

Studio Micheloni

LAVORO:

Parco Minerario dell'Isola D'Elba

Valorizzazione turistica e culturale dell'attività mineraria storica e dei siti minerari a ferro dell'Elba Orientale

Progetto di recupero a fini turistici della galleria traversobanco q.138 all'interno del Cantiere Rosseto

Progetto Esecutivo

COMMESSA: **J20045**

COMMITTENTE:



PARCO MINERARIO
Isola D'Elba

Parco Minerario

Palazzo del Burò

Via Magenta 26, 57038 Rio Marina (LI) – Isola D'Elba

Presidente: Dott. Icilio Disperati

TITOLO:

Studi geologici e minerari e caratterizzazione geomeccanica

PROGETTISTA:

Ing. Michelangelo Micheloni

CONSULENTE SCIENTIFICO:

Prof. Geol. Massimo Coli

COLLABORATORE PER LA PROGETTAZIONE: Arch. Anna Livia Ciuffreda

COLLABORATORE PER ELABORATI ECONOMICI: Arch. Leonardo Donatelli

1			
0	EMISSIONE	20 luglio 2022	
REV	DESCRIZIONE	DATA	
Il presente documento è di proprietà dello Studio Micheloni Srl Le proprietà intellettuali sono dei rispettivi autori. A termini di legge ogni diritto è riservato.		ELABORATO: DOC.04	N. PAG 33

INDICE GENERALE

1.	PREMESSA	3
2.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO SECONDO GLI STRUMENTI DI PROGRAMMAZIONE DEL TERRITORIO	4
2.1.	PIANO DEL PARCO DELL'ARCIPELAGO TOSCANO	4
2.3.	STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI	9
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	16
4.	MODELLO GEOLOGICO DI DETTAGLIO	23
4.1.	CARATTERISTICHE LITOTIPI	23
4.2.	FORME CARSICHE	23
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE-GEOMECCANICA	25
5.1.	DISCONTINUITÀ RILEVATE IN GALLERIA	25
5.2.	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	26
6.	ANALISI DEL TRACCIATO	31
7.	BIBLIOGRAFIA	33

1. Premessa

Il Parco Minerario dell'Isola ha affidato allo Studio Micheloni S.r.l. la revisione del progetto di recupero a funzioni turistiche della galleria Rosseto nell'area mineraria di Rio Marina.

Il progetto da revisionare fu sviluppato alcuni anni fa nell'ambito di un Accordo di Ricerca tra Parco Minerario e Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze, (DST-UNIFI) responsabile il Prof. Massimo Coli.

Per quanto riguarda gli studi geologici e minerari si fa quindi riferimento al documento elaborato all'epoca con un Accordo di Ricerca tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze ed il Parco Minerario dell'Isola d'Elba riguardante "Studi geologici e minerari per la valorizzazione culturale dell'attività mineraria storica di Rio Marina, Isola d'Elba (LI)".

2. Inquadramento geomorfologico e idrogeologico secondo gli strumenti di programmazione del territorio

L'inquadramento geomorfologico e idrogeologico dell'area interessata dall'intervento si può ritrovare negli strumenti di programmazione del territorio del Parco dell'Arcipelago Toscano, del Piano di assetto del territorio del Bacino Toscana Costa ed infine negli strumenti urbanistici del Comune di Rio.

2.1. Piano del Parco dell'Arcipelago Toscano

Nella Carta della Zonazione del Piano del Parco dell'Arcipelago Toscano l'area è inserita nella zona "ds", definita dalle NTA del Piano come segue: *"zone D, di promozione economica e sociale, fra le quali si distinguono la zona DS individuata nel Compendio Minerario di Rio Marina, di Capoliveri e di Porto Azzurro ..."*. L'art.20 delle NTA definiscono gli interventi attuabili in tali zone: *" 20.1.- Le zone D, di promozione economica e sociale, sono ambiti che, pur profondamente modificati dai processi di antropizzazione, risultano parte integrante del Parco anche in quanto idonei ad ospitare attività e servizi utili alla fruizione e alla valorizzazione del Parco stesso ed allo sviluppo economico e sociale delle comunità locali, ivi comprese le attività residenziali, artigianali, ricettive, turistiche e agrituristiche, ricreative e sportive, con le attrezzature e infrastrutture ad esse afferenti. Gli usi e le attività compatibili, oltre a quelli consentiti in tutte le altre zone, sono quelli definiti urbani ed abitativi (UA) o specialistici (S); gli interventi e le azioni consentiti, oltre a quanto consentito nelle altre zone, sono quelli volti alla riqualificazione delle aree urbanizzate e del patrimonio edilizio (RQ), alla restituzione dei beni di interesse storico-culturale (RE), alla trasformazione di aree edificate ed al loro riordino urbanistico ed edilizio (TR)...20.7.- Nella zona Ds, individuata nel Compendio Minerario di Rio Marina, di Capoliveri e di Porto Azzurro, in assenza del progetto di valorizzazione di cui all'art. 13.3 sono ammessi sugli immobili esistenti i seguenti interventi: demolizione delle strutture precarie di nullo valore storico-testimoniale e di archeologia industriale; rimessa ripristino e interventi tesi alla conservazione delle strutture di valore storico testimoniale e archeologia industriale; manutenzione, restauro e ristrutturazione edilizia per gli edifici di servizio necessaria alla valorizzazione delle attività del Parco; opere e infrastrutture eseguite da un ente pubblico, destinate al conseguimento di un pubblica interesse."*

Gli indirizzi dettati dalle NTA per le aree Ds e per il Progetto di valorizzazione integrata del compendio minerario (PM), di cui all'art.13, comma 3, sono

perfettamente in linea con gli scopi del progetto prevedendo: “*Recupero ambientale e valorizzazione culturale del patrimonio minerario connesso al progetto di Parco Minerario; Valorizzazione del patrimonio geominerario nelle aree minerarie dimesse mediante lo sviluppo del parco tematico ed il potenziamento della rete sentieristica; Recupero degli edifici esistenti finalizzato a usi di servizio al parco e connessi alla valorizzazione delle aree minerarie senza aumento della ricettività turistica;... Promozione di attività turistiche fuori stagione di tipo culturale, didattico, ricreativo ed ambientale al fine di disincentivare la pressione antropica concentrata nel periodo estivo; Bonifica dei siti inquinati e recupero delle aree degradate.*”

Sulla base di quanto riportato nella “*Carta della pericolosità idrogeologica*” del Piano del Parco dell’Arcipelago Toscano l’area del cantiere Rosseto è esclusa dalle aree a pericolosità da frana e idraulica elevata o molto elevata.

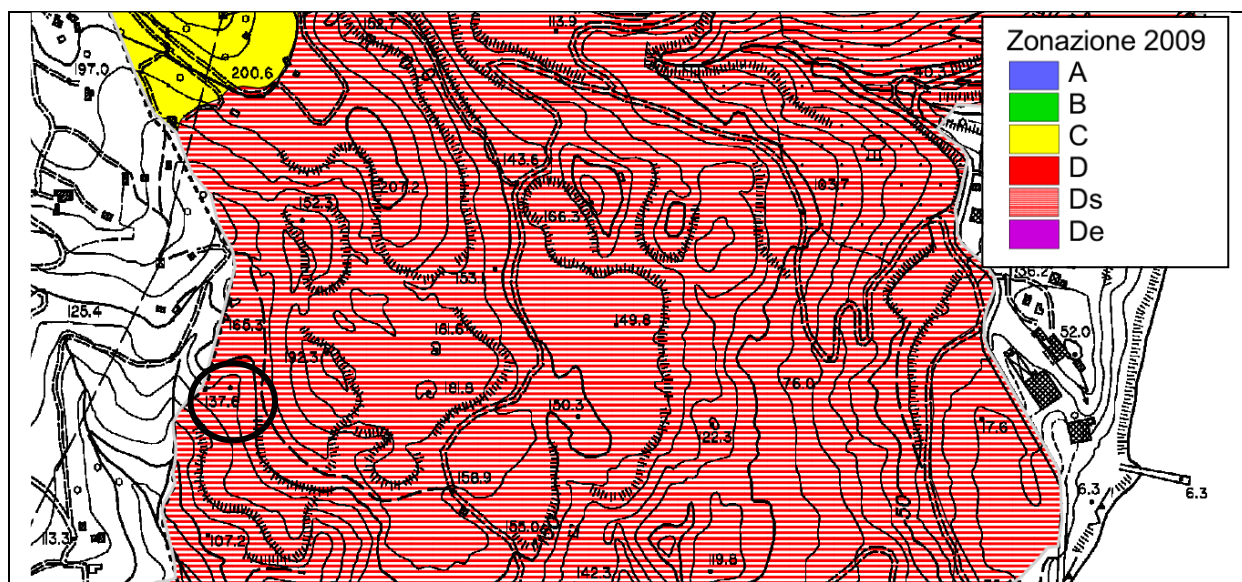


Figura 1 – Estratto della Carta della Zonazione del Piano del Parco dell’Arcipelago Toscano (2009), scala 1:25.000.

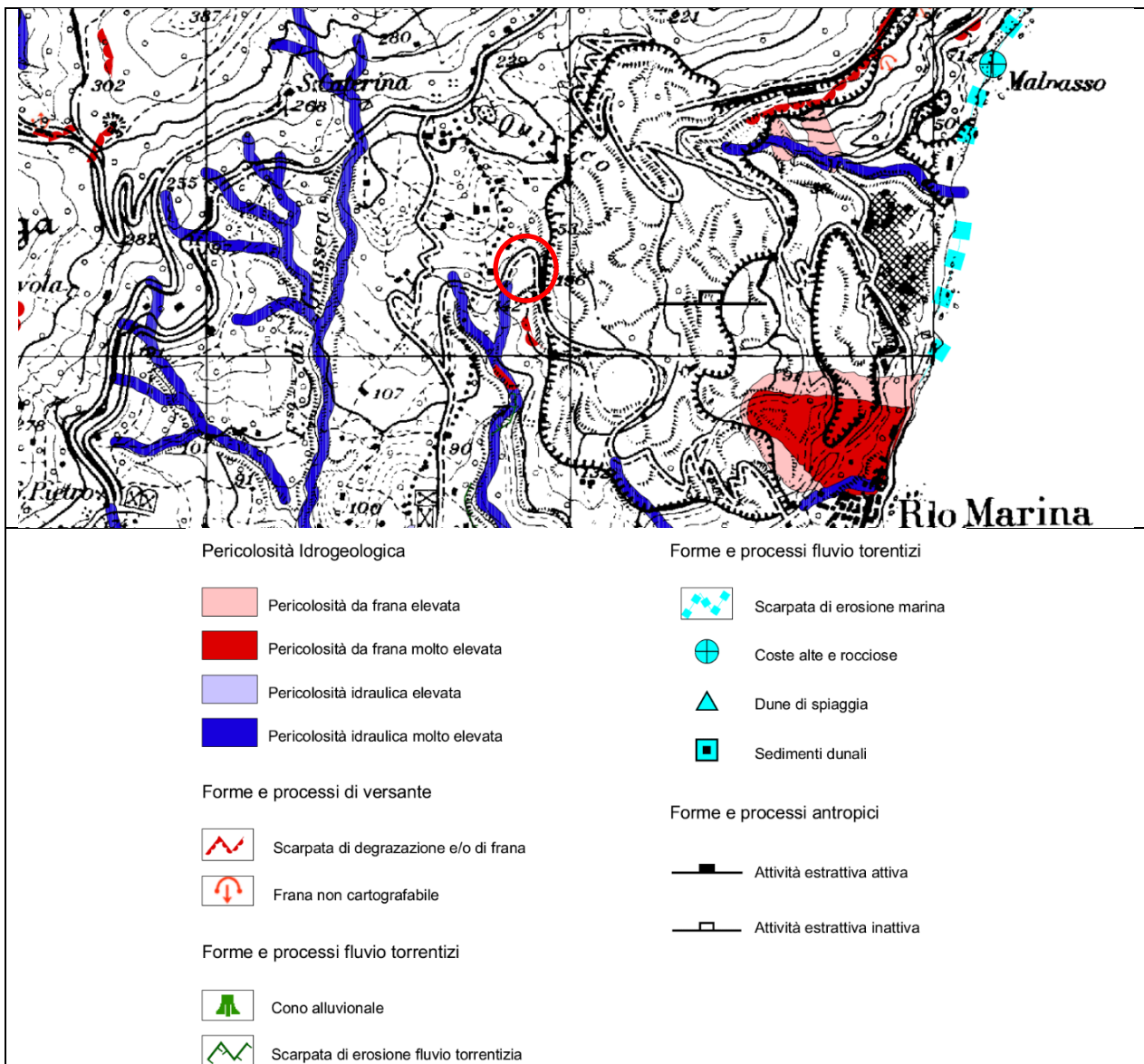


Figura 2 – Estratto della Carta della Pericolosità idrogeologica del Piano del Parco dell'Arcipelago Toscano (2001), scala 1:25.000.

2.2. Piano di assetto idrogeologico di bacino toscana costa

Sulla base di quanto riportato nella “*Carta di Tutela del Territorio*” del Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Toscana Costa l'area del cantiere Rosseto è inserita interamente nella classe di pericolosità geomorfologica elevata (P.F.E.) e all'interno delle “*Aree di particolare attenzione per la prevenzione dei dissesti idrogeologici*”. Le aree P.F.E. sono definite e normate dalle Norme di Piano del PAI come segue:

Art. 14 Aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.F.E.):

- 1. Nelle aree P.F.E. sono consentiti gli interventi di consolidamento, bonifica, sistemazione, protezione e prevenzione dei fenomeni franosi, nonché quelli atti a controllare, prevenire e mitigare gli altri processi geomorfologici che determinano le condizioni di pericolosità elevata, approvati dall'Ente competente, tenuto conto del presente Piano di Assetto Idrogeologico. Gli interventi dovranno essere tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi e dei diversi processi geomorfologici, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza. I progetti preliminari degli interventi sono sottoposti al parere del competente Bacino che si esprime in merito alla coerenza degli stessi rispetto agli obiettivi del presente Piano e alle previsioni generali di messa in sicurezza dell'area.*
- 2. Tali aree potranno essere oggetto di atti di pianificazione territoriale per previsioni edificatorie, subordinando l'attuazione delle stesse all'esito di idonei studi geologici, idrogeologici e geotecnici finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di stabilità ed alla preventiva realizzazione degli eventuali interventi di messa in sicurezza. Gli interventi di messa in sicurezza dovranno essere tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione e prevenzione dei fenomeni, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.*
- 3. Gli studi di cui al comma 2 devono attenersi ai criteri definiti dal Bacino il quale si esprime sulla coerenza degli stessi con gli atti di pianificazione del suddetto bacino, ed ove positivamente valutati, costituiscono implementazione del quadro conoscitivo del presente Piano.*
- 4. Nelle aree P.F.E. il Bacino si esprime sugli atti di Pianificazione di cui alla L.R. 5/95 in relazione alla coerenza degli stessi rispetto al presente Piano, nonché alla coerenza con il complesso degli strumenti di pianificazione di bacino delle valutazioni sugli effetti ambientali riferiti alle risorse acqua e suolo. I pareri di cui sopra si intendono espressi in senso favorevole decorsi 90 giorni dalla presentazione della*

relativa istanza istruttoria in assenza di determinazioni o di comunicazioni da parte del Bacino.

5. La realizzazione di nuovi interventi pubblici o privati, previsti dai vigenti strumenti di governo del territorio alla data di approvazione del presente Piano è subordinata alla verifica dello stato di stabilità dell'area sulla base di idonei studi geologici, idrogeologici e geotecnica ed alla preventiva realizzazione degli eventuali interventi di messa in sicurezza.

Gli interventi di messa in sicurezza dovranno essere tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione e prevenzione dei fenomeni, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza. I progetti preliminari degli interventi sono sottoposti al parere del competente Bacino che si esprime in merito alla coerenza degli stessi rispetto agli obiettivi del presente Piano e alle previsioni generali di messa in sicurezza dell'area.

6. Qualora le opere di consolidamento e messa in sicurezza costituiscano elemento strutturale e sostanziale degli interventi previsti, la realizzazione di questi ultimi potrà essere contestuale alle opere di consolidamento e messa in sicurezza.

7. Il soggetto attuatore, pubblico o privato, degli interventi di messa in sicurezza di cui sopra è tenuto a trasmettere al Comune ed al Bacino dichiarazione, a firma di tecnico abilitato, relativa agli effetti conseguiti con la realizzazione degli interventi di messa in sicurezza, all'eventuale sistema individuato per il monitoraggio ed alla delimitazione delle aree risultanti in sicurezza. sicurezza. Quanto sopra costituisce implementazione del quadro conoscitivo del presente Piano.

8. Nelle aree P.F.E., sono consentiti, oltre agli interventi di cui al comma 7 dell'art. 13, i seguenti interventi: a) interventi di ampliamento fino ad un massimo del 30% un tantum del volume esistente alla data di adozione del progetto di piano; b) opere che non siano qualificabili come volumi edilizi."

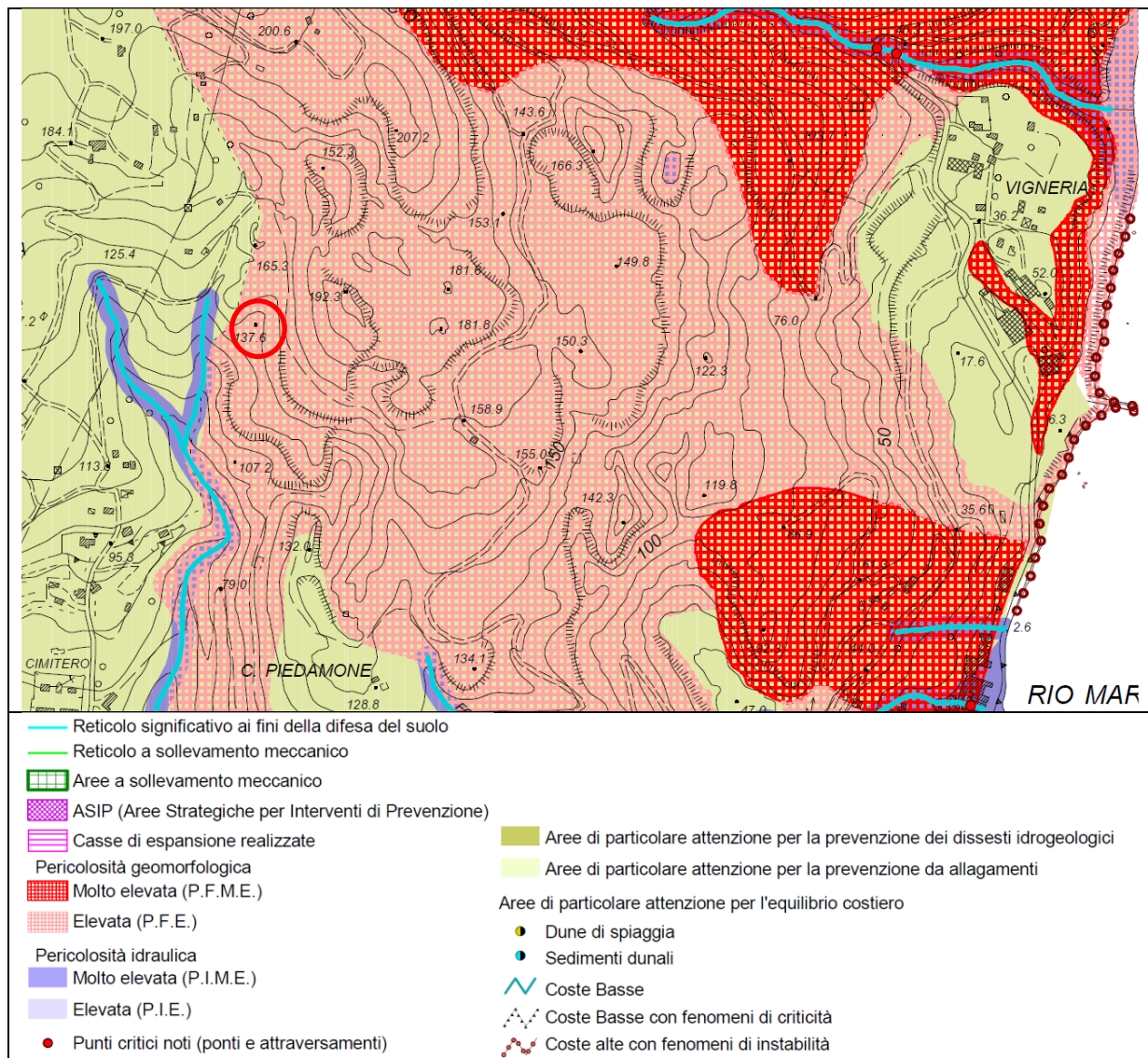


Figura 3 – Estratto della Carta di Tutela del territorio, Tavola n.46 del Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Toscana Costa (anno 2012), scala 1:10.000.

2.3. Strumenti urbanistici comunali

Per quanto riguarda le condizioni di pericolosità geologica, idraulica e sismica occorre fare riferimento agli studi geologici ed idraulici di supporto al Regolamento Urbanistico.

Sulla base di quanto riportato nella “*Carta della Pericolosità Geomorfologica ed Idraulica del RU del Comune di Rio Marina*” (Gennaio 2009) l’area del cantiere Rosseto è inserita interamente nella classe di pericolosità idraulica bassa (I.1), definita nella *Relazione illustrativa sugli aspetti geomorfologici e idrogeologici*, in

coerenza con la disciplina regionale vigente al momento dell'approvazione del piano, come segue:

Pericolosità idraulica bassa (I.1): aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni: a) non vi sono notizie storiche di inondazioni; b) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

Sulla base di quanto riportato nella "Carta della Pericolosità Geomorfologica ed Idraulica del RU del Comune di Rio Marina" (Gennaio 2009) l'area del cantiere Rosseto è inserita interamente nella classe di pericolosità geomorfologica elevata (G.3), definita nella *Relazione illustrativa sugli aspetti geomorfologici e idrogeologici*, in coerenza con la disciplina regionale vigente al momento dell'approvazione del piano, come segue:

"Pericolosità geomorfologica elevata (G.3): Si collocano in tale classe tutte quelle aree per cui esistono indizi di passati o potenziali dissesti ed in cui si rende necessario un approfondimento degli studi. In funzione della tipologia dell'intervento, esso dovrà essere supportato in fase di progettazione esecutiva da indagini che dovranno essere condotte a livello di "area nel suo complesso". Sono inoltre da prevedersi interventi di presidio e miglioramento dei terreni (a livello di esecuzione degli sbancamenti di progetto) o della rete idraulica e di drenaggio sia superficiale che profondo e/o l'adozione di tecniche fondazionali e di opere speciali di consolidamento. In questa classe devono quindi essere inserite le aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza. In particolare sono normalmente da inserire in classe G.3 le aree che presentano le seguenti caratteristiche geologiche/geomorfologiche: ...terreni litoidi molto fratturati o di scarsa qualità, terreni ghiaiosi addensati: indicativamente con pendenze superiori al 35-40%; terreni litoidi non/poco fratturati e di buona qualità indicativamente con pendenze superiori al 50%; aree interessate da rilevanti manomissioni antropiche, quali rilevati, riempimenti, scavi e cave.... "

A tale proposito si evidenzia che la Carta geomorfologica di supporto al RU del Comune di Rio Marno, non segnala la presenza nell'area interessata dagli interventi di fenomeni di dissesto gravitativo o di erosione; a livello di forme geomorfologiche è indicata la presenza soltanto di "scarpate di degradazione" da mettersi in relazione con gli scavi minerari pregressi che hanno intensamente rimodellato la morfologia dell'area.

Nella Carta Idrogeologica l'area del cantiere Rosseto è inserita in classe di vulnerabilità bassa (B1) definita nella *Relazione illustrativa sugli aspetti geomorfologici e idrogeologici*, come segue:

Classe B - Vulnerabilità bassa: E' riferita alle formazioni geologiche con bassa vulnerabilità contenenti acquiferi di limitata produttività o acquitardi, presenti soprattutto in termini argillosi o argilloscistosi con modestissima circolazione idrica. Si tratta essenzialmente degli Argilloscisti a Palombini, Porfiroidi e scisti porfirici, filladi calcarifere, Calcescisti a cipollini, etc, tutti termini dotati di scarsissima permeabilità e che praticamente non consentono il trasferimento idroveicolato dell'inquinante, rendendo di conseguenza piuttosto limitato il rischio di inquinamento di risorse idriche che in ogni caso sono da considerarsi di modestissima importanza. La bassa permeabilità favorisce peraltro il ruscellamento delle acque e quindi il trasferimento degli inquinanti all'acqua di superficie e agli acquiferi comunicanti con tali rocce.

Per tali aree, in relazione agli aspetti di vulnerabilità idrogeologica, non sono dettate particolari prescrizioni in relazione agli interventi in progetto.

Per quanto concerne le condizioni di compatibilità geologica ed idraulica degli interventi, facendo riferimento agli abachi per l'attribuzione della fattibilità contenuti nella *Relazione illustrativa sugli aspetti geomorfologici e idrogeologici* è possibile definire una fattibilità preliminare degli interventi previsti a partire dalle classi di pericolosità geologica e idraulica definite dagli strumenti urbanistici.

In relazione alle caratteristiche degli interventi è possibile quindi definire le seguenti classi di fattibilità:

- una classe di fattibilità idraulica F.1, fattibilità senza particolari limitazioni per tutti gli interventi;
- una classe di fattibilità geologica F.3, fattibilità condizionata sia per gli interventi di scavo e riporto connessi alla realizzazione delle vie di accesso, sia per gli interventi di ricostruzione del fabbricato prossimo all'imbocco, sia per il ripristino dell'accessibilità dei vuoti sotterranei.

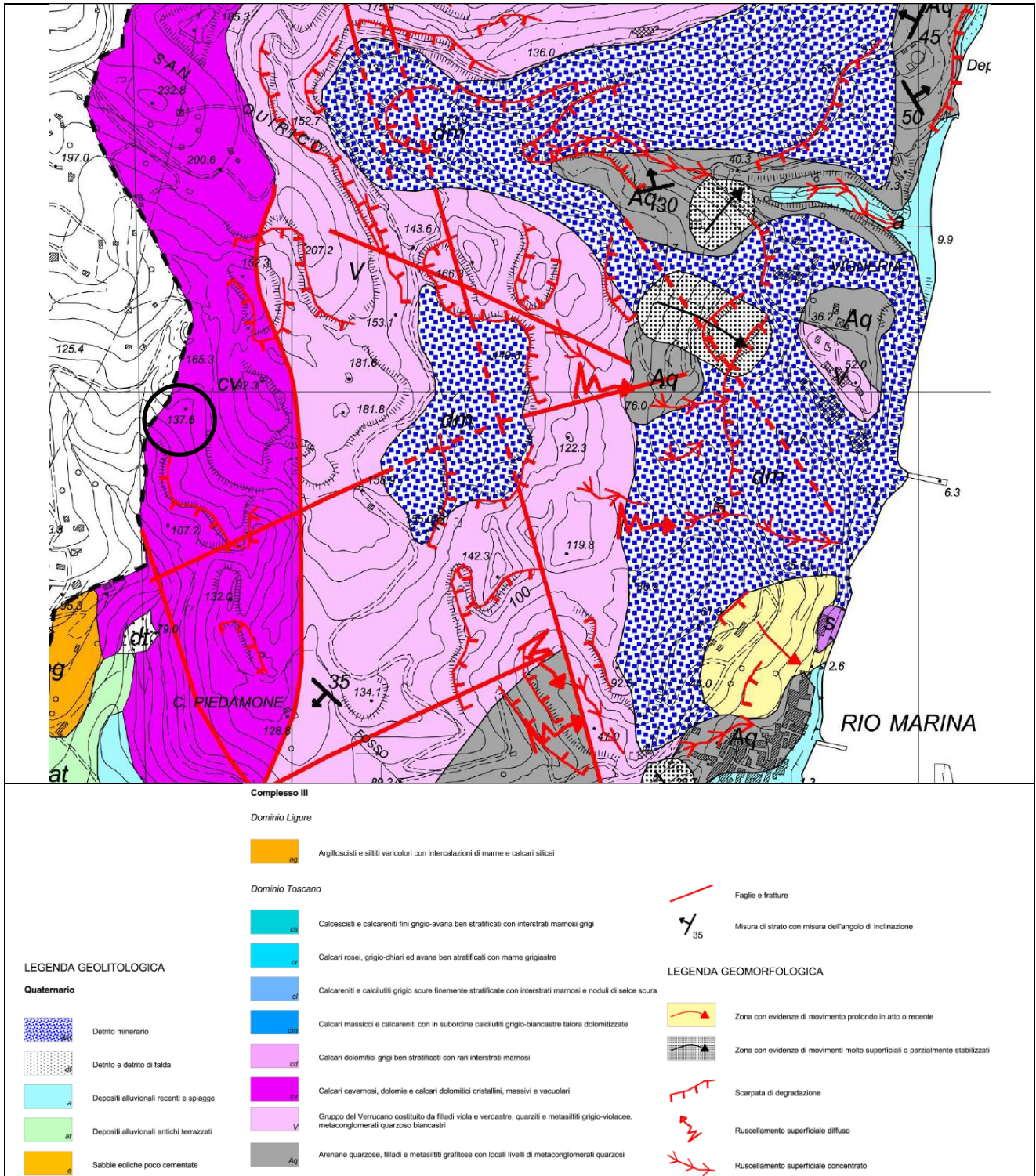
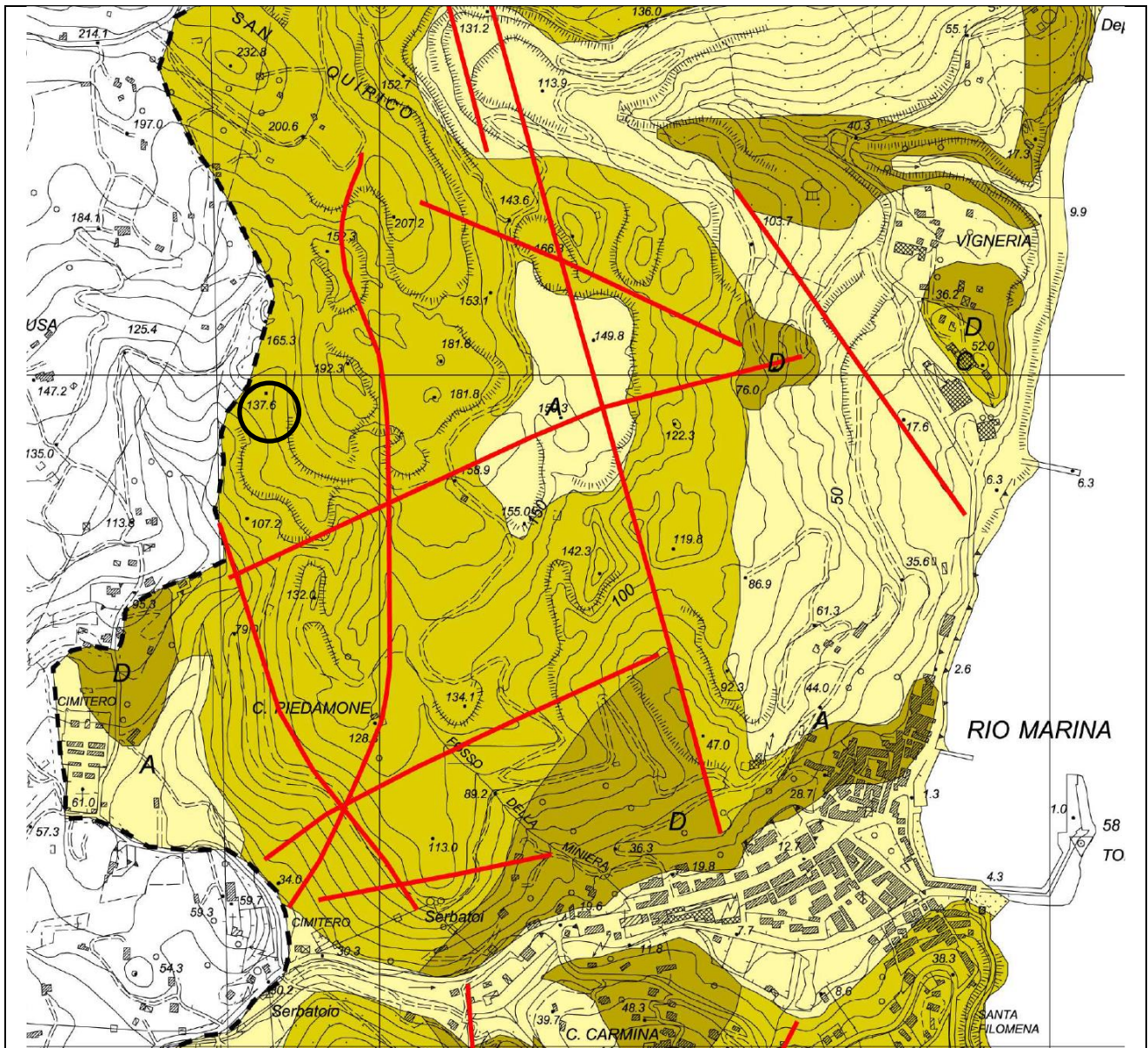


Figura 4 –Estratto della Carta Geomorfológica (Tav.G.B) del RU del Comune di Rio Marina (2009), scala 1:10.000.

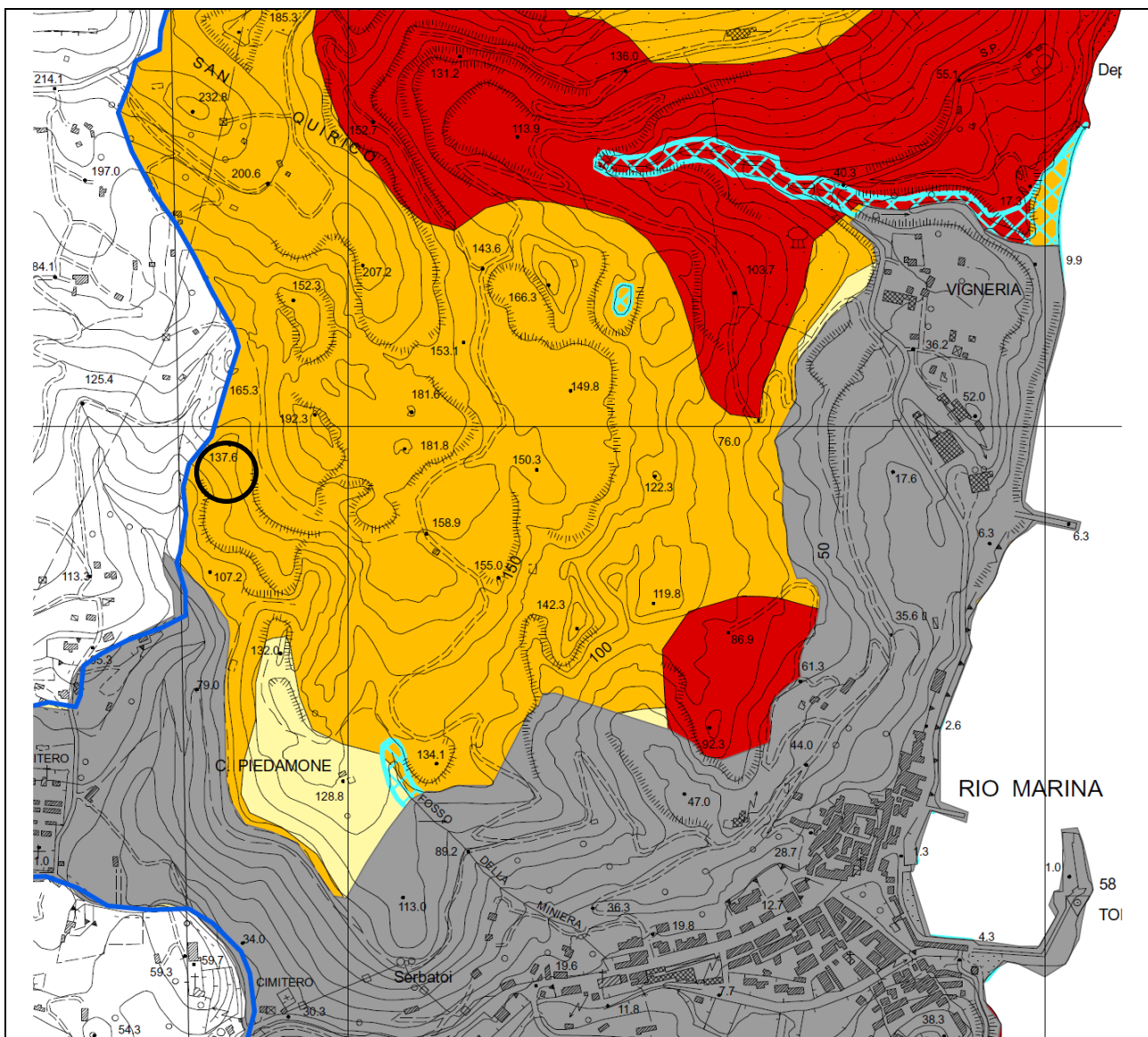


classi	unità geologiche	descrizione litotecnica
A	detrito detrito minerario sabbie eoliche alluvioni recenti alluvioni terrazzate	Depositi incoerenti costituiti da clasti e ciottoli con prevalente matrice siltoso sabbiosa, derivati dal disfacimento delle formazioni contermini ed accumulatisi ai piedi dei versanti per azione principalmente gravitativa. Successioni ghiaiose sabbiose argillose e subordinatamente limoso-argillose, affioranti estesamente lungo i principali corsi d'acqua ed i più importanti loro affluenti.
B	calcescisti a cipollini calcarei a calpionelle calcarei massicci calcarei rosei calcareni con marne calcescisti con marne calcarei dolomitici diaspri breccie	Successioni di litotipi lapidei, generalmente stratificati e vario grado di fratturazione. Il comportamento meccanico è da considerarsi generalmente di tipo "lapideo" anche se localmente possono presentarsi litologie con caratteristiche di maggiore duttilità
C	marmi gruppo del Verrucano silicati calcarei cavernosi filladi calcariferi porfiroidi e scisti porfirici serpentiniti	Successioni di litotipi lapidei, pressoché privi di stratificazione o in ammassi con vario grado di fratturazione e rigidità. Il comportamento meccanico è da considerarsi di tipo "lapideo" e solo localmente di maggiore duttilità.
D	argilloscisti a palombini argilloscisti e siltiti arenarie quarzifere	Successioni con alternanza di litotipi lapidei ed argillosi, sia strutturalmente ordinate che in assetto caotico. Il comportamento meccanico è in relazione al tipo di materiale considerato: "duatile" per quanto riguarda i termini argillitici, "lapideo" per quelli arenacei, "complesso" per i materiali fratturati interposti a quelli siltoso-argillosi

DATI DI BASE

- Trincee, pozzi o sondaggi esplorativi eseguiti nell'ambito della attività mineraria
- Cunicoli e/o passaggi subsuperficiali (estratto da FERROMIN, 1957 "Piano Generale Miniera Rio Marina e Rio Albano")
- Faglie e fratture

Figura 5 – Estratto della Carta Litotecnica (Tav.G.E) del RU del Comune di Rio Marina (2009), scala 1:10.000.



Pericolosità Idraulica

R.U.	P.A.I.	
	I2	Pericolosità media
	I3	Pericolosità elevata
	I4	Pericolosità molto elevata
	I4	Limite della decorrenza ventennale
	P.I.E.	Pericolosità elevata
	P.I.M.E.	Pericolosità molto elevata

Pericolosità Geomorfológica

R.U.	P.A.I.	
	G2	Pericolosità media
	G3	Pericolosità elevata
	G4	Pericolosità molto elevata
	P.F.E.	Pericolosità elevata
	P.F.M.E.	Pericolosità molto elevata

Figura 6 – Estratto della Carta della Pericolosità Geomorfológica ed Idraulica (Tav.G.F) del RU del Comune di Rio Marina (2009), scala 1:10.000.

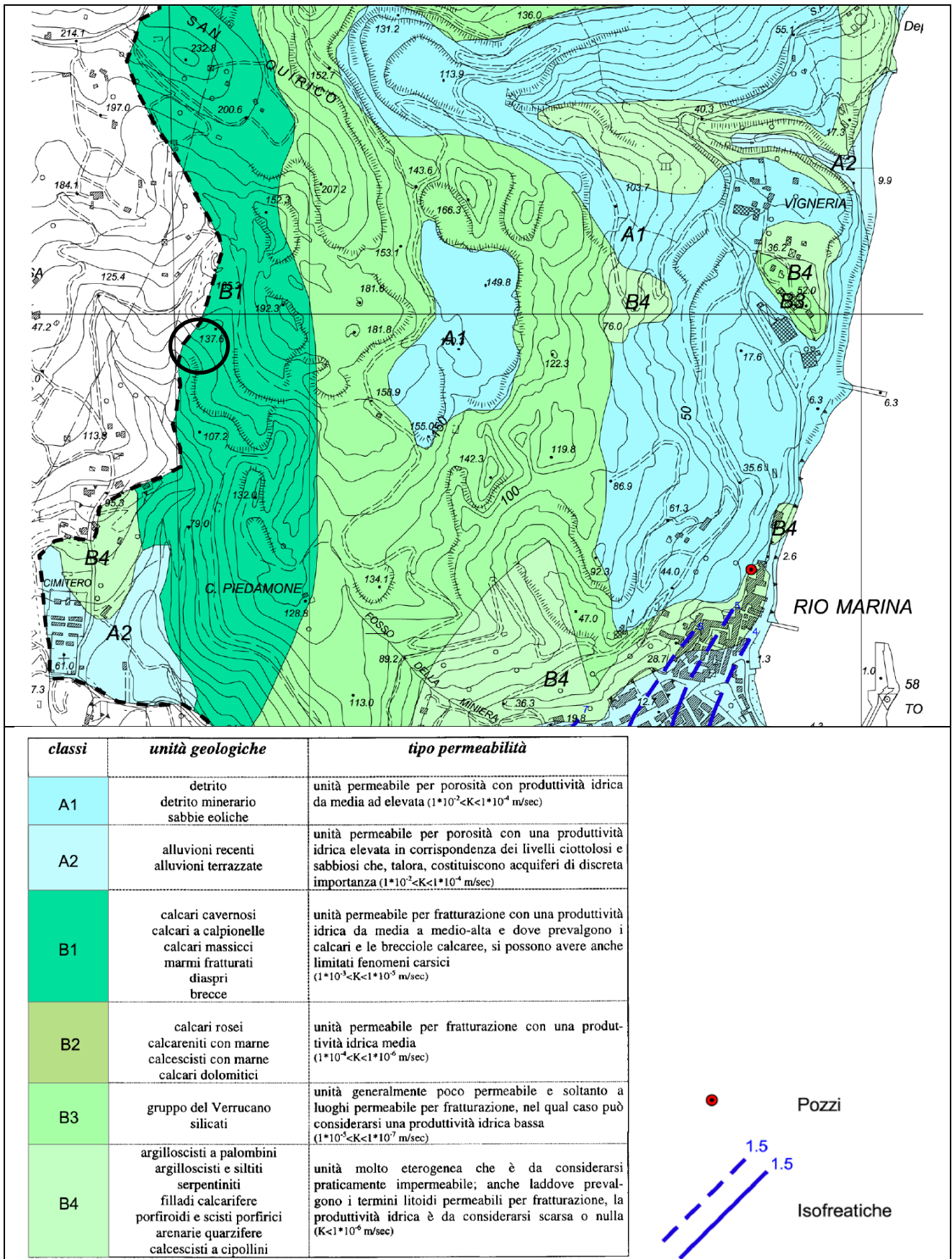


Figura 7 – Estratto della Carta Idrogeologica (Tav.G.C) del RU del Comune di Rio Marina (2009), scala 1:10.000.

3. Inquadramento geologico generale

L'Isola d'Elba, ubicata a metà strada fra la Toscana e la Corsica, è tradizionalmente considerata l'affioramento più occidentale della catena orogenica dell'Appennino settentrionale. Il complesso edificio tettonico dell'isola è caratterizzato dall'impilamento di una serie di unità tettoniche, il cui ordine di sovrapposizione segue all'inverso la cronologia della loro tettonogenesi. In tale edificio formazioni dal Paleozoico all'Oligocene hanno subito deformazioni compressive polifasiche dal Cretaceo Superiore al Miocene medio, producendo come risultato un'insolita e complessa alternanza di unità di origine tettonica e continentale. La fase successiva della catena, di tipo distensivo, è caratterizzata da faglie a basso e alto angolo, e accompagnata da una cospicua attività magmatica che produsse, nelle sue ultime fasi, le pegmatiti, skarn e ammassi ferrosi di interesse minerario.

Relativamente alla zona dell'Elba centro-orientale, di interesse per il progetto, all'interno dell'edificio tettonico, secondo i più recenti modelli geologici, sono state riconosciute nove unità tettoniche, alcune delle quali suddivise in sub-unità tettoniche (Fig.8).

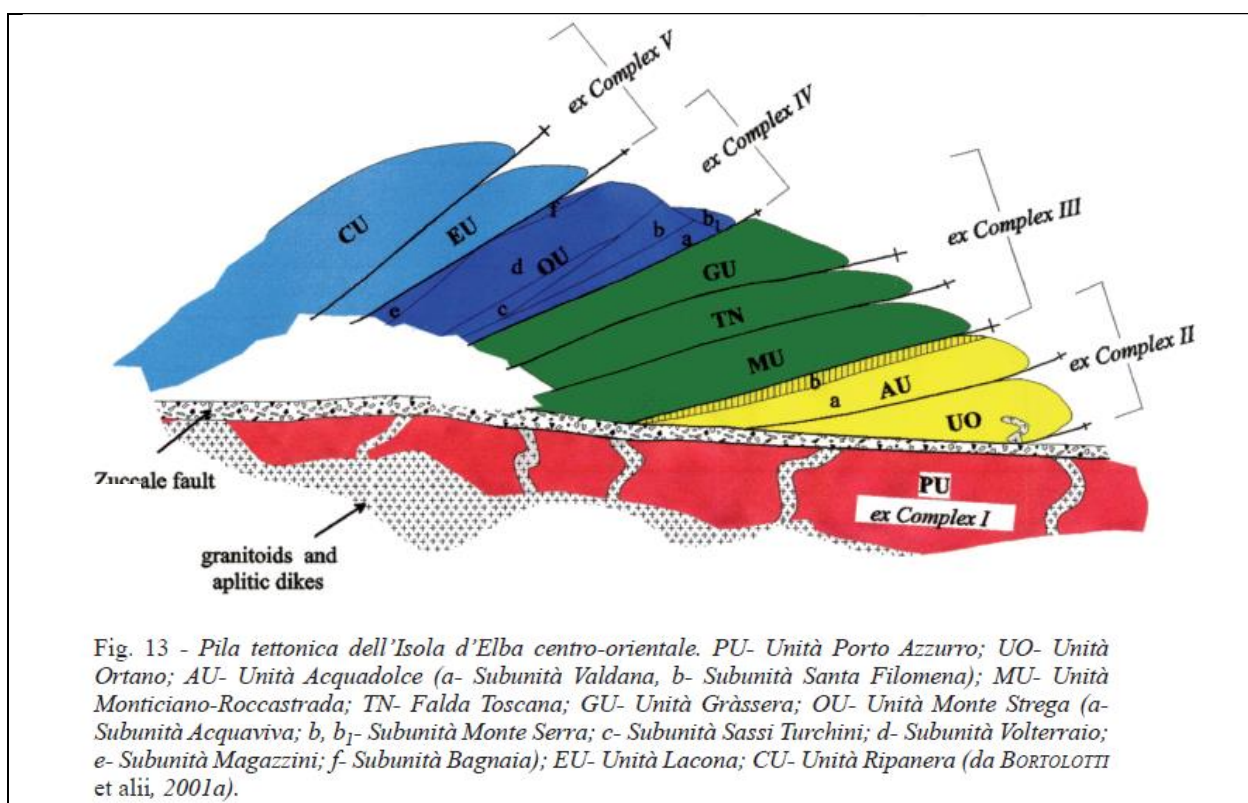


Figura 8 – Pila tettonica dell'isola d'Elba centro-orientale (Principi et al., 2001).

Per quanto riguarda in particolare l'area di interesse, i vuoti sotterranei del Cantiere Rosseto interessati dal progetto di recupero e valorizzazione turistica di cui alla presente relazione, sono interamente scavati all'interno della formazione delle Breccie di Rioalbanò (Calcare Cavernoso Aucct.). Tale formazione fa parte delle Unità tettoniche dell'Elba centro-orientale, poste ad E della faglia normale Colle Palombaia-Procchio (indicata con la lettera "s" nella Fig. 9), ad andamento N-S, che separa l'aureola metamorfica del Monte Capanne ad ovest dall'Unità tettonica Ripanera a est. La formazione delle Breccie di Rioalbanò è rappresentata da breccie tettoniche che si interpongono tra l'unità Monticiano-Roccastrada e la Falda Toscana e sono presenti in una fascia orientata nord-sud dal Fosso di Rialbanò fino a Porto Azzurro, e in una stretta striscia alla Valdana, tra il mare e il Fosso Catenacci; affioramenti tipici si trovano sul fondo della miniera a cielo aperto di Rialbanò, e lungo il Fosso del Giove.

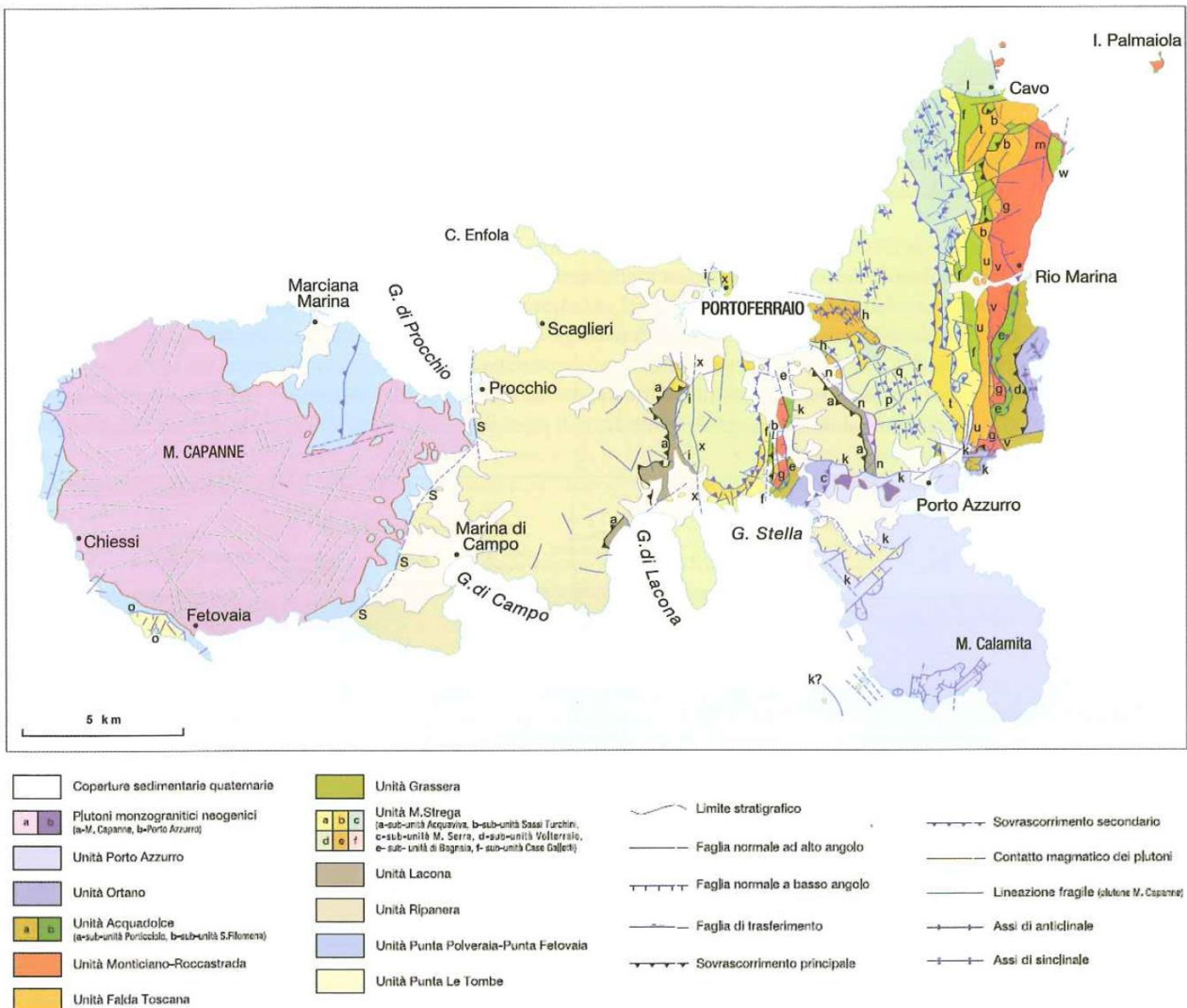


Figura 9 – Schema tettonico dell'isola d'Elba (Principi et al., 2001).

Dal punto di vista litologico le Breccie di Rioalbano si presentano da clasto- a matrice-sostenute, massive o localmente vacuolari con scarso legante spatico microcristallino. I clasti sono di calcari più o meno dolomitici, talvolta saccaroidi, di colore variabile dal grigio scuro al grigio chiaro, biancastro o rosato (per la presenza di microcristalli di ossidi di Fe). I vacuoli, da millimetrici a centimetrici, hanno forma irregolare. In aree di limitata estensione la roccia si presenta intensamente fratturata, con i frammenti di dimensione fino a submillimetrica, fino ad apparire completamente polverizzata; talvolta questa “polvere” dolomitica, fatta di piccoli cristalli, può riempire parzialmente i vacuoli.

Talora le breccie carbonatiche includono piccoli clasti di filladi, probabilmente provenienti dalla sottostante Unità tettonica Monticiano-Roccastrada; nella parte alta della sequenza sono presenti frammenti di marne e calcari marnosi debolmente metamorfici, probabilmente provenienti dalla sovrastante Unità Gràssera. Sono frequenti strutture sedimentarie di origine carsica, principalmente tasche, con riempimenti di silt calcitici.

I caratteri della formazione sono indicativi di un'origine tettonica delle breccie, originate dalla fratturazione meccanica di una formazione carbonatica rigida, identificabile con la sovrastante Formazione della Pania di Corfino. Questo processo di estrema fratturazione e di cataclastesi può essere legato alla messa in posto della Falda Toscana sull'Unità Monticiano-Roccastrada. Successivamente queste cataclasiti, assai più permeabili della sottostante unità tettonica e quindi sede di una importante falda acquifera, sono state sottoposte a processi carsici pervasivi, con dissoluzione di molti clasti e il riempimento (più o meno completo) delle cavità da parte di cristalli di calcite delle dimensioni del silt fino a sabbia fine, seguito da una cementazione finale da parte di calcite microcristallina. Lo spessore massimo delle breccie è attorno ai 200 m nell'area della Valle di Ortano.

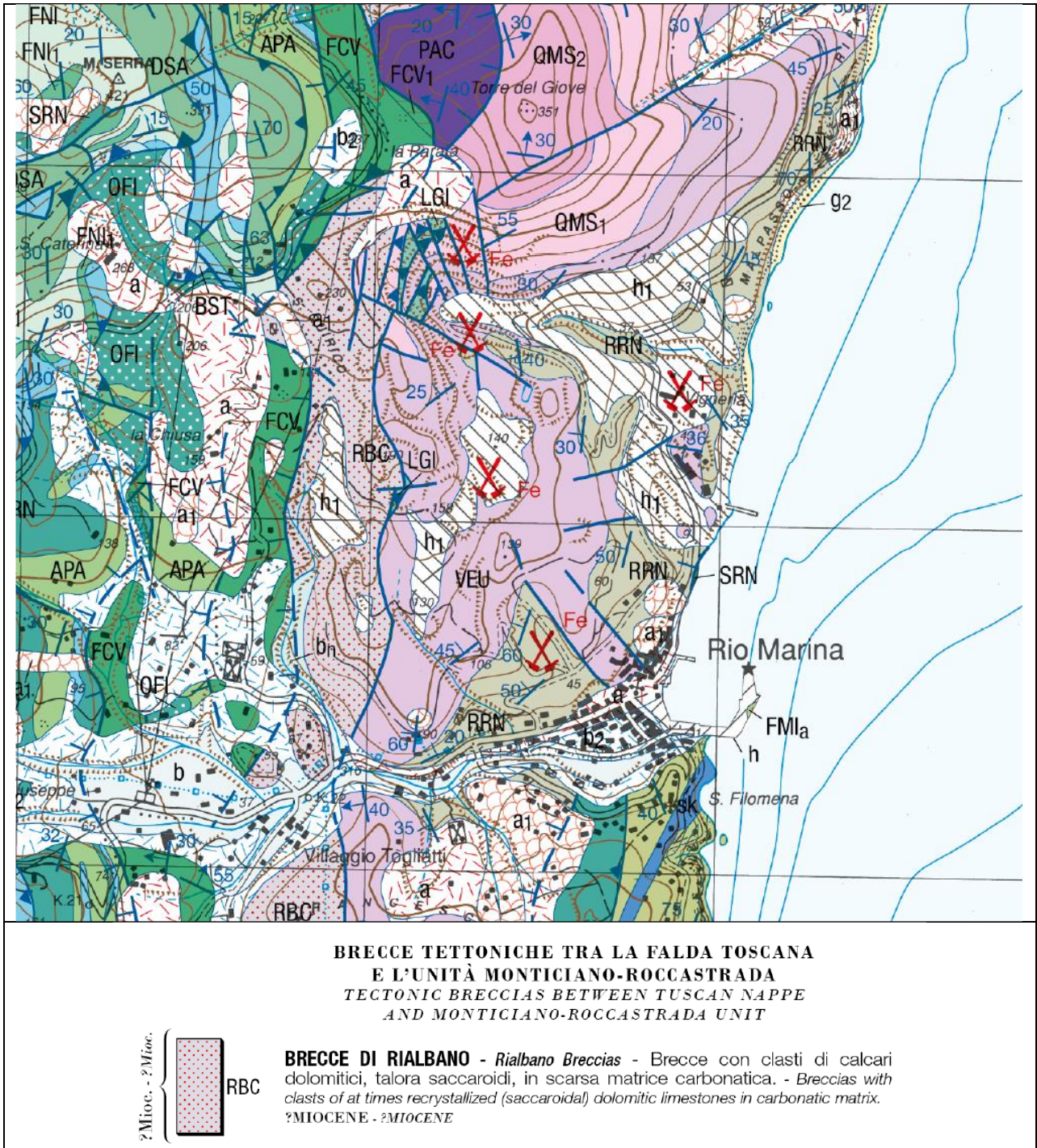


Figura 10 – Carta geologica dell’isola d’Elba in scala 1:25.000 (Bortolotti *et alii*, 2015).

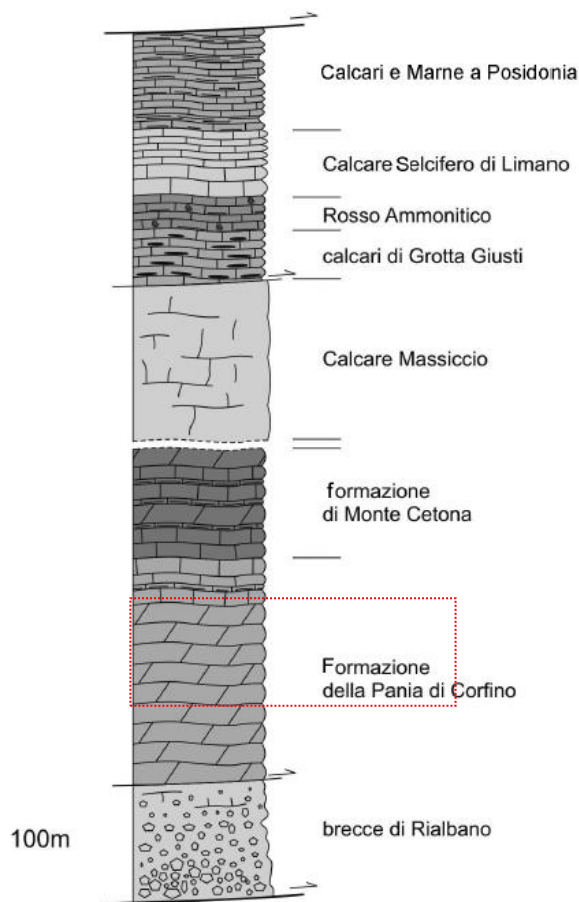


Figura 11 – Colonna stratigrafica dell'Unità tettonica Falda Toscana (da Principi et al., 2015)

Nella parte alta delle breccie appaiono cenni di stratificazione, che divengono sempre più sviluppati, mentre i vacuoli e le fratture diminuiscono: la roccia sfuma in calcari dolomitici fratturati fino al contatto, solitamente tettonizzato, con i sovrastanti simili litotipi della Formazione della Pania di Corfino. Non sono stati osservati fossili né nei clasti né nella matrice, ma si può ipotizzare un'età del Triassico superiore per la roccia carbonatica originaria, che presenta i caratteri della Formazione della Pania di Corfino, mentre l'età della formazione è da ritenersi del Miocene. In epoca successiva la formazione ha subito fenomeni di carsificazione protratti fino al quaternario.

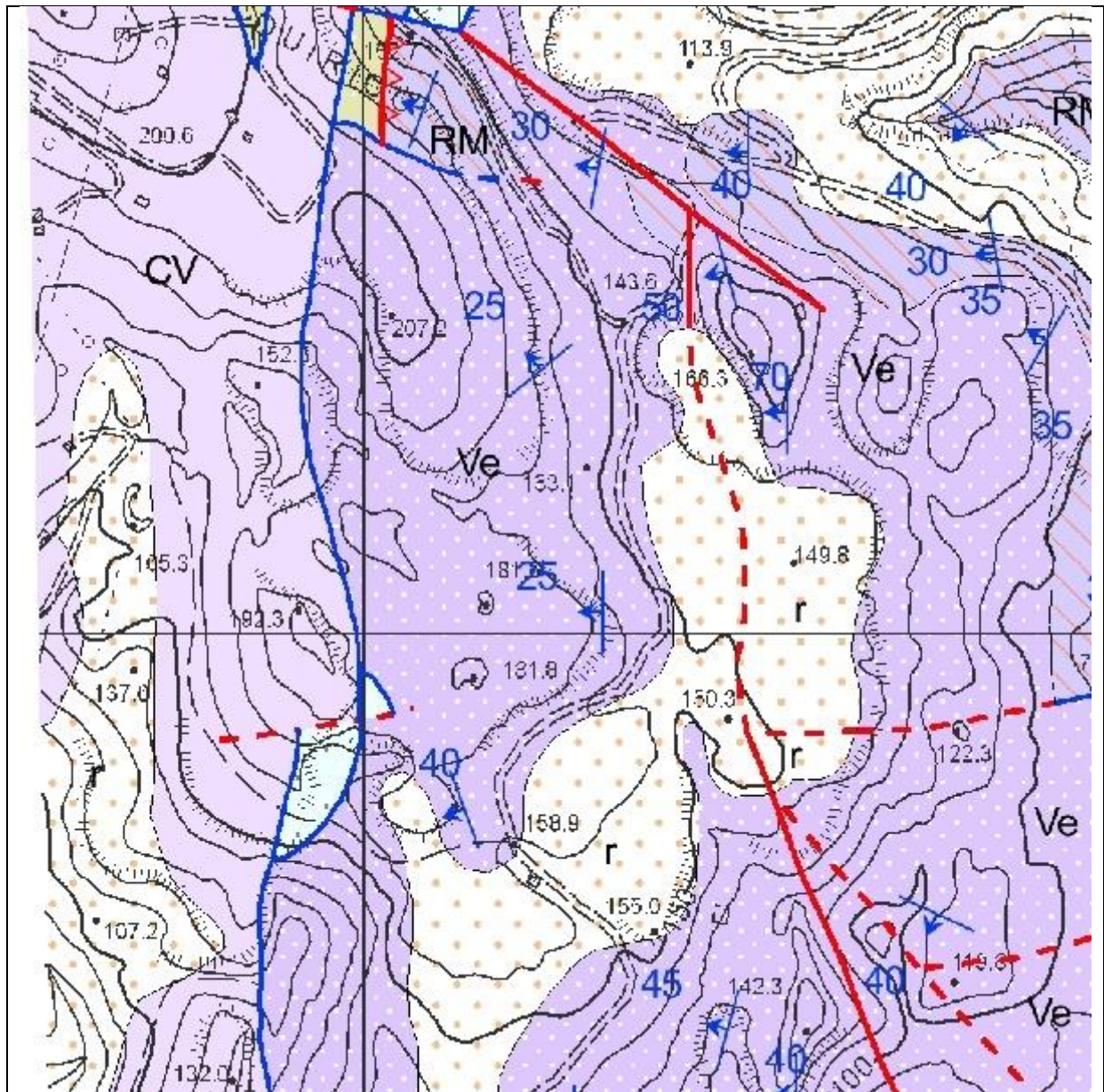


Figura 12 – Estratto della Carta geologica della Regione Toscana in scala 1:10.0000, Sezione 317140.
CV: Calcare Cavernoso; Ve: formazione della Verruca; RM: Formazione di Rio Marina; r: discariche minerarie

I depositi minerali a ferro, ospitati nella parte orientale dell'isola, hanno alimentato un'attività metallurgica lunghissimo, che riporta addirittura agli inizi del primo millennio A.C. ("primo ferro mediterraneo") e che si è poi protratta quasi ininterrottamente dal tempo degli etruschi fino alla fine degli anni '80.

I depositi situati a nord di Rio Marina (Rio marina, Valle Giove, Rialbano) ed orientale (Capo Bianco-Terranera) sono costituiti da corpi stratiformi, filoniani o irregolari, di varie giaciture e dimensioni, ospitati preferenzialmente all'interno dell'Unità Monticiano-Roccastrada, nella Formazione di Rio Marina, nelle formazioni del Gruppo del Verrucano e nelle Breccie di Rialbano, alla base della Falda Toscana. Nel settore che va da Cala Seregola-Rio Albano fino a Rio Marina, di interesse, le

strutture tettoniche legate alle fasi distensive controllano in modo marcato la giacitura dei corpi minerari.

Nei corpi minerari la mineralizzazione principale ad ematite è frequentemente associata a quantità variabili di pirite e/o ai suoi prodotti di alterazione (limoniti). Dal punto di vista delle strutture e tessiture dei minerali ferriferi, l'ematite di Rio Marina si presenta in masse compatte, in forma ocrea e terrosa, ma anche in bellissimi cristalli con habitus da micaceo a lamellare o da lenticolare a romboedrico o in forma di grossi cristalli ad aspetto metallico lucente (oligisto). Ulteriore caratteristica peculiare dei cristalli di ematite di Rio Marina è la loro iridescenza, dovuta soprattutto alla presenza di sottili pellicole di alterazione di idrossidi di Fe (goetite). La pirite si presenta in forma generalmente cubica o pentano dodecaedrica.

Per quanto riguarda la genesi dei depositi a ferro, ad oggi sono stati sviluppati due principali modelli: un modello lega i giacimenti di ferro esclusivamente a processi magmatici e magmatico-idrotermali connessi alle intrusioni mio-plioceniche (Tanelli et al., 2001); il secondo prevede l'esistenza di una fase metallogenica-sedimentaria e/o vulcano-sedimentaria precedente (Permo-Triassica?) all'evento orogenico appenninico e una successiva fase legata all'evento magmatico miocenico, caratterizzata da fenomeni di metamorfismo, metasomatismo e idrotermalismo nella quale i corpi minerari a ferro originari sarebbero stati rimobilizzati e concentrati negli attuali giacimenti (Principi et al., 2015).

4. Modello geologico di dettaglio

4.1. Caratteristiche litotipi

Come descritto al paragrafo precedente i vuoti sotterranei del Cantiere Rosseto, oggetto di interesse del presente progetto, interessano interamente litotipi della Formazione delle Brecce di Rialbano.

L'osservazione di tali litotipi all'interno della galleria ha consentito di evidenziare la presenza di due principali litofacies, caratterizzate rispettivamente dalla prevalenza di calcari o di brecce.

La prima litofacies, evidenziata tra le tratte Pk 0÷33,5 m e Pk 56÷62,0 m è caratterizzata dalla presenza di prevalenti calcari massivi e localmente vacuolari di colore grigio, interessati da processi di carsificazione; all'interno di tali materiali sono presenti tasche di dimensioni variabili (massime pari a qualche metro), di riempimenti carsici ricchi in materiale pelitico.

La seconda litofacies, evidenziata tra le tratte Pk 33,5÷56,0 e Pk 62,0÷78,8 si presenta costituita prevalentemente da brecce ricementate, ricche in materiale pelitico, con presenza al suo interno di lenti, di spessore fino a 0,5÷0,6 m di limi argillosi marroni. Tale litofacies presenta anche strutture sedimentarie di origine carsica connesse ai processi carsici pervasivi che l'hanno interessata, determinando importanti fenomeni di dissoluzione a carico dei clasti calcarei e successivo riempimento delle cavità.

I limiti tra le due litofacies non risultano netti, ma fortemente frastagliati ed irregolari e difficilmente definibili in dettaglio.

Sulla base dei dati derivati dall'archivio minerario Ferromin, in disposizione del Parco Minerario, ed in particolare di alcune sezioni della galleria di traverso-banco di livello 138 elaborate sulla base dei dati di miniera, è evidenziata la presenza di un livello di mineralizzazione, costituito da prevalenti masse limonitiche, poste circa tra le progressive Pk 78,5÷90,0 m. Tale corpo mineralizzato è stato intensamente sfruttato all'interno del Cantiere Rosseto durante le coltivazioni di inizio anni 1950; tale sfruttamento è avvenuto in sotterraneo, con gallerie lungo-banco e traverso-banco poste a diverse quote.

4.2. Forme Carsiche

I litotipi nei quali si sviluppa la galleria di traverso-banco di livello 138 sono caratterizzati dalla presenza di forme carsiche di varie dimensioni e caratteristiche; le forme carsiche di maggiori dimensioni, intercettate più volte dagli scavi minerari, sono caratterizzate dalla presenza di abbondanti speleotemi di indubbio interesse

geo-turistico e quindi da valorizzare nell'ambito delle attività di cui al presente progetto.

Le principali forme carsiche individuate nell'ambito del rilievo condotto, di interesse progettuale sono le seguenti:

- Cavità carsica presente tra le progressive Pk 29,0÷33,0, che interessa il piedritto e la semicalotta della galleria; la cavità è caratterizzata dalla presenza di speleotemi meritevoli di valorizzazione;
- Cavità carsica presente tra le progressive Pk 57,2÷59,3, molto ampia, posta lateralmente alla galleria, caratterizzata da un'altezza di circa 3,5 m e profondità massima pari a circa 7,5 m. La cavità si presenta estremamente ricca di speleotemi di svariate forme e dimensioni senza alcun dubbio meritevoli di valorizzazione.

5. Caratterizzazione geostrutturale-geomeccanica

Nell'ambito dello studio sono state definite e caratteristiche geostrutturali-geomeccaniche degli ammassi rocciosi all'interno dei quali sono stati realizzati i vuoti sotterranei della galleria Rosseto. A partire dal modello geologico delineato ai precedenti paragrafi sono stati individuati gli ammassi rocciosi litologicamente e strutturalmente omogenei, che sono stati oggetto di caratterizzazione geomeccanica. Nell'ambito dello studio, nella fase di caratterizzazione geostrutturale-geomeccanica, è stata rivolta particolare attenzione alla definizione delle caratteristiche litologiche e strutturali che controllano le proprietà geostrutturali-geomeccaniche degli ammassi e che ne contraddistinguono le diverse tipologie e alle caratteristiche delle discontinuità presenti.

La definizione di tali caratteristiche è funzionale alla definizione delle condizioni di stabilità dello scavo e alle potenziali criticità, nonché alla fase di progettazione di messa in sicurezza e ripristino dei vuoti sotterranei, con lo scopo di renderli idonei alla fruizione turistica.

La caratterizzazione degli ammassi è stata condotta a partire dai dati derivanti da rilievi condotti all'interno dei vuoti sotterranei, lungo tutta l'estensione dei vuoti stessi. Tali rilievi hanno consentito la definizione delle caratteristiche delle discontinuità principali rilevate, la definizione delle caratteristiche litologiche e geostrutturali-geomeccaniche identificative degli ammassi e la loro classificazione geomeccanica.

5.1. Discontinuità rilevate in galleria

Gli ammassi rocciosi che costituiscono i vuoti sotterranei della galleria Rosseto ed in particolare quelli riferibili alla litofacies delle Breccie di Rialbano con prevalenza di calcari, sono caratterizzati dalla presenza di discontinuità non sistematiche, che interessano localmente alcuni tratti di galleria. Le spaziature tra le discontinuità risultano estremamente variabili lungo tutta la galleria, andando da decimetriche per i tratti interessati da maggiore fratturazione a metriche per i tratti caratterizzati da fratturazione meno intensa; sono presenti tratti di lunghezza decametrica all'interno dei quali non si evidenzia la presenza di discontinuità.

Le discontinuità principali rilevate all'interno della galleria sono state caratterizzate facendo riferimento alle terminologie e alla classificazione descrittiva degli standard ISRM (1978, 1981); nella tabella seguente si sintetizzano le caratteristiche delle discontinuità principali.

Studio Micheloni

Progressiva (m)	Orientazione Dip direction /Dip	Caratteristiche
0-6; 6-10	40/88	Discontinuità larghe, carsificate, talora riempite da calcite o materiale terrigeno, ondulate rugose, moderatamente alterate, persistenza da media a elevata, con spaziatura larga, metrica o sub-metrica; presenza di radici nelle fratture.
12-12,5	285/25	Discontinuità in calotta da aperte a larghe, talora carsificate e riempite da materiale terrigeno, piane rugose, da moderatamente a fortemente alterate, persistenza da media a elevata, presenza stillicidi, con spaziatura moderata.
16,2-17,0	80/80	Discontinuità di detensionamento sul piedritto dopo l'ingresso della riservetta esplosivi (Santa Barbara), da strette ad aperte, piane rugose, non alterate, persistenza bassa.
16,60	40/88	Discontinuità larga, ondulata rugosa, moderatamente alterata, persistenza media.
20,0	93/45	Discontinuità sul piedritto sinistro, larghe, talora carsificate e riempite da materiale terrigeno, ondulate rugose, da moderatamente a fortemente alterate, persistenza elevata; determinano splaccaggi.
30,0-32,0	265/30	Discontinuità su muretta e piedritto sinistro, aperte, carsificate e riempite da materiale terrigeno, piane rugose, da moderatamente a fortemente alterate, persistenza elevata, presenza stillicidi; presenza di radici all'interno delle fratture.
60,0-61,0	15/80	Discontinuità aperte, talora riempite da calcite, piane rugose, moderatamente alterate, persistenza da media ad elevata, con spaziatura moderata (circa 40 cm).
62,5-64,0	210/35	Discontinuità strette, non riempite, piane rugose, moderatamente alterate, persistenza da media ad elevata.

5.2. Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

Sulle base dei rilievi condotti, facendo riferimento principalmente alle caratteristiche litologiche e tessiturali degli ammassi, sono state individuate due tipologie di ammasso roccioso, corrispondenti alle due litofacies delle Breccie di Rialbano. Le due tipologie di ammasso roccioso sono denominate rispettivamente ammasso "C", relativo alla litofacies a calcari prevalenti e ammasso "B", relativa alla litofacies a breccie prevalenti. Un ulteriore ammasso roccioso è stato distinto nella zona di galleria nella quale non è possibile accedere per motivi di sicurezza, e corrisponde

alla porzione di brecce di Rialbano interessate dalla mineralizzazione; tale ammasso non è stato quindi caratterizzato.

Per quanto concerne le caratteristiche geo-strutturali degli ammassi, l'ammasso "A" si presenta generalmente massivo, con presenza di fratturazione, solo localmente più significativa; l'ammasso "B" risulta caratterizzato da una tessitura brecciata e non presenta discontinuità significative.

Per la determinazione della resistenza a compressione della roccia intatta si è fatto ricorso a test speditivi condotti direttamente in situ, rappresentati dal metodo dell'"impact test" (Marinos & Hoek, 2001; Williamson & Kuhn, 1988; Hack & Hiusman, 2002); la letteratura scientifica ha dimostrato la generale validità di tali metodi per fornire dati di input per la classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, sia pur evidenziando la loro soggettività e la stretta dipendenza dall'esperienza e sensibilità dell'operatore. Le risultanze di tali rilievi speditivi sono state confermate da alcuni test condotti con il martello di Schmidht.

Si evidenzia inoltre che, in relazione alle caratteristiche litologiche degli ammassi rocciosi individuati, caratterizzati da frequenti variazioni litologiche e tessiturali non direzionali, risulta alquanto difficile il prelievo di porzioni rappresentative di ammasso sulle quali condurre prove di laboratorio.

I **valori di resistenza a compressione uni assiale** assunti come rappresentativi per i due ammassi individuati sono i seguenti:

- **Ammasso "C": circa 60 MPa**
- **Ammasso "B": circa 43 MPa**

La caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi è stata condotta facendo riferimento classificazioni geomeccaniche ed in particolare agli indici Rock Mass Rating - RMR (Bieniawski, 1989) e Geological Strength Index - GSI (Marinos & Hoek, 2000; Hoek et al., 2002).

L'indice RMR di BIENIAWSKI (1989) è stato valutato, utilizzando una filosofia di approccio di tipo "possibilistico" (Barton et al., 1992, 1994; Coli & Modugno, 1996) che consente la stima di massima della variabilità dell'indice classificativo a partire dal rilievo della variabilità dei singoli parametri geomeccanici che costituiscono l'indice stesso. In Allegato si riportano le schede di caratterizzazione delle due tipologie di ammasso.

Sulla base delle caratteristiche degli ammassi sono stati considerati come rappresentativi i seguenti **valori dell'indice RMR**:

- **Ammasso "C": 68±5**
- **Ammasso "B": 62±5**

Sulla base delle caratteristiche degli ammassi sono stati definiti i seguenti valori dell'indice **GSI**:

- Ammasso "C": 67 ± 5
- Ammasso "B": 58 ± 5

Sulla base dell'indice geostrutturale GSI e delle caratteristiche della roccia intatta sono stati definiti, utilizzando il criterio di rottura di Hoek & Brown, nella sua formulazione più recente (Hoek et al., 2002), la curva ed i parametri di resistenza e deformabilità caratteristici dell'ammasso roccioso; la definizione di tali parametri è stata condotta utilizzando il software RocLab della ©Rocscience.

I dati di input del criterio utilizzati per i due tipi di ammasso rocciosi sono riassunti nella tabella seguente. Per quanto riguarda il fattore di disturbo "D" questo è stato posto pari 0,3 per tenere conto dell'effetto di disturbo indotto dallo scavo con esplosivo. Il valore del modulo di deformabilità della roccia intatta (E_i), in assenza di misure dirette, è stato stimato facendo riferimento alla formulazione di Hoek & Diederichs (2006) e quindi ai valori di letteratura del *modulus ratio* (MR). Per il calcolo dei parametri equivalenti del criterio di rottura di Mohr-Coulomb sono stati valutati i valori di copertura della galleria, che risultano variabili da un valore minimo pari a circa 5,0 m, in corrispondenza dell'imbocco, ad un valore massimo pari a circa 30 m; i valori di σ_{3max} corrispondenti a tali valori di copertura sono stati calcolati rispettivamente in 0,0767 MPa e 0,4135 MPa.

Tipologie di ammasso	γ (MN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	m_i	MR	D	GSI
Ammasso "C"	0.025	60	10	700	0,3	67
Ammasso "B"	0.025	43	20	290	0,3	58

Dove: γ = peso di volume apparente; σ_{ci} = resistenza a compressione uniassiale roccia intatta, m_i = parametro del criterio di Hoek & Brown; MR = Modulus Ratio; D = fattore di disturbo.

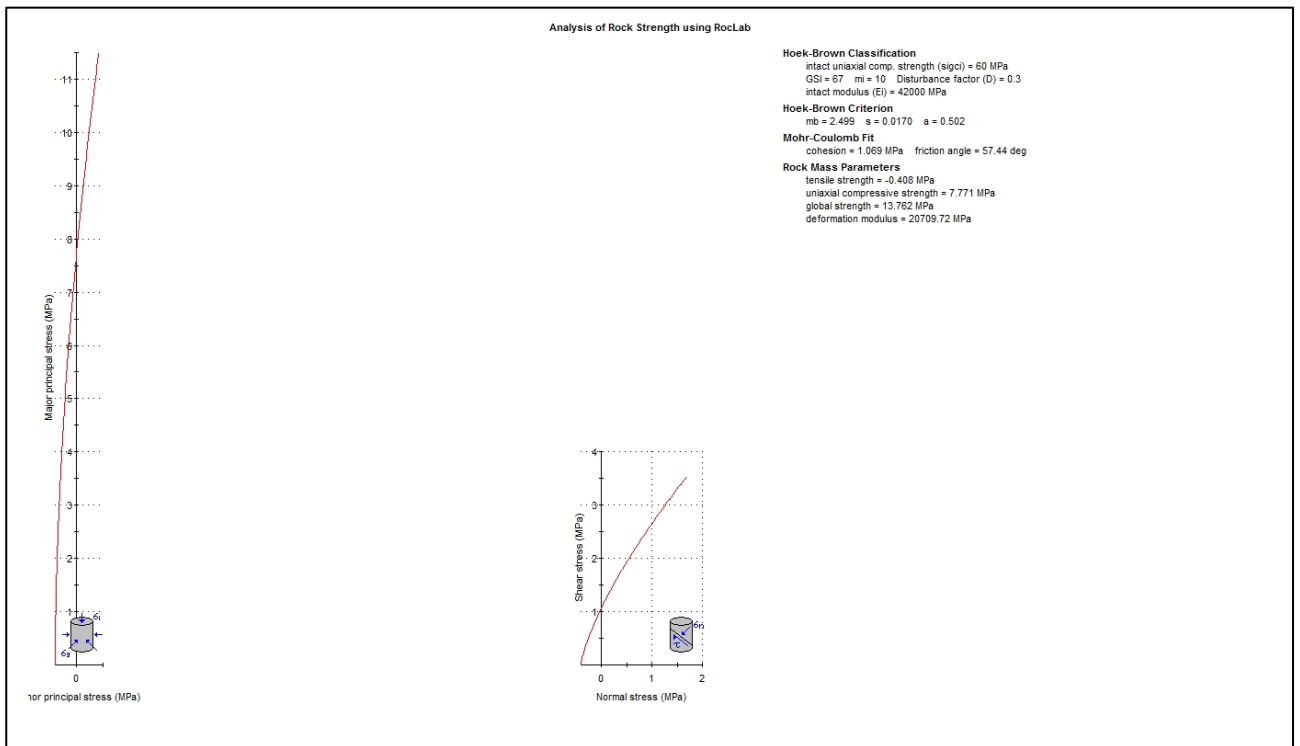
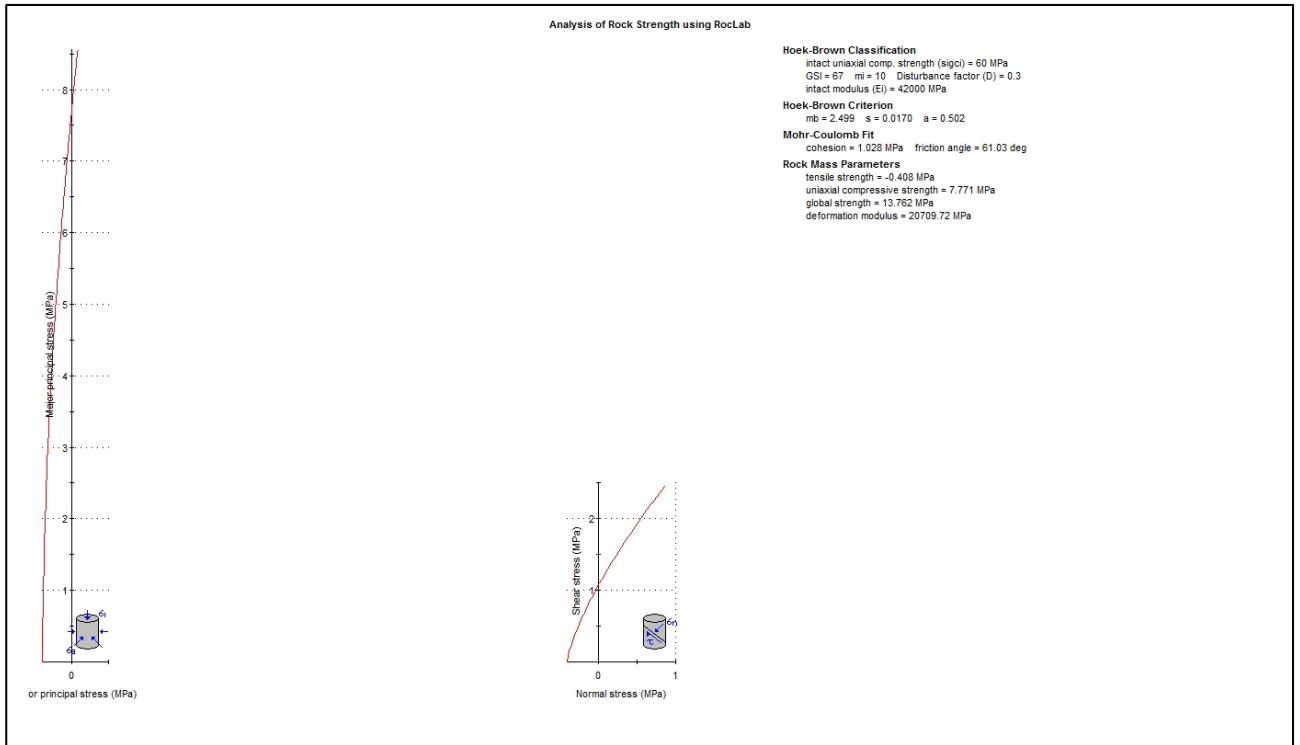


Figura 13 – Curve del criterio di resistenza di Hoek & Brown e parametri di resistenza dell'ammasso "C".

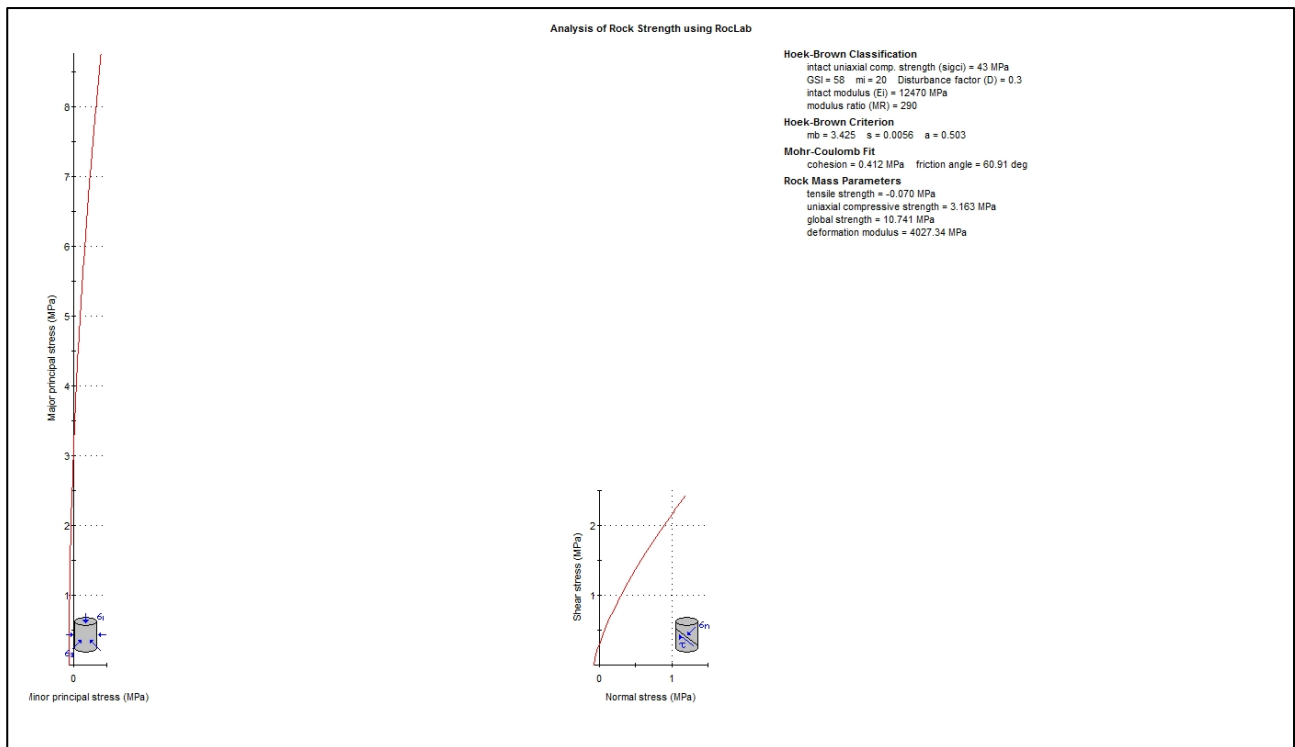
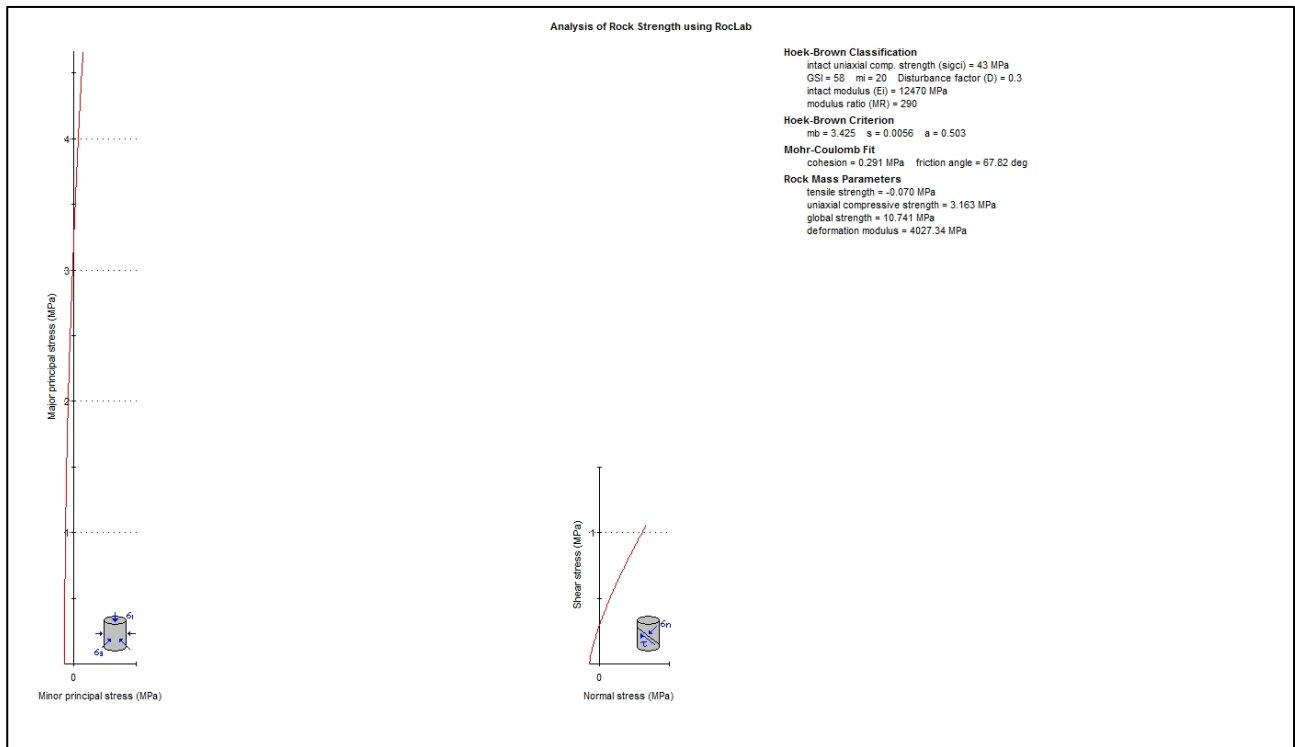
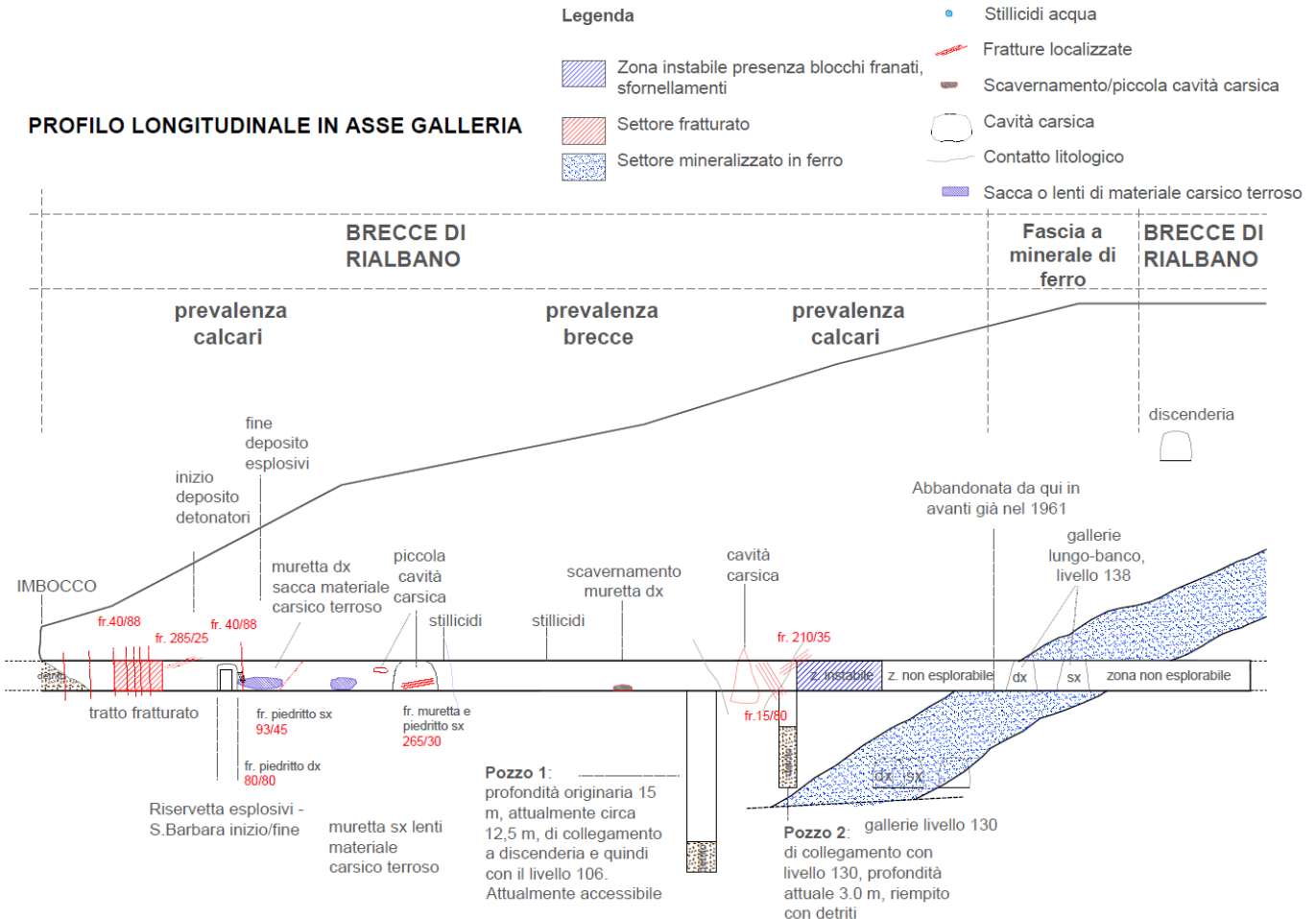


Figura 14 – Curve del criterio di resistenza di Hoek & Brown e parametri di resistenza dell’ammasso “B”.

6. Analisi del tracciato

A partire dal modello Geologico e geostrutturale-geomeccanica delineato per la galleria è stato ricostruito il profilo longitudinale geostrutturale-geomeccanico.



Per la sezione completa del profilo geomeccanico si rimanda alla tavola dedicata presente all'interno degli elaborati grafici del progetto delle strutture.

Nel profilo longitudinale viene ricostruito l'assetto geologico in asse galleria e sono sintetizzate le principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geostrutturali, idrogeologiche e geomeccaniche degli ammassi rocciosi costituenti il cavo.

Il profilo è funzionale all'individuazione delle criticità geologiche e geomeccaniche esistenti nella galleria e alle conseguenti necessarie azioni di messa in sicurezza atte al loro superamento ai fini della fruizione turistica del cavo, nonché alla messa in evidenza delle caratteristiche, strutture esistenti e principali forme carsiche di rilievo, potenzialmente soggette a valorizzazione ai fini del progetto.

Nella tabella seguente si riporta una sintesi delle principali strutture sotterranee, caratteristiche geologiche e geostrutturali-geomeccaniche e forme geomorfologiche

Studio Micheloni

di rilevanza ai fini progettuali ed i relativi interventi di valorizzazione e messa in sicurezza ritenuti necessari.

Progressive (m)		Principali caratteristiche geologiche	Forme geomorfologiche	Strutture	Caratteristiche geostrutturali/geomeccaniche	Indicazioni per la valorizzazione	Indicazioni per la messa in sicurezza
da	a						
-6	0						Costruzione nuovo tratto artificiale, rivestimento in legname a falsa galleria mineraria e protezione imbocco
0	10.0	calcari prevalenti			Presenza di discontinuità aperte, persistenti, con spaziatura da metrica a sub-metrica		Blindatura del tratto e rivestimento: spritz beton fibro-rinforzato e rivestimento interno in legname a falsa galleria mineraria
14.5	16.0	calcari prevalenti		Riservetta esplosivi, Santa Barbara			Recupero dei locali e allestimento con pannelli divulgativi
16.0	19.2	calcari prevalenti			Presenza di fratture di detensionamento sul piedritto di destra		Blindatura del tratto e rivestimento: spritz beton fibro-rinforzato e rivestimento interno in legname a falsa galleria mineraria
29.0	33.0	calcari prevalenti	Cavità carsica con speleotemi			Valorizzazione forme carsiche con protezioni e allestimento con luci a risparmio energetico e antibiologiche	
34.0	56.0	breccie prevalenti					Interventi di rinforzo con centine circolari e spritz fibro-rinforzato
57.2	59.3	calcari prevalenti	Cavità carsica di grosse dimensioni con speleotemi			Valorizzazione forme carsiche con protezioni e allestimento con luci a risparmio energetico e antibiologiche ed allestimento ad eventuale zona di sosta	
53.4	55.8	breccie prevalenti		Pozzo lato destro		Allestimento dal basso con suoni e luci	Protezione dell'imbocco con balaustra e rete metallica; messa in sicurezza per l'accesso alla parte bassa da parte dei lavoratori
61.0	62.5	calcari prevalenti		Pozzo con slargo lato sinistro		Ripulitura parziale dai materiali accumulati e allestimento con finte tramogge e rivestimento in legno a falsa galleria mineraria	Protezione dell'imbocco con balaustra
62.5	70.0				Tratto instabile, presenza blocchi e sfornellamenti	Allestimento a zona estrattiva mediante rivestimento con minerale di recupero	Blindatura del cavo con centine, rete e spritz
70.0	in avanti			Dalla Pk 78.80 tratto di galleria abbandonata già dal 1961	Tratto probabilmente instabile	Valutazione possibilità di esplorazione	Interdizione accesso

7. Bibliografia

- Barton N., Grimstad E., Aas G., Opsahl O.A., Bakken A., Johansen E.D. Og Pedersen O. (1992) - *Norwegian method of tunnelling*. *World Tunnelling*, Vol. 5, June, pp. 231-236, August, pp. 324-328. Also published in *NGI Publ. no. 194*.
- Barton, N., By, T.L., Chryssanthakis, P., Tunbridge, L., Kristiansen, J., Løset, F., Bhasin, R.K., Westerdahl, H. & Vik, G. (1994) - *Predicted and measured performance of the 62m span Norwegian Olympic Ice Hockey Cavern at Gjøvik*. *Int. J. Rock Mech, Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 31:6: 617-641. Pergamon.
- Bieniawski Z.T. (1979) - *The geomechanics classification in rock engineering applications*. *Proc. 4th. congr., Int. Soc. Rock Mech., Montreux 2*, pp. 41-48.
- Bortolotti V., Pandeli E., Principi G. (2015) – *Carta geologica dell’Isola d’Elba, scala 1:25.000, D.R.E.AM. Italia*.
- Coli M. & Modugno C. (1996) - *Classificazione geomeccanica preliminare di un sito: approccio deterministico o possibilistico?* *GEAM*, 89, 111-119.
- Hack & Hiusman (2002) – *Estimating the intact rock strength of a rock mass by simple means*. *Proc. 9th Congress of the International Association of Engineering Geology and Environment, Durban, Republica of South Africa*.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B. (2002) - *Hoek-Brown criterion – 2002 edition* *Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, 2002, 1*, 267-273.
- Hoek E. & Diederichs M.S. (2005) - *Empirical estimation of rock mass modulus*. *Int. Soc. Rock Mech.*, 43, pp. 203-215.
- ISRM (1978) – *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*.
- ISRM (1981) – *Basic geotechnical description (BGD) of rock masses*.
- Marinos P. & Hoek E. (2000) – *GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. *Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne*. 1422-1442.
- MARINOS P, HOEK E (2001) - *Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch*. *Bulletin of the Engineering Geology & the Environment*, 60, 85-92.
- Principi G. et alii (2015) – *Note illustrative della Carta Geologica d’Italia in scala 1:50.000, Foglio 136, 317, 328, 329 Isola d’Elba*. Selca, Firenze.
- Tanelli G., Benvenuti M., Costagliola P., Dini A., Lattanzi P., Maineri C., Mascaro I. & Ruggieri G. (2001) - *The iron mineral deposits of Elba Island: state of the art*. *Ofioliti*, 26 (2a): 239-248.
- Williamson & Kuhn (1988) – *The Unified Rock Classification System. Rock Engineering System for Engineering Purposes*, ASTM STP 984, Louis Kirkaldie Ed., Ammerican Society for Testing Materials, Philadelphia, 7-16.