REGIONE LIGURIA
Direzione Centrale Programmazione e Pianificazione Strategica
Settore Progetti Infrastrutturali e Strategici

Anas S.p.A.
Direzione Centrale Progettazione

InfrastruttureLiguria
GRUPPO FILSE

CONVENZIONE DEL 14 SETTEMBRE 2009 TRA REGIONE LIGURIA E INFRASTRUTTURE LIGURIA S.R.L. PER LA REALIZZAZIONE DI ATTIVITÀ PER L'ATTUAZIONE DEL PROGRAMMA DI STUDI E PROGETTAZIONI INFRASTRUTTURALI STRATEGICHE

Oggetto:

VARIANTE DI TRACCIATO ALLA S.S.1 AURELIA – CAPO NOLI
PROGETTO DEFINITIVO

Titolo:

RELAZIONE GEOLOGICA

Doc. n: 02A\DEF\GEO\R001

Rev.	Data	Sez.	Pag.	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione
1	15/11/11	9	29	DM	FB	SB	Per Emissione
2	20/07/12	9	31	DM	FB	SB	Per Emissione
3	15/04/13	9	30	DM	FB	SB	Per Emissione

Spazio riservato alla codifica ANAS

CODICE PROGETTO	CODICE ELABORATO	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
DP GE05 D 10 01	T 00 GE 01 GEO RE 01	*Ing. Nicola Dinnella*

INDICE

1	PREMESSA MODALITÀ E FINALITÀ	3
2	NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	4
3	IL CONTESTO GEOLOGICO – STRATIGRAFICO GENERALE	5
4	LO SCENARIO TETTONICO E STRUTTURALE DI CAPO NOLI	7
5	L'ASSETTO GEOMORFOLOGICO	12
6	CARATTERI IDROGEOLOGICI GENERALI	17
COMMENTO ALLA CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE		20
7	ASPETTI GEOSTRUTTURALI DI INTERESSE GEOMECCANICO	23
8	CONCLUSIONI	28

1 PREMESSA MODALITÀ E FINALITÀ

La presente relazione sintetizza le attività a carattere geologico correlate al progetto definitivo della Variante di tracciato alla S.S. “Aurelia” presso Capo Noli.

Nell’ambito del Progetto Preliminare si erano operati:

- una accurata ricerca bibliografica riguardante la documentazione geologica s.l., riferibile all’area di interesse, di maggiore attendibilità scientifica;
- un esame della cartografia geologica ufficiale disponibile;
- un esteso rilevamento geologico di dettaglio;
- la pianificazione, l’esecuzione e la relativa supervisione di uno specifico programma di accertamenti geognostici preliminari;
- una sequenza di mirate analisi di laboratorio geomeccanico;
- un rilievo geostrutturale inerente le zone di imbocco del tracciato in galleria in progetto;

Nella presente fase si sono ulteriormente approfondite:

- le conoscenze stratigrafiche relative alle opere accessorie a mare dell’Aurelia presso l’imbocco Noli;
- valutazioni geomeccaniche inerenti le opere previste presso l’imbocco.

Si è, inoltre, complessivamente intervenuti nell’aggiornamento della cartografia geologica l.s. già fornita con l’integrazione grafica di alcune ulteriori evidenze rinvenute sul terreno.

Le risultanze sono compendiate, oltre che nella presente, negli allegati grafici denominati “Carta Geologica” “Carta Geomorfologica”, “Carta Idrogeologica”, “Profilo Geologico ” e “ Sezioni Geologiche”.

Per quanto concerne la descrizione delle caratteristiche progettuali generali (geometrie, aspetti urbanistici, ambientali etc.) si rimanda ai relativi elaborati specifici.

2 NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Il D.M 14/01/2008 (NTC 2008) (a modifica dei precedenti D.M. 14/09/2005 e D.M . 14.3.88) entrato in vigore il 1° Luglio 2009, con l' ulteriore e più puntuale riferimento anche alla progettazione strutturale nelle differenti zone sismiche così come recentemente indicato anche dalla OPCM n. 3519 del 28/04/2006.

Il D.Lgs. n.4/2008 del 16/01/2008 (a modifica del D.Lgs n.152/06 del 3/04/2006) in tema di salvaguardia ambientale nelle differenti matrici di suolo, acqua ed aria.

La L.109.94 con le successive modifiche ed integrazioni a riguardo delle modalità e degli obblighi progettuali nei lavori pubblici anche in tema di caratterizzazione geologica e geotecnica nei differenti *steps.*

Il DPCM del 24/05/2001, in applicazione della legge nazionale n. 183/89 sulla difesa del suolo ai fini della istituzione dei Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico, e per quanto concerne la contestualizzazione delle eventuali criticità territoriali più estese, attuati, in Provincia di Savona, con DGP n. 27 del 12 Luglio 2001 e, successivamente con DGP n.43 del 28 Ottobre 2002 e DGP n.47 del 25 Novembre 2003.

La L.R. n. 4/99 in tema di normativa regionale di applicazione del tuttora vigente vincolo idrogeologico così come normato dal R.D. n.3267 del 30/12/1923.

Rammentiamo, inoltre, la recente introduzione da parte della Regione Liguria della nuova classificazione a fini sismici avvenuta con la emanazione della DGR della Regione Liguria n°1308 del 24.10.2008 (e che ha inserito il Comune di Noli nella classe 3b con accelerazione orizzontale su suolo rigido pari a 0.10 g).

Da ultimo segnaliamo la vigenza della DGR n.859 della Regione Liguria del 18 Luglio 2008 in merito ai criteri per la gestione e l'utilizzo delle terre e rocce da scavo.

La zona di interesse, inoltre, è da considerarsi interessata da quanto previsto dalla L.R n. 39 del 6 Ottobre 2009 relativa alla valorizzazione dei geositi e delle aree carsiche.

3 IL CONTESTO GEOLOGICO – STRATIGRAFICO GENERALE

L'impostazione geostrutturale è quella del classico edificio a falde molto estese in un ambito caratterizzato da uno stile tettonico perlopiù fragile con associazione complessa di orizzonti differenti in frequente ed articolato contatto tettonico.

Ci troviamo inseriti nel più complesso contesto del cosiddetto dominio "Brianzonese" che localmente comprende il basamento pre – carbonifero ed il tegumento permo-carbonifero.

Il basamento rappresenta un substrato stratigrafico delle successioni brianzonesi interne (include infatti un tegumento di età successiva ed una "copertura" mesozoica più recente).

Il tegumento, a sua volta, rappresenta una sorta di interposizione tra il precedente basamento e le coperture mesozoiche triassiche – liassiche; i terreni di riferimento, interessati da intenso metamorfismo, sono di origine sia vulcanica che sedimentaria. In particolare troviamo tra i metasedimenti i terreni riferibili alla Formazione di Murialdo ed agli Scisti di Gorra mentre tra i termini metavulcanitici la Formazione di Eze ed i Porfiroidi del Melogno.

La copertura meso-cenozoica è localmente rappresentata dalle Quarziti scitiche di Ponte di Nava, dai Calcari della Val Tanarello e dalle Dolomie di S:Pietro ai Monti.

Le prime testimoniano una ingressione marina con fenomeni di detrizione dei pre-esistenti massicci ercinici mentre i calcari e le dolomie fanno parte di una successione calcareo-dolomitica più complessa rappresentante fasi deposizionali diverse, a prevalente carattere chimico-fisico in un ambiente climaticamente caldo ed in ambiente di piattaforma.

Da segnalare come nel Giurassico inferiore il dominio Brianzonese ligure possa essere considerato completamente emerso e interessato da fenomeni di alterazione - erosione in ambiente sub-aereo e da significativo carsismo.

I terreni metasedimentari sono rappresentati da sequenze complesse, fortemente disarticolate. di Qz-scisti, scisti Qz-sericitici, scisti cloritici e micascisti, filladi carboniose talora grafitiche con frequenti vene quarzose o noduli.

Gli orizzonti metavulcanitici invece sono rappresentati da porfiroidi a grana minuta o a grossi cristalli di K-Feldspato, termini andesitici, filoni ignimbritici e termini derivativi di carattere prasinitico.

La forte tettonizzazione si esplica attraverso un complicato assetto in stile fragile plicativo con frequenti strutture di faglia o pieghe-faglie inverse.

La copertura mesozoica vede la presenza di settori a forte componente quarzitica e/o di Qz-scisti biancastri o verdolini con subordinati termini pelitici più o meno scistosi (Quarziti di Ponte di Nava) , di settori di calcari marmorei chiari e stratificati (Calcari della Val Tanarello), dalle dolomie grigio – biancastre in banchi di spessore metrico o decimetrico ovvero da scisti pelitici e calcareo-micacei sovente in corrispondenza dei contatti con le Quarziti di Ponte di Nava .

4 LO SCENARIO TETTONICO E STRUTTURALE DI CAPO NOLI

Secondo Vanossi (1971) la regione consiste in una serie di elementi tettonici globalmente rappresentati da successioni permo-mesozoiche separate da superfici di sovrascorrimento.

L'autore segnala, essenzialmente, quattro "elementi" principali così denominati dal più profondo al più elevato:

A) Elemento di Cà dei Mori;
B) Elemento di Bric Briga;
C) Elemento delle Manie – Bric dei Monti;
D) Elemento di Arma.

L'elemento di Cà dei Mori è costituito da dolomie meso-triassiche perlopiù in facies massiccia.

Affiora lungo la costa solo in zone limitate (oltre Punta Crena in direzione Finale Ligure) ma rappresenta il substrato tettonico di riferimento. L'elemento di Bric Briga, invece, inizia con scisti permo-carboniferi (già Scisti di Gorra) seguiti da metaconglomerati e quarziti (Verrucano) e da successive quarziti scitiche (Quarziti di Ponte di Nava). Al tetto troviamo i marmi bianchi o grigi denominati Calcari della Val Tanarello risalenti al Malm.

Da notare come la base di questa formazione sovente sia rappresentata da livelli detritici con clasti quarzosi o dolomitici che, ad esempio presso la citata Punta Crena, trovano potenze di ordine metrico. Lo spessore dell'elemento di Bric Briga si assottiglia in direzione W → E raggiungendo valori minimi proprio presso Punta Crena. Superiormente all'elemento di Bric Briga si trova l'elemento della Manie – Bric dei Monti ; anche questo trova presenti terreni permo-mesozoici che partono dagli orizzonti del Verrucano e delle quarziti scitiche e si differenzia dall'elemento di Bric dei Mori per la presenza dell'anisico-ladinico calcareo – dolomitico della Formazione di S.Pietro ai Monti con potenze dell'ordine delle centinaia di metri.



Fig. 1: Calcari (marmi) dell'elemento di Bric Briga (Calcari della Val Tanarello)

Tale elemento è quello di pertinenza specifica progettuale. La sua esposizione è infatti facilmente apprezzabile lungo tutto il tratto costiero compreso tra Punta Crena e Capo Noli dove è caratterizzato dalla presenza di una, se pur discontinua, fascia cataclastica, osservabile al letto, ove le metaquarziti sono sovente fortemente frizionate in livelli a detrizione spinta. Come già citato l'elemento di Bric dei Monti – Manie è costituito prevalentemente da dolomie anche massive con scarse evidenze di meso-strutture.

Si fanno, peraltro, notare vistose deformazioni sinsedimentarie (slumps) apprezzabili tra la zona del Malpasso e Capo Noli. Sono rilevabili pieghe a cerniera acuta ed angolo tra i fianchi dell'ordine di 30° all'interno dei livelli quarzitici (vedi a Nord di Capo Noli). Qui le porzioni micacee sono sovente dotate di evidenti fenomeni di crenulazione da clivaggio.

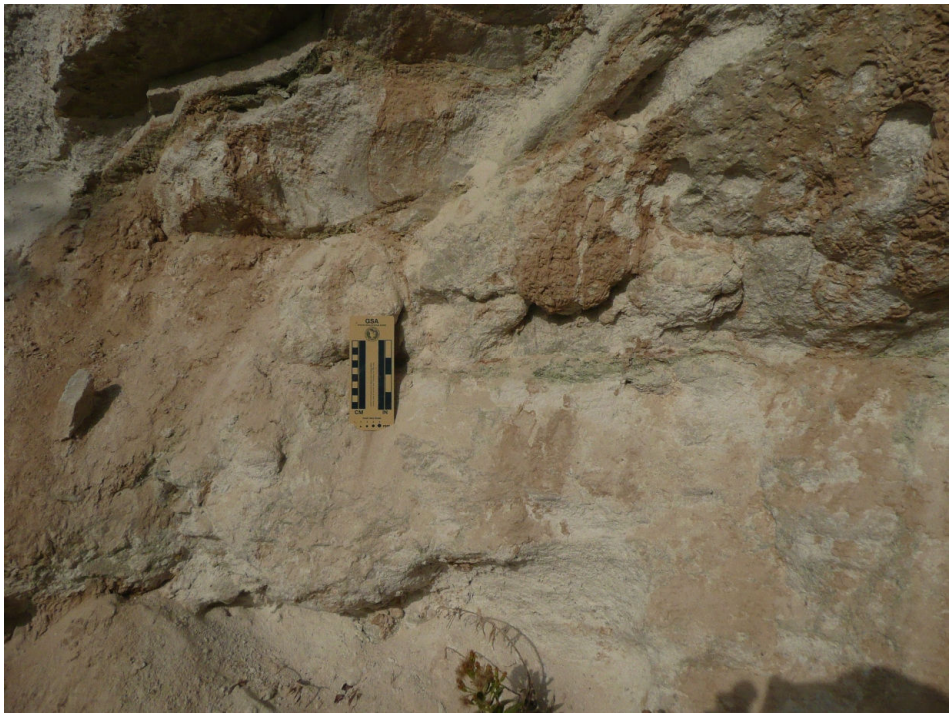


Fig. 2: Livelli a forte detrizione di natura cataclastica nelle quarziti al letto



Fig. 3: Livelli a forte detrizione di natura cataclastica nelle dolomie stratificate



Fig. 4: Slumps sinsedimentari in orizzonti dolomitici

L'accavallamento dell'elemento delle Manie su quello di Bric Briga si realizza mediante superfici secondarie che catturano corpi intermedi sovente rappresentati proprio da lembi di metaquarziti imbricate, delimitati sia longitudinalmente che trasversalmente rispetto al fronte di sovrascorrimento, e trascinati nella medesima direzione tettonica secondo un sistema tipo flat-ramp con intenso ripiegamento della stratificazione.

Sia la superficie di sovrascorrimento principale che quelle secondarie sono enfatizzate da bande di taglio ultracataclastiche con fasce di microdetrizione e scarsa cementazione particolarmente nei livelli quarzitici. Fenomeni di milonitizzazione negli orizzonti dolomitici sono stati segnalati in letteratura a livello microscopico ma fenomeni di vera e propria filiazione milonitica macroscopica visibile sono del tutto sporadici. In prossimità dell'accavallamento si produce una evidente rotazione delle giaciture riferibili alla stratificazione nell'elemento di Bric Briga la cui direzione di immersione ruota da E → N procedendo in direzione W → E. La giacitura della stratificazione principale nelle dolomie di Bric dei Monti – Manie trova invece immersione verso N-NW a settentrione di Capo Noli e in prossimità della zona ripiegata interessata dai livelli quarzitici scitici mantenendo tale orientazione preferenziale in tutto il settore di Capo Noli a Est della zona denominata "Semaforo" mentre a Sud e a Ovest del Monte di Capo Noli la vergenza principale dell'immersione è verso SW – W - NW.



Fig. 5: L'accavallamento delle dolomie di Bric dei Monti sui calcari di Bric Briga

Dal punto di vista degli equilibri termodinamici possiamo ricordare che le paragenesi esaminate dagli Autori (Vanossi1971 e Pilla & Seno 1987) collocano i livelli studiati nella facies scisti verdi di basso grado e coeve della subduzione ensialica del Brianzonese.

Probabili azioni neotettoniche quaternarie hanno collaborato in recenti fenomeni distensivi alla impostazione di una serie-associazione di faglie dirette (vedi profilo geologico interpretativo) perlopiù nord vergenti con la possibile presenza di bande di taglio con fenomeni cataclastici e incremento della fatturazione; la evidenza della presenza di tali strutture non emerge dal rilevamento geologico ma fenomeni riflessivi identificati nella indagine geofisica (cfr. Rapporto SGG srl – Siena) ne confermerebbero, in prima analisi, la presenza.

5 L'ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico di Capo Noli (sintetizzato nella carta geomorfologica seguente e nella apposita tavola) è fortemente controllato da tre essenziali fattori:

1. la predominanza di rocce calcaree e dolomitiche soggette a fenomeni di carsismo superficiale e profondo più o meno intensi e strutturate lungo una sorta di altopiano morfologico sopraelevato rispetto al livello medio marino di oltre 200 – 250 m;
2. la forte tettonizzazione;
3. la condizione di aggetto sul mare con la tipica presenza di falesie verticali o sub verticali.

Il detto altopiano si pronuncia con un ben delineato contrafforte (Capo Noli) dotato di asse disposto circa SW → NE (individuabile lungo la direttrice Monte Capo Noli → La Torretta) inciso – lungo la medesima direzione – verso nord dal Rio di Preti Bernardini (posto in corrispondenza con il contatto tettonico tra i terreni dolomitici e le quarziti). Lungo tutto il fronte meridionale e la stessa arcuatura di Capo Noli troviamo una estensione pluriettometrica di falesie verticali-subverticali (di grande pregio naturalistico).

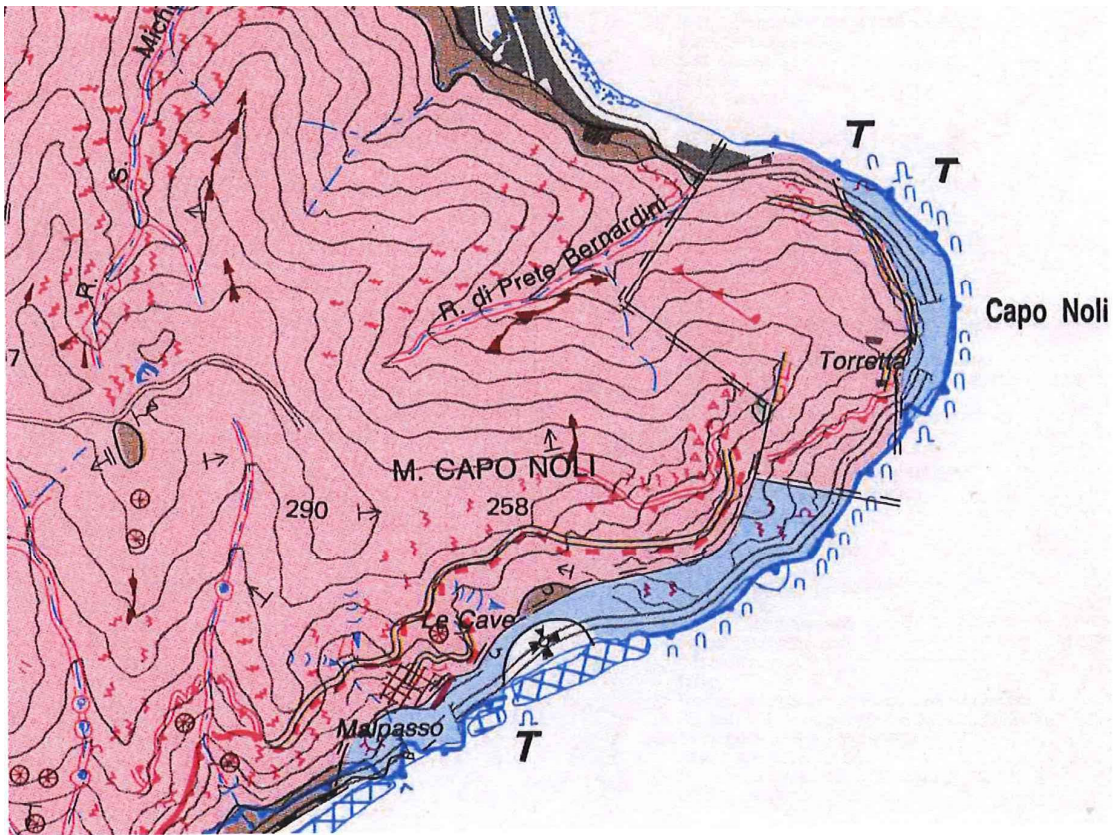


Fig. 6: Carta dell'assetto geomorfologico di Capo Noli

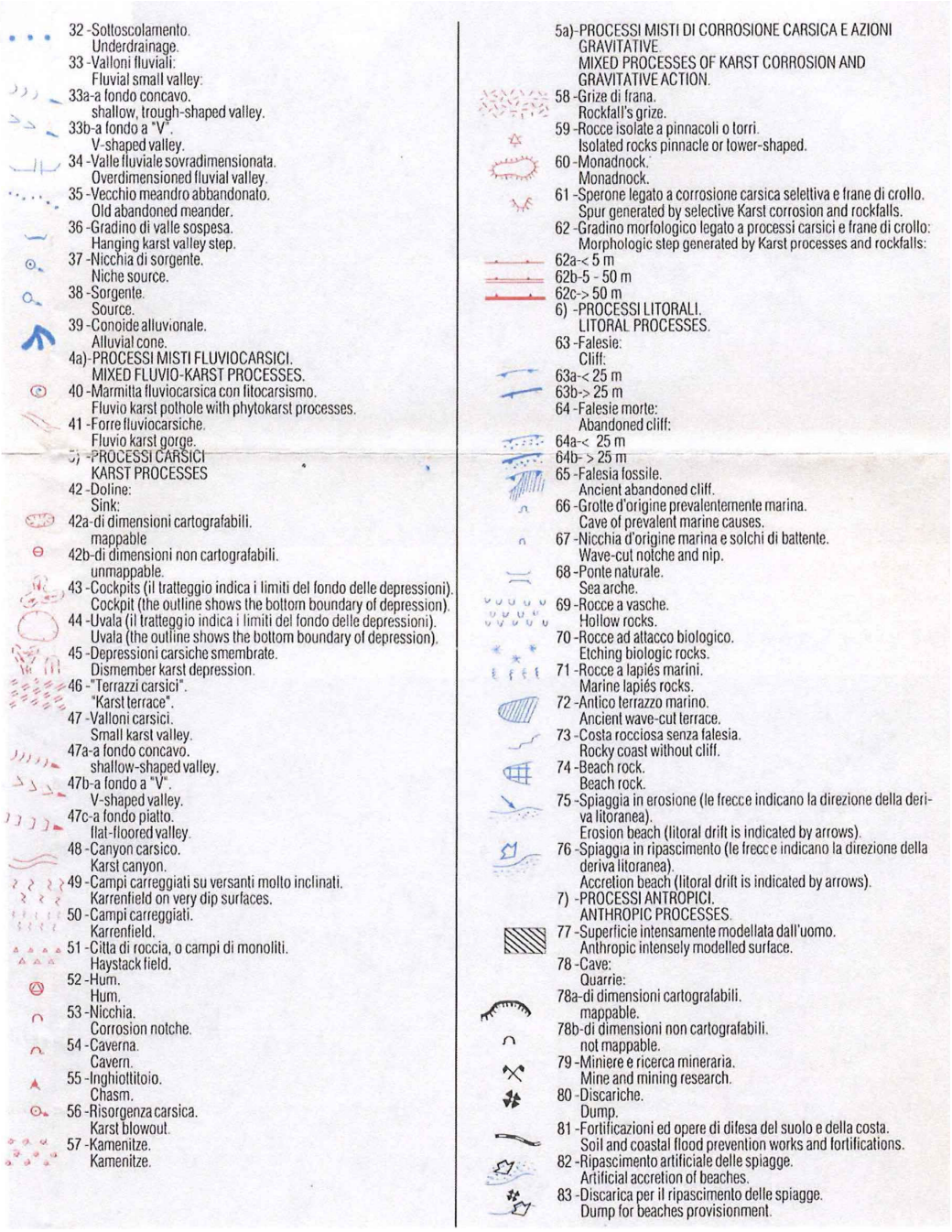


Fig. 7: Legenda della carta di Fig. 6

Risulta evidente, in Fig.6, la intensa estensione all'interno di Capo Noli di elementi morfologici legati all'ambiente carsico: campi carreggiati, sottoscolamenti, valloni fluviali a fondo concavo. Particolarmente interessanti ai fini progettuali appaiono, però, le forme morfologiche di corona del capo ossia quelle legate a concause a carattere misto gravitativo-carsico. In particolare individuiamo un terrazzo carsico interposto tra la zona Le Cave e il

Malpasso, svariati pinnacoli e torrioni tra la Torretta e Monte Capo Noli, speroni legati a corrosione carsica e da erosione selettiva variamente distribuiti. Si aggiunga la significativa presenza di spessori di brecce dolomitiche più o meno cementate e depositi colluviali su tutto il lato settentrionale del capo.





Fig. 8 e Fig.9: Sperone da erosione selettiva con conseguente collasso gravitativo, breccia superficiale



Fig. 10: Breccia dolomitica cementata

La concomitante azione gravitativo-carsica inserita nell'ambito strutturale già descritto (con il conseguente articolato assetto geomeccanico) produce situazioni di forte criticità geomorfologica in relazione alle condizioni di stabilità delle falesie lungo tutto lo sviluppo di Capo Noli sino al Malpasso che – storicamente – sono stati interessati da ingenti fenomeni franosi da ribaltamento/crollo e da rock falls lungo il Capo, da cui l'esigenza progettuale in argomento.

Caratteri morfologici aggiuntivi, di particolare interesse paesaggistico, sono ovviamente alcune sorgenti carsiche presenti nell'ambito allo studio e, inoltre, la segnalata presenza di alcune cavità ipogee note e studiate in ambito

speleologico.

Infine è interessante rilevare lungo il lato meridionale, in prossimità della zona di Le Cave, in corrispondenza della linea di battigia, di un ingente sviluppo areale di calcareniti di panchina (beach rock), classica roccia a cemento calcareo determinato dalla precipitazione chimica carbonatica di acque dolci calcaree in ambito marino.

Nell'ambito della fase preliminare del presente progetto, è stata eseguita una campagna di indagini geologiche in parete sul fianco nord-orientale dell'anfiteatro della zona Le Cave affidata allo Studio Associato Maifredi - Gruppo Geologia Verticale, le cui risultanze sono contenute nell'Allegato C della Relazione sulle Indagini Geognostiche e Geofisiche.

L'indagine eseguita sul versante in esame ha permesso di definirne le principali caratteristiche geologico–strutturali e di individuare le maggiori instabilità in atto, latenti o potenziali permettendo di accertare le principali problematiche che interessano la parete e fornendo una stima qualitativa della probabilità di accadimento di eventi con differenti volumetrie.

La stabilità della parete esaminata è governata prevalentemente dai giunti di discontinuità e le possibili rotture avvengono secondo superfici preesistenti ed il fronte roccioso, soprattutto nella parte superiore, presenta numerosi blocchi, di dimensioni variabili, soggetti a possibile distacco e caduta lungo il versante.

A quota 175-210m s.l.m. è stata identificata una frattura di distacco, sub-verticale e parallela al fronte (lunghezza: 150 m, profondità: 30-50 m, apertura media: 0,5 m), che isola un elemento roccioso con spessore variabile tra 10 e 25 m.

Tale rinvenimento lungo il tratto di falesia sul fianco nord-orientale dell'anfiteatro della zona Le Cave evidenzia un contesto geomeccanico complessivamente problematico che ha condizionato l'attività progettuale nella sua fase preimianre e di conseguenza la posizione dell'imbocco lato Finale, escludendo di fatto tutte le soluzioni potenzialmente interessate da eventi gravitativi di entità notevole.

Analizzando il contesto geomorfologico circostante e supportati dalle simulazioni dei profili di rotolamento contenute nello studio del dott. Maifredi, in assenza di ulteriori elementi, si è ritenuto che la configurazione di tracciato ed in particolare la posizione dell'imbocco lato Finale sviluppata nel Progetto non interferisca con la situazione rinvenuta sul fianco nord-orientale dell'anfiteatro della zona Le Cave, ne sia direttamente interessata dai potenziali fenomeni gravitativi ad essa connessi.

Per quanto riguarda le condizioni geomorfologiche relative all'ambito corrispondente al versante posto subito a monte della zona di imbocco sul lato nord del rio Prete Bernardini, non si segnalano evidenze inerenti potenziali instabilità dei versanti coinvolgenti le ridotte coperture detritiche locali ed il generale assetto geomeccanico.

6 CARATTERI IDROGEOLOGICI GENERALI

La complessità tettonica e litologia emersa dal rilevamento di superficie e dalla esecuzione delle indagini preliminari unitamente al carattere carsico o pseudo-carsico della larga prevalenza dei termini formazionali presenti rendono l'assetto idrogeologico ipogeo profondo senz'altro caratterizzabile come affetto da grande complessità.

In ambito carsico la circolazione idrica ipogea è di natura "random" in relazione allo specifico comportamento carsico degli ammassi rocciosi calcarei ove si instaurano reticoli di flusso idrico ipogeo dominati da cavità, cunicoli e vuoti eterometrici privi di qualsiasi allineamento o assetto geometricamente definibile.

Pertanto non è individuabile una falda riproducibile mediante la rappresentazione di una superficie piezometrica nel profilo geologico.

Le considerazioni oggi ragionevolmente evincibili dall'insieme di dati disponibili sono sintetizzabili come in appresso:

1. la predominante azione carsica è attesa nell'ambito dell'elemento calcareo di Bric Briga e, credibilmente, in particolare in prossimità della fascia corrispondente all'accavallamento dolomitico sopra lo stesso;
2. in tale contesto tettonico fenomeni più o meno ingenti di carattere cataclastico possono determinare direttrici di deflusso idrico ipogeo preferenziali con flussi idrici di maggiore intensità e tali evidenze, in particolare sulla base delle prospezioni sismiche P3 e P4, sembrano essere riconducibili alla presenza delle scaglie quarzitiche catturate all'interno dei livelli dolomitici in corrispondenza del sovrascorrimento descritto;
3. le profondità di riferimento dell'asse della galleria risultano però maggiori rispetto alla zona di maggiore intensità del disturbo tettonico indicato;
4. bande di taglio di ordine decametrico segnalate lungo tutto lo sviluppo della galleria in ambito dolomitico possono presentare caratteri analoghi ma di minore estensione/intensità;
5. le valorizzazioni della conducibilità idraulica degli ammassi rocciosi dolomitici e calcarei, ottenuti mediante prove di tipo Lugeon in foro di sondaggio, non presentano differenze significative mantenendosi, in entrambe le litologie, nell'intervallo 10-6 m/s – 10 -7 m/s;
6. nello sviluppo lineare delle perforazioni operate (max 50.00 m in orizzontale) non si sono incontrate cavità o vuoti, né presenza significativa di venute idriche.
7. la presenza di una sorgente utilizzata dall'Acquedotto di Savona presso la dismessa galleria ferroviaria (cfr. Carta Idrogeologica) non suscita particolari timori di interferenza con l'opera (distante circa 350 m) in ragione sia della evidente azione drenante già riconducibile da decenni alla galleria ferroviaria

medesima sia in ragione della disposizione geometrica e spaziale della nuova opera in relazione sia al complessivo assetto idraulico ipogeo profondo locale (si vedano le caratteristiche complessive evidenziate nella citata Carta Idrogeologica).

Da enfatizzare la natura random della circolazione idrica ipogea in relazione allo specifico comportamento carsico degli ammassi rocciosi calcarei ove si instaurano reticoli di flusso idrico ipogeo dominati da cavità, cunicoli e vuoti eterometrici privi di qualsiasi allineamento o assetto geometricamente definibile. In tale prospettiva le considerazioni di cui al precedente punto 7 sono derivabili dalla estrema localizzazione di fenomeni carsici o pseudo – carsici in assenza peraltro di una testimoniata rete carsica profonda di ordine ettometrico o più.

Si sottolinea, inoltre, come le preesistenti strutture artificiali ipogee (galleria ferroviaria) abbiano contribuito a drenare fortemente il contesto idrogeologico locale alterandone verosimilmente le dinamiche originali che, comunque, vedevano certamente sorgenti carsiche profonde sottoposte al l.m.m (vedi la citata presenza del beach – rock).

Le forme carsiche superficiali note non risultano di particolare rilevanza non interagendo con il progetto.

Negli acquiferi carbonatici individuati la circolazione idrica è legata alla permeabilità per carsismo. Lungo le superfici di debolezza tettonica certe o presunte (faglie), individuate in profondità mediante tecniche sismiche, possono instaurarsi deflussi idrici ipogei concentrati.

Alle quote interessate dalla realizzazione dell'opera la circolazione idrica, sulla base delle sole evidenze geognostiche attuali e del rilevamento di superficie, (unitamente alle considerazioni sul drenaggio profondo, variato in passato a causa della presenza della esistente galleria ferroviaria) non si prospettano -ad oggi - acquiferi produttivi importanti.

Ciò nonostante nell'elemento calcareo non si può escludere la presenza di venute idriche anche significative in relazione alla complicazione dell'assetto carsico.

Dal punto di vista idrogeologico lungo l'asse della galleria si possono, pertanto, identificare i seguenti caratteri distinti:

- calcari: permeabilità medio-bassa per fratturazione, localizzati fenomeni carsici;
- dolomie: permeabilità media per fratturazione, localmente condizionata da farciture e riempimenti limoso-argillosi, limitato carsismo bande di taglio lungo le faglie con possibili concentrazioni idriche ipogee e flussi conseguenti in stretta correlazione con l'ampiezza delle bande di taglio medesime;
- lungo il sovrascorrimento dolomie-calcari si può ipotizzare una particolare fascia di debolezza geomeccanica associata ad aumento della permeabilità e a conseguente possibile incremento delle venute idriche.

Sul lato Noli, in prossimità dell'imbocco e dell'area ove è prevista la demolizione parziale del contrafforte roccioso (evidentemente già sottoposto ad un parziale taglio per la costruzione dell'Aurelia esistente) posto al contatto tra i termini quarzitici e dolomitici, la presenza del Rio di Preti Bernardini e l'allungata vallecola relativa all'incisione del medesimo, appaiono prospettarsi come un settore idrogeologico separato dal resto del contesto progettuale.

In questa porzione areale infatti la bassa qualità geomeccanica dei termini qz-scistosi, e dei livelli calcareo-micaceo-scistosi del contatto, la presenza di fratturazioni aperte con riempimenti anche significativi in condizioni giaciturali sfavorevoli possono rappresentare un fattore di problematicità idrogeologica laddove la circolazione idrica in frattura (persistente nelle stagioni più umide) venga a rappresentare, quindi, un fattore sfavorevole alla stabilità del versante. In tale contesto morfologico sono presenti, con differente intensità stagionale, fenomeni di colamento corticale o sub–corticale con particolare riferimento alle interfacce di contatto tra coperture detritiche eluvio-colluviali e bedrock. Tale argomento si ritiene abbia particolare importanza a riguardo del mantenimento, sia in sede provvisionale che definitiva, della stabilità del versante in corrispondenza delle opere di sostegno, in ragione dell'elevato sviluppo metrico in altezza dei fronti di sbancamento in progetto. A monte di tale punto, dove le pendenze del versante si riducono, non sono rilevate problematiche di stabilità del versante (si veda la sezione geologica in corrispondenza della progressiva 80+00).



Fig. 11: Giaciture sfavorevoli di termini intermedi al contatto tra le dolomie e le quarziti in condizioni di intensa fatturazione sul lato Noli

COMMENTO ALLA CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

E' stata svolta una campagna di indagini geognostiche e geotecniche operata mediante tecniche dirette (sondaggi a carotaggio continuo orizzontali e/o inclinati presso gli imbocchi) ed indirette (sismica a rifrazione con elaborazione tomografica e profili sismici ibridi rifrazione/riflessione). Su alcuni campioni di roccia prelevati nel corso dei sondaggi a carotaggio si sono altresì effettuate prove di laboratorio geomeccanico. La disposizione planimetrica degli accertamenti citati è riportata oltre che negli elaborati resi dalle entità operanti le indagini stesse (Promogeo srl per i sondaggi a carotaggio e Sgg srl per le prospezioni sismiche) riportati in allegato nella Relazione sulle Indagini Geognostiche e Geofisiche, anche nella Carta Geologica. La denominazione dei carotaggi è stata di S1, S2 presso l'imbocco in progetto lato Noli e S3, S4 presso l'imbocco lato Finale. I primi tre fori hanno avuto sviluppo orizzontale (S1 e S2 pari a 25 m e S3 pari a 50 m) mentre S4 è stato realizzato con inclinazione pari a 45°.

Sono stati quindi complessivamente effettuati:

- n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n. 12 prove di permeabilità Lugeon;
- n. 24 prelievi di campioni di roccia su cui sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:
  - n. 3 prove di taglio su giunto,
  - n. 6 prove di compressione monoassiale strumentate,
  - n. 8 misure del peso dell'unità di volume,
  - n. 2 prove di compressione triassiale in cella di Hoek,
  - n. 6 misure della velocità sonica;
- n.5 prospezioni sismiche a rifrazione con elaborazione tomografica (delle quali 4 ovvero P5,P6,P7 e P8 sul lato Noli superiormente all'imbocco e P9 alla base dell'imbocco lato Finale) per un totale di circa 600 ml e n.4 prospezioni ibride (P1 , P2, P3 e P4 disposte a raggiera lungo l'asse della galleria) per un totale di circa 1420 ml.

Ulteriori prospezioni sismiche a rifrazione e con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono state operate, come indagini di seconda fase (2011), sul lato Noli in corrispondenza delle opere d'arte accessorie. Tali prospezioni sismiche , definite PS1 e PS2, hanno avuto lo scopo di definire la potenza dei depositi sciolti granulari di spiaggia sovrapposti al puntuale bedrock.

Le prove MASW hanno permesso di determinare il valore del richiesto parametro Vs30 (D.M. 14.01.08).

Di seguito compendiamo gli aspetti salienti del complesso dei risultati ottenuti nell'ottica della interpretazione geologica proposta nell'elaborato denominato "Profilo Geologico Interpretativo" disposto lungo l'asse della

galleria in progetto e del cunicolo.

Evidentemente le informazioni con maggiore valenza areale sono quelle desumibili dal complesso delle indagini sismiche che, per loro natura. forniscono essenzialmente informazioni di particolare interesse nell'interpretazione tettonica strutturale profonda e (di minor interesse nel nostro caso) anche a riguardo (la sismica a rifrazione) dello sviluppo verticale delle coperture superficiali.

Il complesso delle risultanze sismiche ha messo in luce, lungo l'asse, la presenza di una sequenza di strutture fragili con variabile angolo di inclinazione che bene si accordano con l'interpretazione tettonico-strutturale riportata in letteratura e riassunta nella presente relazione al capitolo 4. In particolare l'interpretazione dei profili a riflessione P1 e P2 (così come da relazione SGG srl) hanno costituito la base di partenza per la comprensione del globale set di dati emergenti dalle prospezioni a riflessione nel loro complesso. La P3 e la P4, inoltre, hanno permesso di confermare e supportare (in particolare la elaborazione con il metodo tomografico della rifrazione) l'interpretazione preliminare della presenza di scaglie quarzitiche cataclasate imbricate sui fronti di sovrascorrimento. Le prospezioni fra loro subparallele P5, P6, P7 e P8 hanno inoltre permesso di controllare lo stato del versante sul lato Noli che presentava caratteristiche geomorfologiche più articolate in relazione alla verificata esistenza di livelli superficiali di brecce dolomitiche più o meno cementate e di depositi colluviali sviluppati. Le perforazioni a carotaggio sugli imbocchi, oltre a permettere un diretto confronto litostratigrafico tra i termini dolomitici (elemento di Bric dei Monti – Manie) e calcarei (Bric Briga), hanno visto l'effettuazione delle 12 prove Lugeon di grande utilità nella stima preliminare dei valori di conducibilità idraulica pertinenti ai due elementi tettonici citati. Evidentemente l'utilità geomeccanica deriva dal controllo del classico parametro RQD (Rock Qualità Designation) che diversifica significativamente i termini dolomitici (decisamente più fratturati con valorizzazioni di RQD estremamente variabili e disposti secondo intervalli dallo 0 – 10 % sino a oltre il 70 %) e quelli francamente calcarei con valorizzazioni medie elevate o molto elevate (mediamente > 60 % - 70 %). Tipicamente le risultanze stratigrafiche delle perforazioni hanno permesso di confermare la maggiore variabilità litostratigrafia insita ai termini dolomitici (con livelli brecciati, fratture con riempimenti, superfici di discontinuità dotate di maggiore scabrezza etc) e una maggiore uniformità dei termini calcarei sul lato Finale. Per quanto concerne le singole valorizzazioni sia dei test Lugeon operati in foro sia di tutti i parametri relativi alle diverse verifiche operate in laboratorio geomeccanico si rimanda agli specifici elaborati Promogeo srl. L'interpretazione geotecnica e geomeccanica delle evidenze geognostiche e geomeccaniche di laboratorio è riferita ed utilizzata nella relazione geotecnica di progetto.

Per quanto concerne le risultanze delle indagini sismiche di seconda fase sul lato Noli andiamo ad evidenziare quanto di seguito :

- PS1 e PS2 hanno visto uno sviluppo rispettivo di 72 e 96 m e parallelamente ad entrambi i profili sono stati eseguiti i due tests in configurazione MASW;
- l'analisi tomografica eseguita permette di ipotizzare in entrambi i profili sismici la presenza del substrato roccioso a profondità comprese tra 6 – 7 m da p.c. sino ad un massimo di 12 – 13 m da p.c sottoposto ad una copertura sciolta di depositi marini attuali precipuamente granulari grossolani;
- si ritiene che le velocità di riferimento delle onde di compressione riconducibili alla fascia di maggiore fratturazione superficiale del bedrock sia quella compresa nell'intervallo 2400 - 2600 m/s mentre gli orizzonti sismici dotati di valori > 3000 m/s sono del tutto riconducibili a livelli massivi poco fratturati;
- il valore di Vs30 ottenuto pari a 429 m/s (shear waves) inserisce il profilo stratigrafico di riferimento nella categoria B di legge.

7 ASPETTI GEOSTRUTTURALI DI INTERESSE GEOMECCANICO

Al fine di supportare la caratterizzazione geomeccanica (di cui alla relazione geotecnica) si sono operate sei stazioni di rilevamento geomeccanico –geostrutturale sia sul lato Finale che sul lato Noli, nelle posizioni riportate in planimetria.

Tali punti di rilevamentosono state numerosi e concentrati in spazi di ordine decametrico, vista la limitata estensione areale delle zone di imbocco. Rimandando alla letteratura per la descrizione delle modalità tradizionali di restituzione grafica degli assetti geostrutturali-geomeccanici (stereonets) di seguito veniamo ad esporne alcuni relativi sia al lato Finale che al lato Noli. Si consideri come mediamente le famiglie di discontinuità principali siano 3 (tre) su entrambe le zone di imbocco. In particolare sul lato Noli, ove la complicazione tettonica è maggiore, si rammenta che il bedding viene rappresentato in quanto costituente una famiglia di discontinuità a sé stante. Sul lato Finale la stratificazione principale non appare rappresentare una famiglia di discontinuità geomeccanicamente significativa (ovviamente solo in relazione alla direzione assiale della galleria e unicamente in corrispondenza dell'imbocco).

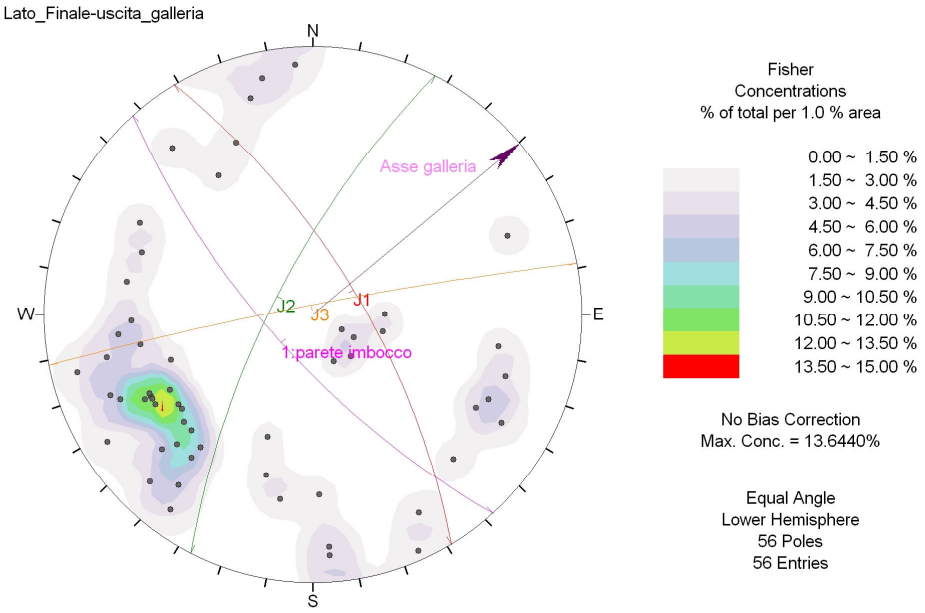


Fig 12: Stereonet dei joints misurati in prossimità dell'imbocco galleria lato Finale - In linea di massima si possono distinguere tre famiglie

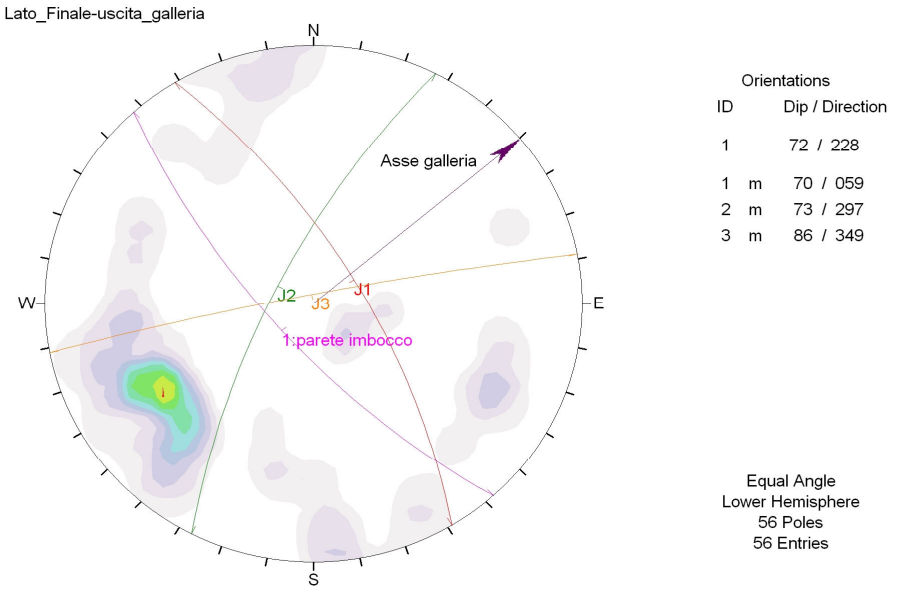


Fig 13: Stereonet dei joints misurati in prossimità dell'imbocco galleria lato Finale.

Sono rappresentate le giaciture medie dei tre set individuati.

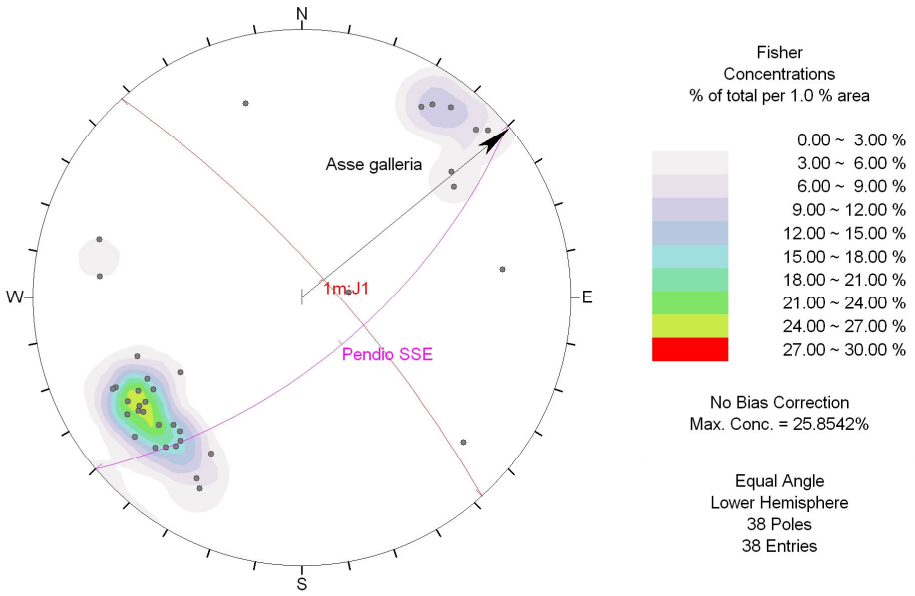


Fig 14: Stereonet dei joints misurati in prossimità della parete SSE.

La giacitura principale è la J1, con inclinazione media di 78°e immersione 48° Il pendio ha una giacitura 64°/140°

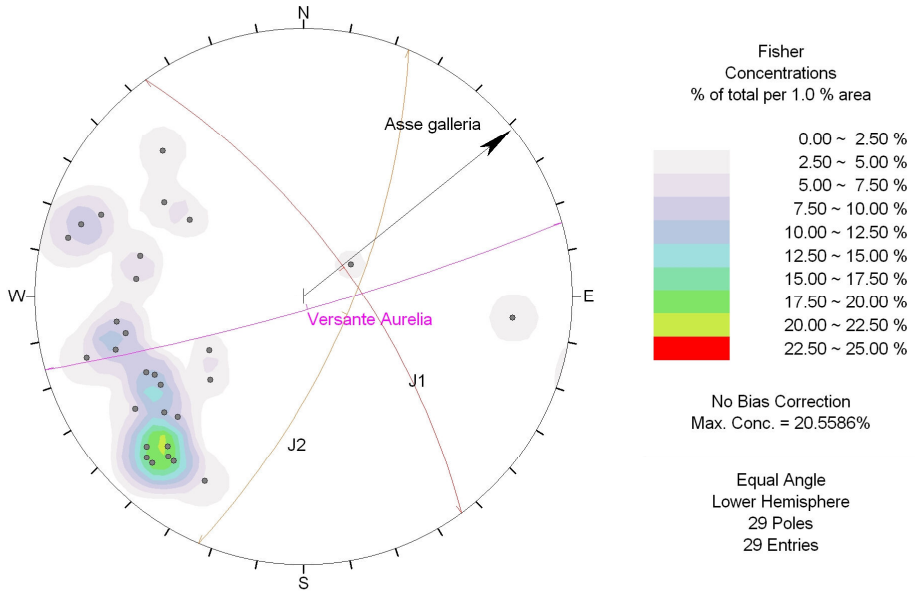


Fig .15: Stereonet dei joints misurati lungo la parete esposta immediatamente a Est dell'imbocco, direttamente sulla Via Aurelia L'inclinazione media della J1 è 59° ° e immersione 54. Il set J2 ha inclinazione media 70° e immersione 113°

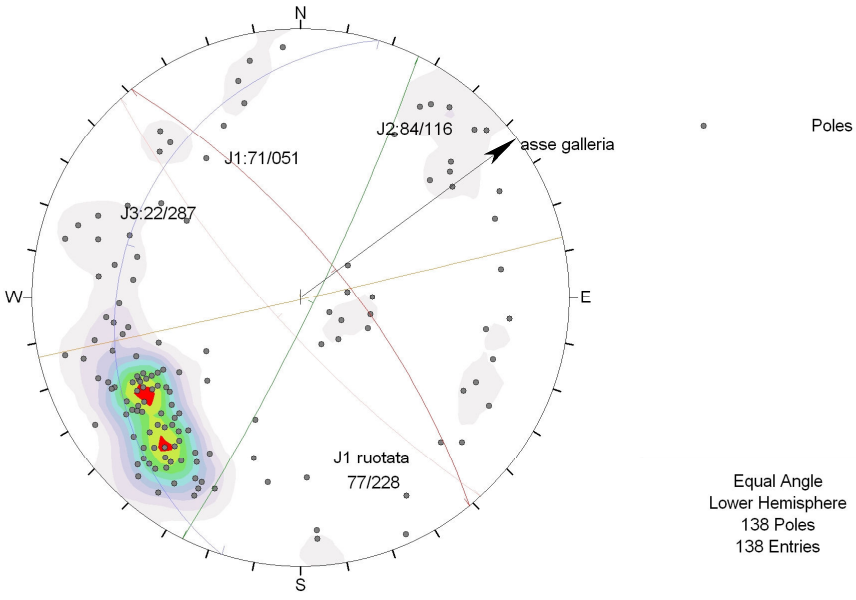


Fig. 16 Rappresentazione di tutti i joints su lato Finale

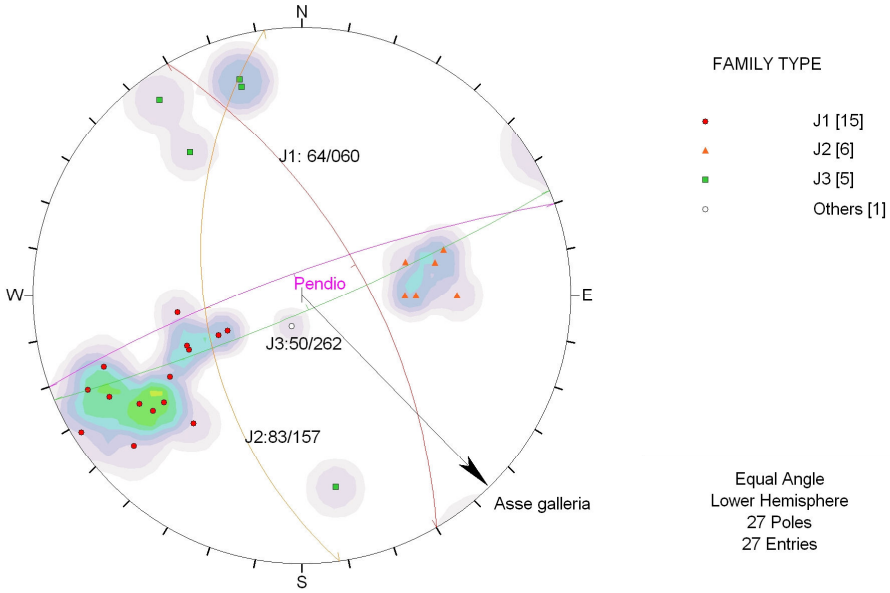


Fig. 17 Stereonet dei joints misurati in prossimità dell'imbocco galleria lato Noli. In linea di massima si possono distinguere tre famiglie, anche se quella più significativa, da un punto di vista statistico, e' rappresentata dalla J1. Sono state evidenziate le tracce ciclografiche dei piani rappresentativi delle tre famiglie medesime

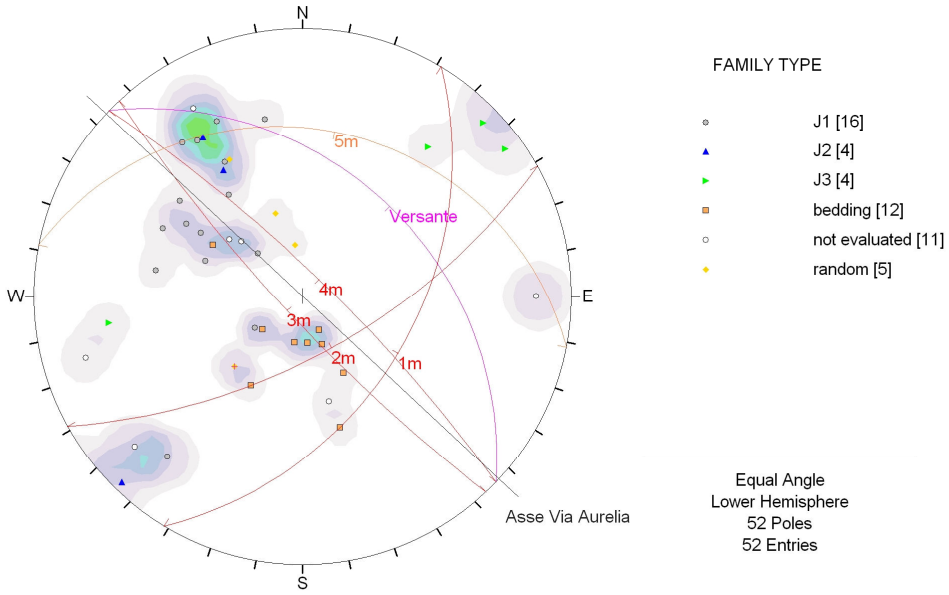


Fig.18 Stereonet dei joints misurati in prossimità della strada Aurelia di fronte ad Hotel Capo Noli. Sono evidenziati altresì i piani rappresentativi delle famiglie di giunti. I piani rappresentativi denominati in figura come 4m e 3m possono ragionevolmente essere attribuiti alla stessa famiglia. Il 5m rappresenta i piani di strato.

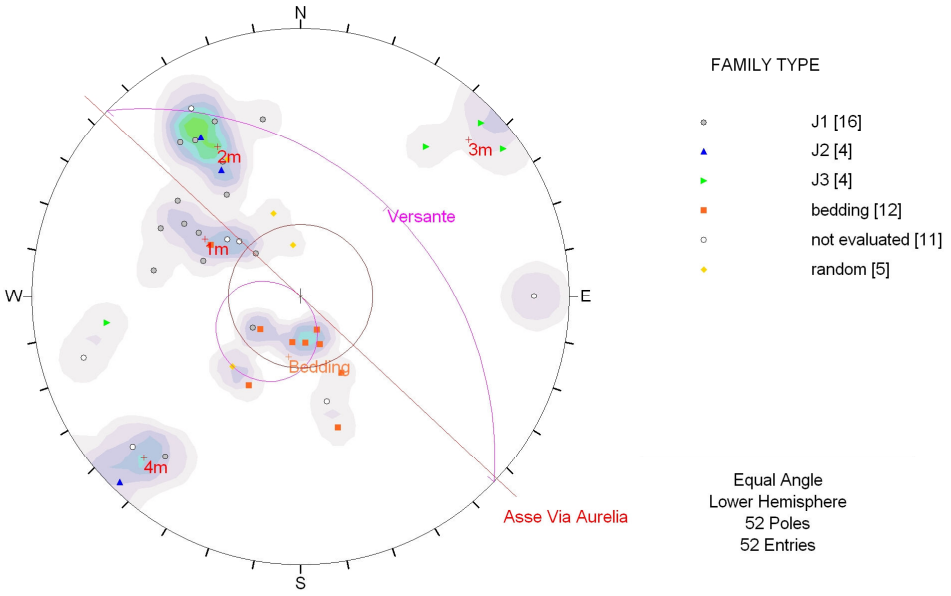


Fig. 19 Analisi qualitativa di massima del cinematismo di collasso per scivolamento lungo il versante. E' stato ipotizzato un angolo di attrito di 30° (base) . il cerchio piu' piccolo rappresenta il "daylight envelope" del versante dove ricadono i poli potenzialmente instabili. L'intersezione tra i due cerchi centrali a differente diametro indica l'area in cui si hanno potenziali scivolamenti.

L'area di riferimento è quella interessata dalla prevista demolizione del contrafforte sull'Aurelia sul lato Noli caratterizzata da forte condizionamento tettonico (intenso ripiegamento)

8 CONCLUSIONI

A conclusione della presente relazione si riassumono gli aspetti geologicamente ritenuti di maggiore interesse progettuale emersi nel corso delle analisi effettuate e che rappresentano tipicamente argomenti di rilevante delicatezza geotecnica, geomeccanica ed idrogeologica.

Come ampiamente discusso nei precedenti capitoli l'assetto stratigrafico – tettonico – strutturale – geomorfologico di Capo Noli è caratterizzato da una forte complessità.

L'integrazione reciproca delle risultanze delle differenti fasi di indagine ed accertamento svolte (rilevamento di superficie e indagini geognostiche, geofisiche) ha permesso di definire un quadro di attendibile contestualizzazione geologica, strutturale e tettonica di tutto l'areale coinvolto.

L'accavallamento dell'elemento strutturale di Bric dei Monti – Manie sull'elemento calcareo di Bric Briga rappresenta la chiave di lettura complessiva dell'assetto strutturale relativamente alla porzione di galleria in progetto nel settore verso Finale mentre l'associazione di faglie nord vergenti – ad inclinazione variabile – di origine neotettonica a carattere diretto e la complicazione tettonica determinata dall'incontro con i terreni quarzitici rappresenta il tema saliente sul lato Noli.

Lo stile tettonico fragile (o fragile-duttile) presente nel contesto generale descritto individua nella presenza di bande di taglio di estensione variabile (ma di ordine presumibilmente decametrico) uno degli argomenti di interesse geomeccanico ed idrogeologico principali.

Come già segnalato, infatti, il concomitante effetto dell'azione carsica in fasce cataclastiche o milonitiche più o meno estese può causare problematiche esecutive importanti.

L'embriciamento ipotizzato delle scaglie quarzitiche "catturate" nell'edificio tettonico complessivo complica ulteriormente il quadro.

In tal senso, nel profilo geologico, si consideri come la posizione reciproca di tali scaglie risulta indicativa e derivata da valutazioni interpretative dettate dai risultati sismici.

Ad oggi, peraltro, appare ragionevole ipotizzare che i livelli quarzitici non interessino potenzialmente l'opera in progetto in virtù della loro probabile posizione geometrica e topografica.

Argomento di ulteriore interesse è rappresentato dalla stabilità dei versanti sia sul lato Noli che sul lato Finale se pur con intensità e caratteri assolutamente differenziati.

Sul lato Noli la presenza di un assetto geomeccanico – geostrutturale favorevole in corrispondenza della porzione

di contrafforte oggetto di sbancamento ha condizionato le scelte progettuali relative alle opere di contenimento, si evidenzia, tuttavia, che a monte di tali elementi le condizioni geomorfologiche non evidenziano potenziali instabilità dei versanti (di acclività molto ridotta rispetto al tratto terminale del contrafforte) coinvolgenti le ridotte coperture detritiche locali ed il generale assetto geomeccanico.

Sul lato Finale le condizioni di falesia ad elevato sviluppo in altezza, le potenziali condizioni evolutive della stessa (unitamente all'assetto geostrutturale) hanno condizionato la scelta del tracciato ed in particolare il posizionamento dell'imbocco lato Finale.

La scelta progettuale operata nel posizionamento dell'imbocco è il frutto di un'operazione volta a minimizzare le interferenze con le potenziali criticità riscontrabili, con particolare riferimento alla presenza, in località Le Cave, della citata falesia e della sua ipotetica evoluzione, e con le condizioni della copertura. La localizzazione delle opere di imbocco, pertanto, è il risultato dell'ottimizzazione della geometria dell'asse in relazione al contesto geomorfologico e geomeccanico esistente, operata alla luce dei caratteri di qualità geomeccanica dell'ammasso. La posizione dell'imbocco è perciò ritenuta senz'altro non interferente con la situazione di potenziale precaria stabilità rinvenuta sul fianco nordorientale dell'anfiteatro della zona Le Cave e non direttamente interessata dai potenziali fenomeni gravitativi a questa connessi.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV "Alpi Liguri" – Guide Geologiche Regionali - Ed.BEMA – 1992

AA.VV Carta Geologica d'Italia 1/100.000 Fg "Albenga – Savona"

AA. VV Carta geologica con elementi di geomorfologia – Regione Liguria 1/25000 "Vado – Finale Ligure" 1995

Biancotti A. et al.. Carta geomorfologica dell'altopiano delle Manie e dei bacini idrografici limitrofi Università di Torino – Università di Genova 1990

Pilla G. & Seno S. " Senso di taglio, direzione di trasporto, mesostrutture nello sviluppo di alcuni sovrascorrimenti brianzonesi (Finalese – Alpi Liguri)" Atti ticinesi di Scienze della Terra – 1987

Vanossi M. "Contributi alla conoscenza delle unità stratigrafico strutturali del Brianzonese ligure s.l." Mem.Soc.Geol. 1971