEGORIA; secondo quanto previsto dalla normativa regionale in materia sismica (O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006 e D.G.R.T. n° 431 del 19/06/2006), il comune di Carrara viene classificato in ZONA 3S (CLASSE MOBILE) mantenendo il livello di protezione della ZONA 2 (Ag/g = 0.25) (vedi Fig.7). Di seguito si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ag, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni:

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.	Accelerazione orizzontale con probabilità di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Ag/g).
1	> 0,25	0,35
→2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, infatti la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito-dipendente" e non più tramite un criterio di "zona dipendente". L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito in costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

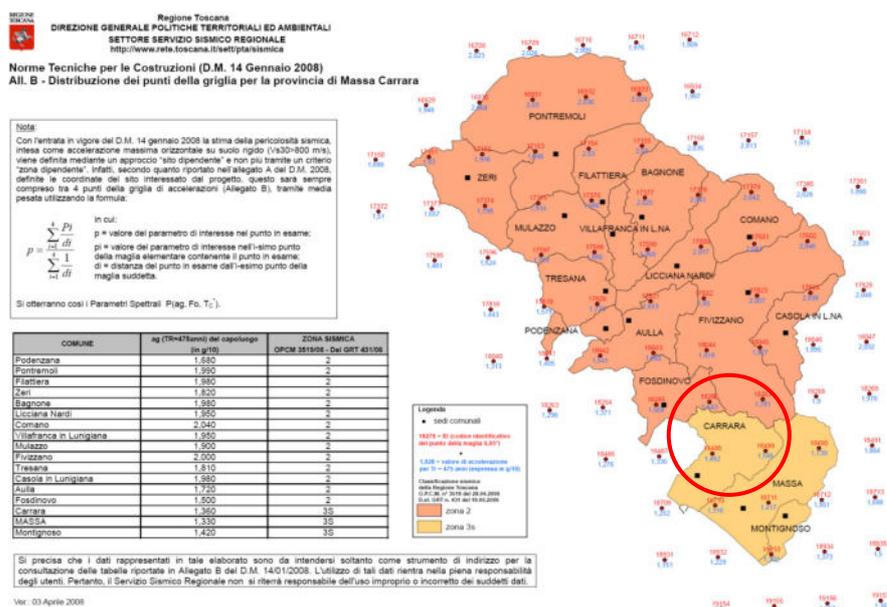


Fig. 7: Distribuzione dei punti di calcolo di a_g per la Provincia di Massa-Carrara

In ottemperanza alla nuova normativa, D.M. 14/01/2008 e relativo aggiornamento con D.M. 17/01/08, devono essere ricavati un insieme di parametri definiti come "azioni sismiche di progetto" a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione; quest'ultima è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento" V_r espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento P_v ". Si rimanda al capitolo successivo.

6. INDAGINI E ANALISI DEL TERRENO

I terreni detritici oggetto del presente studio sono stati caratterizzati sulla base di osservazioni in situ e sulla scorta di indagini sismiche effettuate in contesti geologici analoghi a quello di intervento. Sulla base delle indagini effettuate, che permettono di definire una V_{eq} equivalente pari a 364 m/s, in relazione a quanto indicato nel D.M. 17/01/2018, si è valutata una categoria di sottosuolo B per il corpo detritico oggetto di successive analisi, come di seguito illustrato:

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

**Ravaneto
CAVA 131**

Le condizioni topografiche ricadono cautelativamente, per l'area di studio, nella Categoria Topografica T2 come evidente dalla seguente tabella estratta dalla normativa in esame, caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografico pari a 1,2. S_s è l'effetto di amplificazione stratigrafica ed è funzione di F_0 secondo le relazioni espresse nella tab. 3.2 .V; C_c è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo, come indicato nella medesima tab. 3.2 .V

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_o \text{ (ag/g)} \leq 1,20$	$1,10 (T_{+c})^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_o \text{ (ag/g)} \leq 1,50$	$1,10 (T_{+c})^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_o \text{ (ag/g)} \leq 1,80$	$1,10 (T_{+c})^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_o \text{ (ag/g)} \leq 1,60$	$1,10 (T_{+c})^{-0,40}$

Tab. 3.2.V – espressioni di s_s e c_c (NTC 2008/2018)

7. AZIONE SISMICA

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

La pericolosità sismica viene definita in termini di:

- Accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria C), con superficie topografica orizzontale (categoria T_1);
- Ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , che nel caso specifico corrisponde a 50 anni in quanto derivante dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N C_U = 50 \cdot 1,0 = 50 \text{ anni}$$

in cui:

V_N = vita nominale in anni (desumibile dalla tab 2.4.1 NTC 2008)

C_U = coefficiente d'uso (desumibile dalla tabella dei Coefficienti d'uso in funzione della classe d'uso 2.4.II NTC 2008)

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale (V_N) in anni
1	Opere provvisorie – opere provvisionali – strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
→ 2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o d'importanza normale.	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Vita nominale delle costruzioni (2.4.1 NTC 2008)

**Relazione tecnica art.31 c5 e 32 c1 PABE CARRARA
Nuovo Progetto di coltivazione Cava n.131 "Pirinea"**

CLASSE I	Presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
→ CLASSE II	Normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente [...].
CLASSE III	Affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
CLASSE IV	Funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente [...].

Classi d'uso delle costruzioni (2.4.2 NTC 2008)

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Coefficienti d'uso in funzione della classe d'uso (2.4.11 NTC 2008)

Infine secondo le NTC 2008 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag** accelerazione orizzontale massima del sito
- Fo** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T*c** periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Per la determinazione dell'accelerazione sismica orizzontale massima attesa su un sito di riferimento rigido a_g è necessario conoscere le coordinate geografiche dell'opera da verificare.

A questo punto è possibile determinare la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto, come di seguito sintetizzato nella figura 8.

Parametri sismici
determinati con **GeoStru PS**

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 44,102641 [°]

longitudine: 10,157116 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	18489	44,087580	10,149270	1788,1
Sito 2	18490	44,089520	10,218860	5142,0
Sito 3	18268	44,139480	10,216150	6243,8
Sito 4	18267	44,137530	10,146600	3969,2

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,053	2,447	0,239
Danno (SLD)	63	50	0,067	2,451	0,255
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,170	2,400	0,286
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,218	2,394	0,291

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,470	1,200	0,015	0,008	0,748	0,200
SLD	1,200	1,450	1,200	0,019	0,010	0,950	0,200
SLV	1,200	1,410	1,200	0,059	0,029	2,402	0,240
SLC	1,190	1,410	1,200	0,087	0,044	3,059	0,280

Geostru

Fig. 8 - determinazione dei parametri e dei coefficienti sismici di sito per il ravaneto oggetto di studio presso la cava n.131 "Pirinea" nel caso di presenza di **ravaneto su substrato marmoreo**

8. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL TERRENO

Il modello geologico-geotecnico dei terreni costituenti l'areale di cava oggetto del presente studio è stato ricostruito sulla base delle indagini effettuate, partendo dal presupposto che possono essere presenti al massimo due litotipi. Infatti, dove il marmo è affiorante alla superficie topografica, avremo un solo litotipo definito come "substrato marmoreo", mentre dove presenti coltri di detrito più o meno potenti (comunque sempre inferiori a 30 m di spessore) avremo due litotipi, cioè un substrato marmoreo sepolto e un terreno detritico di tipo antropico a prevalente componente granulare.

Per la definizione delle caratteristiche geotecniche del litotipo "marmo", oltre all'utilizzo dei dati derivanti dalle indagini geofisiche menzionate ai capitoli precedenti, sono stati condotti specifici rilievi geostrutturali e geomeccanici, seguendo le Norme ISRM (1978), successivamente rielaborati mediante i criteri di Classificazione di Bieniawski (1989) che hanno permesso, in considerazione di molteplici parametri osservati in affioramento, di attribuire all'ammasso roccioso determinati indici utilizzabili per ricavarne i relativi parametri geotecnici, come meglio descritto nella relazione geologica di corredo al nuovo progetto di coltivazione, alle quali si rimanda per eventuali approfondimenti.

8.1. Modello geologico in presenza di "ravaneti"

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni costituenti la copertura detritica antropica di cava, cosiddetti "ravaneti", oltre alle indagini sismiche descritte e precedenti studi effettuati direttamente all'interno della medesima area di cava, sono stati utilizzati dati di letteratura pubblicati da vari enti in occasione di casi di studio ai fini della valutazione della stabilità. In particolare, sono stati presi in considerazione i seguenti lavori pubblicati ufficialmente:

- *"Sulla stabilità delle discariche di materiali lapidei"* a cura di Panei, Forlani, Tardi, pubblicato su rivista *"Quarry & Construction"*, dicembre 2000;
- *"Discariche di cava e instabilità dei versanti: valutazione preliminare di alcuni fattori significativi nel bacino marmifero di Carrara (Italia)"* a cura di Cortopassi, Daddi, D'Amato Avanzi, Giannecchini, Lattanti, Merlini, Milano, pubblicato su *"Italina Journal of Engineering Geology and Environment, Special Issue"*, 2008
- *"Static and dynamic analyses of the stability of mining wastes (ravaneti) in the Carrara marble area (Apuan Alps, Italy)"* a cura di Oreste, Soldano, pubblicato sul Volume n.57 di *"Archives of Mining Sciences"*, 2012.

Di seguito, per il caso di presenza di coltre detritica antropica (ravaneto) poggiate su substrato marmoreo, si fornisce una sintesi dei parametri geotecnici medi, e quindi del modello geologico-geotecnico medio, assegnati ai singoli litotipi utilizzando le metodologie sopraesposte:

LITOLOGIA	PESO DI VOLUME NATURALE γ_w (Kg/m ³)	PESO DI VOLUME SATURO γ_s (Kg/m ³)	ANGOLO D'ATTRITO INTERNO ϕ	COESIONE c (Kg/cm ²)
Detrito (ravaneto)	1800÷1900	2000÷2100	50°÷37°	0,0 ÷ 0,6
Substrato marmoreo	2700	2700	35° ÷ 45°	3,0 ÷ 4,0

Parametri geotecnici medi

Sulla base di precedenti studi in back- analysis, per il caso di studio sono stati individuati i parametri geotecnici caratteristici che si attestano intorno alla media dei valori soprariportati. Nello specifico, per le successive analisi di stabilità sono stati utilizzati i seguenti parametri:

LITOLOGIA	PESO DI VOLUME NATURALE γ_w (Kg/m ³)	PESO DI VOLUME SATURO γ_s (Kg/m ³)	ANGOLO D'ATTRITO INTERNO ϕ	COESIONE c (Kg/cm ²)
Detrito (ravaneto)	1900	2100	45°	0,3
Substrato marmoreo	2700	2700	43°	3,5

Parametri geotecnici caratteristici

9. ANALISI DI STABILITA' GLOBALE DEL RAVANETO

Le analisi di stabilità del corpo detritico in oggetto sono state effettuate, utilizzando i suddetti parametri, ai sensi degli art.31 c.5 e art.32 c.1 dei PABE del Comune di Carrara prendendo in considerazione le sezioni F-F' e G-G' fornite dal Geom. A. Agostini. Il progetto non prevede modifiche morfologiche tra lo stato attuale e quello finale per cui le verifiche verranno effettuate per le due sezioni fornite in cui lo stato finale coincide con quello attuale. Di seguito si riporta il posizionamento delle tracce delle due sezioni F-F' e G-G' sulla base del quadro propositivo di dettaglio F1.3 allegato ai PABE del Comune di Carrara.

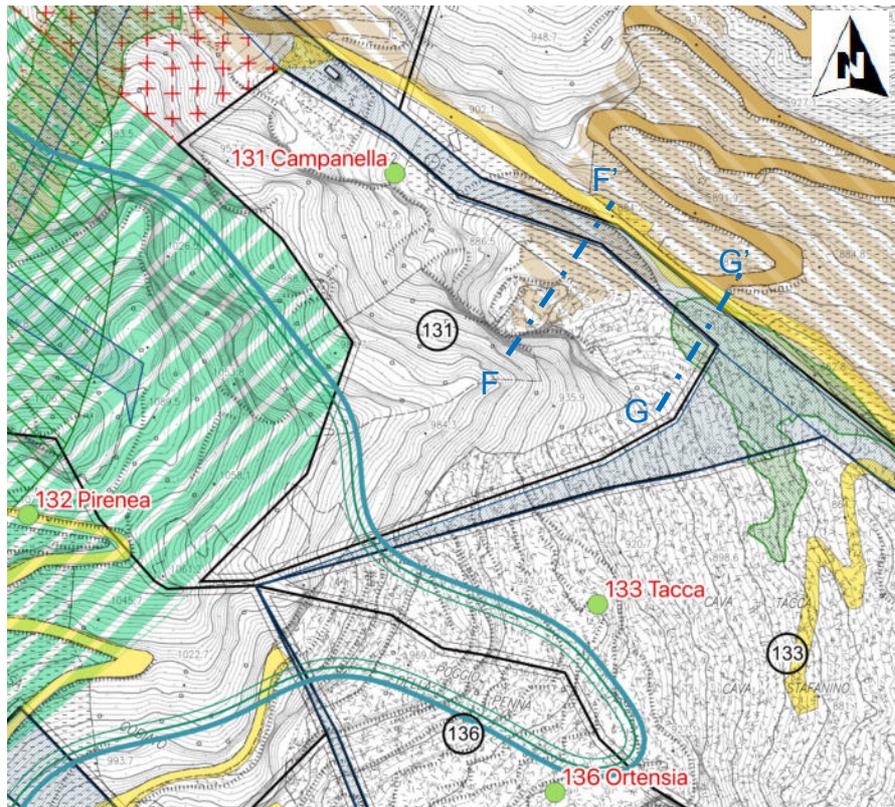


Fig. 8 – stralcio del quadro propositivo di dettaglio F1.3 allegato ai PABE con indicazione della traccia delle sezioni F-F' e G-G' elaborate dal Geom. Agostini A., scala arbitraria

LEGENDA:

 Sezioni tipologiche

 R2 (art.31 c.4)

 Pericolosità geologica elevata e molto elevata (art.32)

Le verifiche sono state effettuate, tutte, in ottemperanza alle NTC 2018 (D.M. 17/01/18), considerando la combinazione A2+M2+R2. I valori geotecnici caratteristici, elencati al capitolo precedente ed utilizzati per le verifiche, sono stati corretti a quelli di progetto mediante l'utilizzo di coefficienti parziali contemplati da M2 e R2; in particolare si è apportato una correzione di 1,25 alla "Tangente angolo di resistenza al taglio" ed un coefficiente parziale di resistenza pari a 1,2. Si è quindi tenuta in considerazione la destabilizzazione del corpo detritico in seguito ad un eventuale sisma, inserendo un coefficiente di azione sismica orizzontale K_h pari a 0,059 ed un coefficiente di azione sismica verticale K_v di 0,029, ottenuti, dalla caratterizzazione sismica calcolata nei capitoli precedenti, considerando anche il tipo di morfologia e litologia presenti.

Tutte le verifiche effettuate sono state eseguite mediante l'utilizzo del software "Slope – vers. 2025.30.6.1604" prodotto dalla ditta Geostru s.a.s..utilizzando il metodo di Fellenius, che in questo caso è risultato il più cautelativo.

Dalle verifiche effettuate si evince che le porzioni analizzate in corrispondenza delle sezioni sopracitate risultano in condizioni di stabilità globale certa con valori di F_s sempre maggiori a 1,1. Le verifiche sono state effettuate sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche, come sintetizzato nella tabella e nelle figure seguenti:

Sezione/Stato	Fattore di sicurezza
Sezione F-F'/ Stato Attuale-Progetto + falda: fig.9	1,20
Sezione F-F'/ Stato Attuale-Progetto + falda + sisma: fig.10	1,34
Sezione G-G'/ Stato Attuale-Progetto + falda: fig.11	6,08
Sezione G-G'/ Stato Attuale-Progetto + falda + sisma: fig.12	5,12

SINTESI DEI FATTORI DI SICUREZZA SEZIONI F-F' e G-G'

Viste le caratteristiche morfologiche e litotecniche del ravaneto in oggetto, si è ritenuto che non sia possibile la formazione di una falda acquifera vera e propria né alla base né all'interno del corpo detritico. Infatti, il ravaneto risulta caratterizzato dalla presenza preponderante di materiale grossolano che sicuramente permette un efficace drenaggio delle acque meteoriche di infiltrazione. In maniera cautelativa, si è comunque proceduto ad eseguire le verifiche considerando una falda acquifera con livello massimo nella mezzeria dello spessore detritico analizzato.

Relazione tecnica art.31 c5 e 32 c1 PABE CARRARA
Nuovo Progetto di coltivazione Cava n.131 "Pirinea"

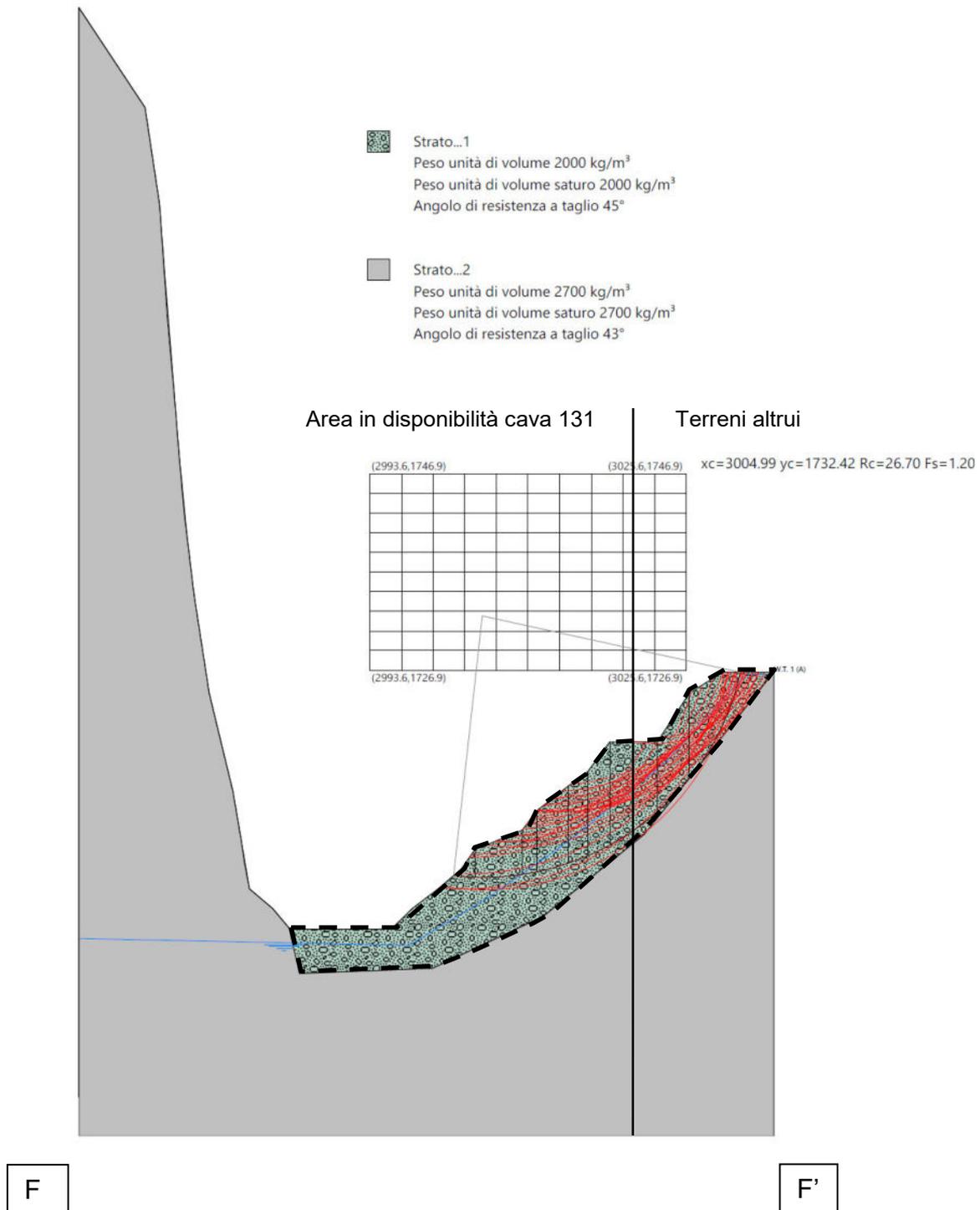


Fig. 9 – sezione di stabilità F-F' – Stato Attuale-Progetto + falda. Scala arbitraria.

In tratteggio nero sagoma del ravaneto a pericolosità geomorfologica molto elevata

Relazione tecnica art.31 c5 e 32 c1 PABE CARRARA
Nuovo Progetto di coltivazione Cava n.131 "Pirinea"

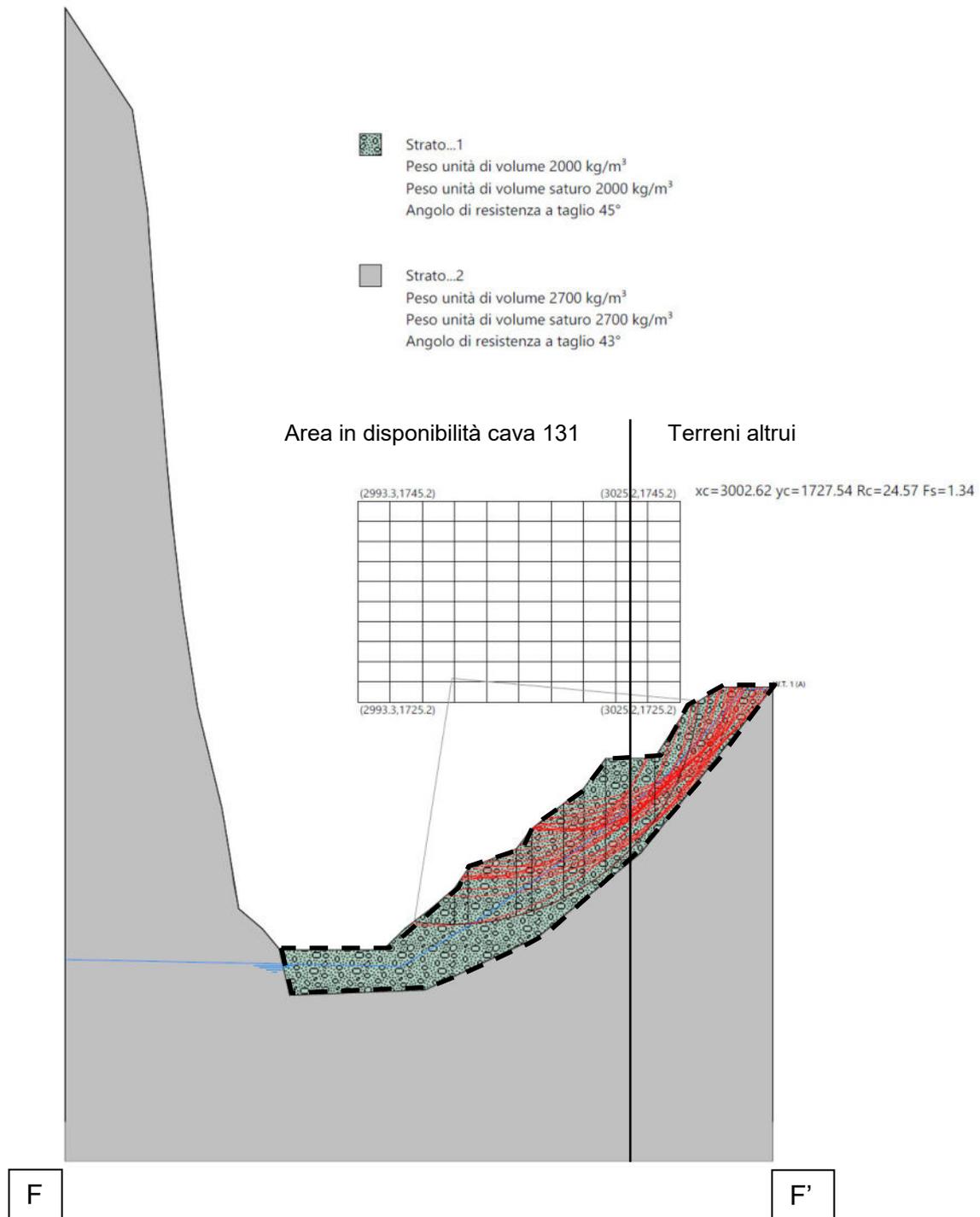


Fig. 10 – sezione di stabilità F-F' – Stato Attuale-Progetto + falda + sisma. Scala arbitraria.

In tratteggio nero sagoma del ravaneto a pericolosità geomorfologica molto elevata

Relazione tecnica art.31 c5 e 32 c1 PABE CARRARA
Nuovo Progetto di coltivazione Cava n.131 "Pirinea"

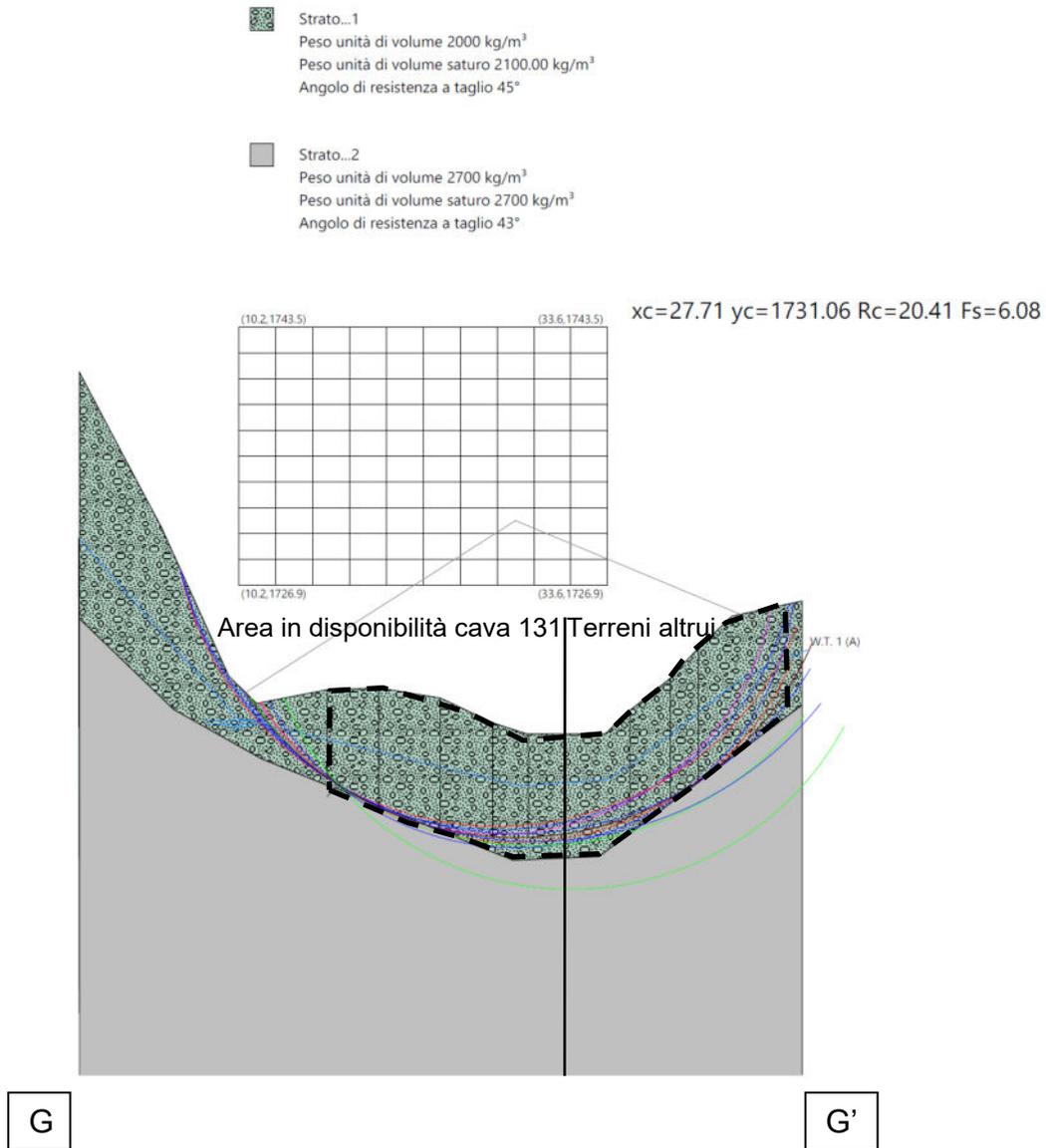


Fig. 11 – sezione di stabilità G-G' – Stato Attuale-Progetto + falda. Scala arbitraria.

In tratteggio nero sagoma del ravaneto R2

Relazione tecnica art.31 c5 e 32 c1 PABE CARRARA
Nuovo Progetto di coltivazione Cava n.131 "Pirinea"

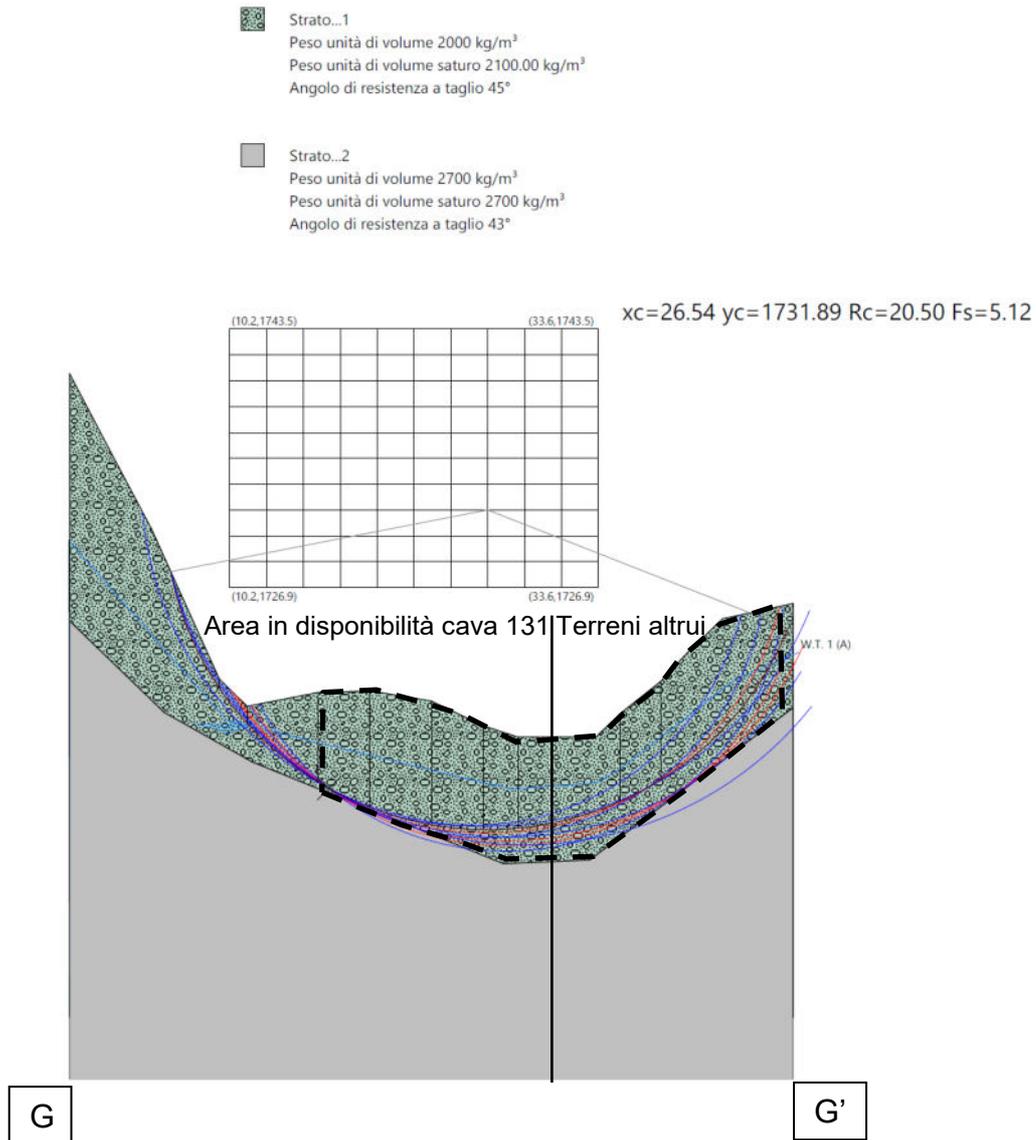


Fig. 12 – sezione di stabilità G-G' – Stato Attuale-Progetto + falda + sisma. Scala arbitraria.

In tratteggio nero sagoma del ravaneto R2

10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Si segnala che la maggior parte del ravaneto presente lungo il confine orientale dell'area in disponibilità alla Marmo Canaloni S.r.l. si estende al di fuori dell'area stessa, sul versante contrapposto che sale verso NE e lungo il fondovalle, ed è quindi ubicato in terreni altrui.

Sulla base delle indagini e delle analisi effettuate, si chiarisce che, ai sensi degli articoli 31 c.5 e 32 c.1 delle NTA dei PABE, le porzioni di ravaneto presenti nella zona nordorientale della cava n.131 "Ortensia", individuate in parte "R2" ed in parte a pericolosità geomorfologica molto elevata nelle cartografie del Q.P. dei PABE stessi, risultano globalmente stabili per la situazione attuale che coincide con quella di progetto per cui, allo stato attuale delle conoscenze, non sono necessari interventi di messa in sicurezza del pendio oggetto di verifica e nelle immediate adiacenze.

Carrara, 9 maggio 2025

Dott. Geologo Maurizio Profeti
Firmato digitalmente
PRFMRZ73C19B832X