COMUNE DI BOGLIASCO
PROVINCIA DI GENOVA

ANALISI DELLA COSTA DEL COMUNE DI BOGLIASCO CON INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITA' E PROPOSTE DI INTERVENTO PER LA SUA RIQUALIFICAZIONE/PROTEZIONE

INTERVENTO IN LOCALITA' SOTTOCHIESA

RELAZIONE GEOLOGICA

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Data
0	Rapporto conclusivo	GC	AR	12/10/21

Firmato digitalmente da
GIACOMO CANEPA
CN = CANEPA GIACOMO
O = Ordine Regionale Geologi Liguria
C = IT

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA Tecnica e Ambientale
Via Nino Bixio 22D/4 - 16043 Chiavari (GE)
tel./fax 0185/313910 - e-mail: geotecam@libero.it
ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE - P.IVA n. 01046100994

ELENCO ALLEGATI

Figura n°	Oggetto
1	Inquadramento cartografico
2A,2B,2C	Estratti cartografici P.d.B.
3	Carta geologica-geomorfologica
4	Planimetria dell'area e sezione stratigrafica interpretativa
Tabella n°	**Oggetto**
1	Classificazione degli ammassi rocciosi (Bieniawski 1989)
2	Valori G.S.I. Per formazioni tipo Flysch
3	Inviluppo a rotture del giunto caratteristico
4A	Stazione geomeccanica Bettolo 2
4B	Stazione geomeccanica Pontetto

SOMMARIO

0. PREMESSE pag. 2
1. RIFERIMENTI NORMATIVI pag. 2
2. SINTESI DEI DATI METEOMARINI pag. 3
2.1. DATI ANEMOMETRICI pag. 3
2.2. CARATTERIZZAZIONE DELLE ONDAZIONI pag. 4
3. DINAMICA DEI PROCESSI COSTIERI pag. 6
3.1. EVOLUZIONE STORICA DEL LITORALE IN COSTA BASSA pag. 6
3.2. TENDENZAEVOLUTIVA DEL LITORALE IN COSTA ALTA pag. 7
4. RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO pag. 7
4.1. CARATTERISTICHE GEOLOLITOLOGICHE pag. 7
4.2. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE pag. 9
4.3. ASSETTO IDROGRAFICO E PROFILO IDROGEOLOGICO pag.10
5. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEI SETTORI DI INTERVENTO pag.12
5.1. SETTORE CHIESA PARROCCHIALE – MOLO SBOLGI pag.12
5.2. SETTORE MOLO SBOLGI – MOLO DI LEVANTE pag.18
5.3. SETTORE MOLO DI LEVANTE – FONTANA pag.20
5.4. SETTORE DI LEVANTE LOCALITA' PONTETTO pag.24
6. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA AMMASSO ROCCIOSO pag.26
6.1. RILIEVO GEOMECCANICO pag.26
6.2. PARAMETRI GEOMECCANICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO pag.31
7. INTERVENTI DI DIFESA DEL LITORALE IN LOCALITA' SOTTOCHIESA pag.32
7.1. MORFOLOGIA DEI FONDALI pag.32
7.2. ANALISI SEDIMENTOLOGICA pag.33
7.3. LINEAMENTI PROGETTUALI pag.33
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE pag.36
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI pag.38

ELENCO ALLEGATI

Figura n°	**Oggetto**
1	Inquadramento cartografico
2A,2B,2C	Estratti cartografici P.d.B.
3	Carta geologica-geomorfologica
4	Planimetria dell'area e Sezione stratigrafica interpretativa
Tabella n°	**Oggetto**
1	Classificazione degli ammassi rocciosi (Bieniawski 1989)
2	Valori G.S.I. Per formazioni tipo Flysch
3	Inviluppo a rotture del giunto caratteristico
4A	Stazione geomeccanica Bettolo 2
4B	Stazione geomeccanica Pontetto

0. PREMESSE

Su incarico del Comune di Bogliasco con determina di Registro Generale n. 158 del 05.05.2021 sono state condotte le indagini geologiche lungo un tratto di costa compreso fra la chiesa parrocchiale di Bogliasco e la località Pontetto.

Gli interventi in progetto sono stati preceduti da numerose ricognizioni esperite in sito e dall'esame della documentazione agli atti relativa al tratto di litorale in oggetto.

Gli accertamenti eseguiti si sono resi necessari al fine di verificare le condizioni di stabilità di alcuni tratti di parete rocciosa lungo costa, soggetti a fenomeni di abrasione marina, e le dinamiche relative ad alcune spiagge distribuite in varie insenature che si alternano alle falesie, in corrispondenza delle quali sono in atto da tempo fenomeni erosivi.

Molte pareti rocciose che orlano le spiagge hanno manifestato ripetutamente nel tempo problematiche di instabilità e sono già state oggetto di interventi di consolidamento mediante il rivestimento con reti paramassi, rese aderenti alle pendici rocciose attraverso chiodature di ancoraggio.

Nel presente rapporto tecnico vengono approfonditi gli aspetti progettuali relativi alla Località "*Sottochiesa*" le cui criticità sono state individuate nelle schede tecniche dello studio di prefattibilità.

In considerazione dell'incidenza delle opere a progetto sul terreno e delle condizioni generali della zona, le metodologie d'indagine adottate hanno previsto, nell'ordine:

- ricognizione preliminare necessaria per prendere visione dello stato dei luoghi e raccogliere tutta la documentazione occorrente;
- ricerca bibliografica e consultazione di rilevamenti geologici e di risultati di studi di carattere generale effettuati nel tratto di costa in oggetto: è fatto riferimento in particolare al progetto di "*Interventi di difesa della costa e di riqualificazione ambientale e paesaggistica della fascia costiera in Comune di Bogliasco*" a cura della Regione Liguria ed all'*Analisi sedimentologica* redatta dalla Società Cooperativa Geoscape - Spin Off dell'Università di Genova;
- esame di dettaglio della parete rocciosa al fine di predisporre la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso;
- rielaborazione di quanto emerso dalle indagini e redazione della presente relazione geologica con indicazioni operative.

1. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le presenti indagini sono condotte in conformità a quanto previsto dalle normative vigenti in materia ed in particolare al D.M. Infrastrutture 17.01.2018 "*Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*" e circolare C.S.LL.PP. n. 7 del 21.01.2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018".

Nel presente paragrafo viene riportata la classificazione dell'area d'intervento in rapporto agli strumenti di pianificazione vigenti alla scala di bacino.

Per quanto attiene al Piano di Bacino per la tutela del rischio idrogeologico Ambito 14, redatto ai sensi del comma 1 art.1 del D.L. 11.06.1998 n.180, convertito in legge 03.08.1998 n. 267 e s.m.i., ed approvato con D.C.P. n. 66 del 12/12/2002, si evidenzia quanto segue:

- nella porzione di territorio di riferimento la carta del reticolo idrografico riporta tra i corsi d'acqua del reticolo ufficiale solamente il Rio Poggio, che alimenta la spiaggia centrale; il Fosso Favaro che scorre a levante della scogliera di Pontetto e che segna il confine fra i comuni di Bogliasco e Pieve Ligure risulta esterno al piano degli interventi (Figura 2C);
- la carta della franosità non evidenzia alcun indizio di instabilità lineare o areale;
- la carta della suscettività al dissesto classifica la parte preponderante del territorio in oggetto nelle zone Pg1 e Pg0 ovvero con suscettività al dissesto bassa e molto bassa fatta eccezione per 2 tratti di falesia in località Risseu e Pontetto che sono classificate con suscettività al dissesto media (Pg2); l'area in località Sottochiesa è classificata in Pg1 (Figura 2A);
- la carta del rischio geomorfologico indica che gran parte del territorio è classificato come R1 (Rischio moderato) e, subordinatamente, R0 (Rischio lieve o trascurabile), fatta eccezione per le due piccole aree del Risseu e di Pontetto classificate R2 (Rischio medio); l'area in località Sottochiesa è classificata in R1 rischio moderato (Figura 2B);
- l'asse terminale del Rio Poggio fatta eccezione per il tratto di alveo compreso fra lo sbocco della tombinatura e la foce, è classificato in Fascia A, con presenza di un manufatto (Ponte Romano) non verificato per piene con tempo di ritorno T = 50 anni.

In base all'ultima variante al P.d.B. ambito 14 approvata con D.G.R. n.329 del 19.01.2016, tutta la fascia costiera non è sottoposta a vincolo idrogeologico ai sensi del Regio Decreto n. 3267/1923 e delle LL.RR. n. 22/84 e n. 4/99, circolare R.L. n. 57382/91.

2. SINTESI DEI DATI METEOMARINI

2.1. DATI ANEMOMETRICI

Il tratto di litorale in oggetto presenta una linea di esposizione principale verso SSW con locali variazioni dovute alla morfologia variegata della costa alta, dove si alternano punte protese verso il mare con anfratti e insenature.

I limiti del settore di traversia del paraggio di Bogliasco sono compresi fra le direzioni ESE ed WSW.

I venti con direzione di provenienza al di fuori di tale settore non sono in grado di provocare ondazioni che influenzino la fascia litoranea di Bogliasco.

Sulla base dei dati raccolti si osserva che la frequenza percentuale dei venti in grado di causare ondazioni (> 1 nodo) sia del 26%, con massimo nella stagione primaverile e minimo in estate.

Su base annua i venti più frequenti sono provenienti dal terzo quadrante (SE e SSE): tuttavia la distribuzione è abbastanza uniforme su tutto il settore di traversia, con due picchi di maggiore frequenza intorno alle direzioni SE-SSE (10%) e SW-SSW (9%).

Per quanto riguarda i venti più intensi (>28 nodi) si evidenzia lo stesso andamento della situazione complessiva, anche se i venti più frequenti sono quelli da SW-SSW.

2.2 CARATTERIZZAZIONE DELLE ONDAZIONI

La traversia geografica di un paraggio costiero è definita come la porzione di mare dalla quale può potenzialmente giungere il moto ondoso al paraggio. La traversia è spesso divisa in due settori (principale e secondario) in funzione delle lunghezze delle aree potenzialmente soggette all'azione diretta del vento. Tali lunghezze (fetch geografici) sono definite traguardando la costa limitrofa lungo la direzione di provenienza del vento. Invece il fetch efficace è definito come la porzione di mare che, sotto l'azione diretta del vento, costituisce l'area di generazione dell'evento di moto ondoso.

Nell'area in esame il settore di traversia è compreso tra 150° e 230°, quindi i venti che interessano la zona e concorrono a formare il moto ondoso che interessa le falesie sono lo Scirocco da SE (150°-170°), il mezzogiorno da S (170°-190°) ed il Libeccio da SW (190°-230°). Il Libeccio presenta il fetch geografico più lungo e quindi determina le onde più alte e con maggiore energia; lo Scirocco soffia per periodi significativi nel corso dell'anno, per cui si possono avere eventi di mareggiata non trascurabili; il Mezzogiorno risulta il meno influente per la presenza della Corsica.

In generale, infatti, in Liguria, le grandi mareggiate si possono verificare in presenza di tre configurazioni legate ai venti più intensi: Libeccio Lungo, Libeccio Corto e Scirocco-Mezzogiorno (Gallino et al., 2012). La configurazione di Libeccio Lungo presenta la massima estensione del fetch dalle coste dell'Algeria fino al Mar di Corsica settentrionale e il moto ondoso che ne deriva determina uno stato del mare da agitato a grosso. Nel Libeccio Corto si origina il fetch tra il Mar di Corsica e il Mar Ligure, spesso con prevalenza di mare vivo, che può portare ad un moto ondoso di stato da agitato a molto agitato. La configurazione di Scirocco-Mezzogiorno ha il fetch a W dell'asse corso-sardo che si sviluppa dal canale di Sardegna al Mar Ligure, mentre a E di tale asse si estende dal medio-alto Tirreno al Mar Ligure, con limitazioni geografiche determinate dall'Isola d'Elba, dal Canale di Piombino e dal restringimento tra Elba e Corsica; per tale ragione il moto ondoso raggiunge al massimo lo stato agitato.

Le frequenze percentuali delle ondazioni che interessano il paraggio di riferimento sono state desunte da osservazioni effettuante nel corso di vari studi in un periodo di circa 20 anni. Nel presente paragrafo si riporta la sintesi dei dati bibliografici raccolti.

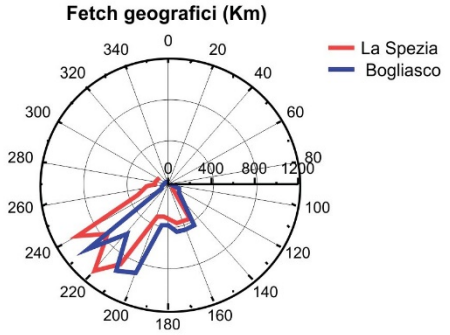
Per le ondazioni maggiori si possono sintetizzare i seguenti dati:

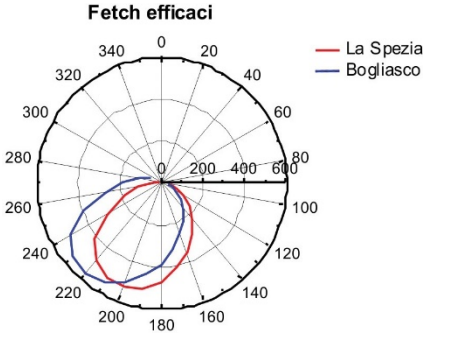
Direzione di provenienza	Frequenze percentuali
SE	50,0%
S	28,5%
SW	21,5%

Tabella 1 – Frequenze percentuali delle ondazioni

Tabella 2 - Fetch geografici, Fetch efficaci di La Spezia e Bogliasco e parametri dell'onda per Libeccio e Scirocco.

Bogliasco	gradi	Fetch geografico (km)	Fetch efficace (km)
Scirocco (150°-170°)	150	458	291
	160	458	354
	170	458	415
Mezzogiorno (170°-190)	180	398	479
	190	398	513
Libeccio (190°-230°)	200	915	532
	210	969	525
	220	617	487
	230	974	417
La Spezia	**gradi**	**Fetch geografico (km)**	**Fetch efficace (km)**
Scirocco (150°-170°)	150	390	213
	160	390	265
	170	390	325
Mezzogiorno (170°-190)	180	330	388
	190	330	445
Libeccio (190°-240°)	200	330	502
	210	902	547
	220	1078	569
	230	745	554
	240	985	502





settore	Libeccio (190°-240°)		Scirocco (150°-170°)	
Altezza d' onda max (m)	6,20		5,37	
Altezza d' onda media (m)	2,88		2,93	
Periodo di ritorno (anni)	Altezza d' onda spettrale (m)	Periodo di picco (s)	Altezza d' onda spettrale (m)	Periodo di picco (s)
2	4,9	10	3,3	8
5	5,4	11	4,0	9
10	5,9	11	4,5	10
20	6,3	11	5,0	10
25	6,4	11	5,2	10
50	6,9	12	5,7	11
100	7,3	12	6,2	11

Con mare forza 5-8 sono notevolmente più frequenti le ondazioni da SE rispetto a quelle da S e SW e si manifestano nel corso di tutto l'anno.

Relativamente ai fetch effettivi, quelli di maggiore estensione risultano essere nella direzione SSW (direzione 190° fetch pari a 636,3 Km).

Dall'esame dei dati relativi alle altezze d'onda risulta come in assoluto le massime ondazioni provengano da SSW (H > 4,3 m) seguite da quelle da SW (H > 4,1m)

Occorre sottolineare che l'altezza delle onde e le direzioni di provenienza non tengono conto dell'influenza del fondo marino (rifrazione) per cui sono da considerarsi come ondazioni presenti genericamente al largo prima che il fenomeno della diffrazione intervenga a modificarne l'altezza e la direzione, condizionando i flussi sedimentari conseguenti

In termini stagionali nel paraggio di Bogliasco il regime delle ondazioni è caratterizzato da un leggero predominio delle direzioni da SE e SSE durante l'inverno, la primavera e l'autunno mentre in estate si instaura il predominio delle direzioni da SW che determina le massime ondazioni.

3. DINAMICA DEI PROCESSI COSTIERI

Il presente capitolo fa ampio riferimento, come indicato in premessa, alla Relazione geologica e sedimentologica redatta dal Dott. Geol. Carlo Cavallo nel contesto degli studi finalizzati alla progettazione di "*Interventi di difesa della costa e di riqualificazione ambientale e paesaggistica della fascia costiera in comune di Bogliasco*" (Regione Liguria)

3.1. EVOLUZIONE STORICA DEL LITORALE NEI SETTORI DI COSTA BASSA

Le spiagge del Comune di Bogliasco presentano una storia evolutiva legata per gran parte alle attività antropiche succedutesi nella fascia costiera.

L'apporto di materiale sedimentario di origine naturale alla spiaggia centrale ad opera del T. Poggio risulta in genere piuttosto modesto.

Per contro le fasi di ripascimento delle spiagge attraverso ricariche con materiali di natura antropica hanno condotto nel tempo ad un deciso avanzamento della linea di riva.

A partire da primi anni dell'800 sono stati effettuati cospicui versamenti con materiali di riporto che hanno generato spiagge talora molto ampie, che sono state erose negli anni successivi ai versamenti; in particolare si possono evidenziare alcuni contributi significativi:

- costruzione della via "Napoleonica" (1817);
- primo tronco della linea ferroviaria Genova-La Spezia (1860-1865);
- smarino delle gallerie del raddoppio ferroviario (1914-1916);
- macerie del ponte ferroviario e dei bombardamenti (1946);
- costruzione autostrada Genova -Sestri Levante (1958-1962).

I fenomeni erosivi che hanno ridotto la consistenza dell'arenile sono stati generati da grandi mareggiate: il progressivo smantellamento delle spiagge si è verificato con la massima intensità negli ultimi anni del 1800 e nel decennio compreso fra il 1916 e il 1926.

A partire dai primi anni '70 i versamenti a mare sono stati esauriti e le spiagge hanno ripreso il loro naturale trend erosivo.

I materiali versati nel tempo hanno contribuito all'innalzamento medio del fondale concorrendo a ridurre l'energia del moto ondoso incidente e limitando quindi il tasso di erosione del litorale.

Attraverso il confronto fra i rilievi batimetrici del 1885 e del 1980, a versamenti terminati, è emersa la formazione di una vasta area di innalzamento fino a 4 m dei fondali situati davanti alla baia intorno alle attuali batimetriche dei 5-10 m, a testimonianza del fatto che gran parte dei volumi versati a mare nel periodo di riferimento si sia accumulato in un'ampia zona situata grosso modo davanti al pennello di levante della baia, per effetto delle ondazioni dominanti provenienti da libeccio.

Dopo la fine dei grandi versamenti il confronto fra i rilievi batimetrici del 1980 e del 2004 indica all'interno della baia centrale un innalzamento dei fondali nel settore di ponente dovuto alla schermatura del molo, prolungato alla fine degli anni '70, ed alla direzione della deriva litoranea verso W, mentre nel settore di levante si evidenzia un abbassamento generalizzato, dovuto alla mancanza di

apporti ed all'asportazione dei sedimenti che presentano una direzione del flusso sedimentario verso l'esterno e si accumulano in una zona compresa grosso modo tra le batimetriche dei –6 e –8 m.

3.2 TENDENZA EVOLUTIVA DEL LITORALE NEI SETTORI DI COSTA ALTA

Nei tratti di costa alta è in atto la dinamica evolutiva delle falesie attive, con fenomeni locali di crollo a seguito delle sollecitazioni indotte dal moto ondoso.

L'azione del moto ondoso agente alla base delle falesie dipende dall'energia che l'onda scarica sulla parete rocciosa, determinata a sua volta dalla direzione di provenienza del moto ondoso, dalle caratteristiche delle onde e dalla profondità del fondale; a tali fattori occorre aggiungere l'esposizione e l'inclinazione rispetto all'orizzontale della parete rocciosa.

L'arretramento della falesia si verifica quando la forza agente del moto ondoso è superiore alla resistenza della roccia; al contrario, se l'energia del moto ondoso è inferiore alla resistenza della roccia si determina l'alterazione della falesia ad opera degli agenti subaerei, quali pioggia, vento, aerosol salato, aloclastismo e termoclastismo (Sunamura, 1992).

L'intero tratto di costa alta del paraggio è disseminato di elementi a rischio, generalmente abitazioni private, che insistono sul ciglio della falesia e sovente sono collegate al mare attraverso percorsi aerei direttamente sulla falesia

4. RICOSTRUZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO

In ottemperanza a quanto indicato dalle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni, nei paragrafi successivi è esposta la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito, che consiste nella ricostruzione delle peculiarità litologiche, stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche, geomorfologiche e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, in accordo con quanto evidenziato negli elaborati tematici consultati a livello di bacino e a scala comunale.

Al fine di pervenire agli obbiettivi richiesti, lo studio è stato organizzato in una prima fase in cui sono state condotte osservazioni di superficie nell'intorno del sito in esame, indirizzate alla ricostruzione dei caratteri geologico-geomorfologici, idrogeologici nell'intorno d'interesse.

Successivamente è stato effettuato, attraverso misure in parete il rilievo geomeccanico di dettaglio, finalizzato alla definizione dell'assetto strutturale dell'ammasso roccioso e alla individuazione delle principali superfici di discontinuità.

Sono di seguito riassunte tutte le risultanze conseguenti.

4.1 CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE

L'area oggetto d'intervento è individuabile nella Carta Tecnica Regionale elemento n. 231011 *"Bogliasco"* (Figura 1).

Per la definizione delle caratteristiche litologiche del basamento roccioso è stato fatto riferimento alla cartografia ufficiale (Servizio Geologico Italiano, 1968; Regione Liguria, 2006): la

letteratura ufficiale indica che il basamento roccioso è rappresentato da litotipi appartenenti alla Formazione dei Calcari di Monte Antola (Figura 3).

Le caratteristiche di tale ammasso roccioso sono quelle tipiche di un flysch ad helmintoidi, contraddistinto da strati, da sottili a spessi, di calcari marnosi, calcareniti, marne, spesso intercalati da livelli, da sottili a medi, di arenarie e argilliti.

Il litotipo predominante è un calcare marnoso che si presenta in strati da decimetrici a metrici (Marini, 1981; Corsi et al., 2001). Il colore è variabile: da grigio giallastro a grigio chiaro, a volte anche grigio azzurro, se alterato, fino a presentare una colorazione più scura, da grigio piombo a grigio nero nei tagli freschi. I calcari risultano abbastanza compatti, con frattura tendente all'aspetto concoide; a volte manifestano una sfaldabilità in scaglie. Mostrano tipiche forme di erosione ad angoli smussati e si osservano spesso escavazioni a nicchia e solchi di dissoluzione lungo le linee di massima pendenza. Gli strati marnosi, di colore grigio scuro, più frequentemente grigio biancastri a causa dell'alterazione, sono presenti con potenze da centimetriche a metriche e, insieme ai calcari marnosi, rappresentano la parte predominate della Formazione.

La presenza e consistenza degli altri litotipi varia sensibilmente da zona a zona: gli strati più argillosi, significativi in termini percentuali, di potenza da centimetrica a decimetrica, sono caratterizzati da una colorazione scura, mentre quelli calcarenitici, assai tenaci, di spessore fino a decimetrico e colorazione da brunastra a grigia chiara, rappresentano in genere la base di banchi calcarei. I livelli arenacei, infine, non frequenti e decisamente subordinati in percentuale, sono particolarmente tenaci, presentano colore rossastro su superfici alterate, o grigio su spaccature fresche e formano strati di potenza decimetrica.

Tutti i litotipi descritti si alternano nell'area in esame con percentuali variabili, determinando una Formazione eterogenea, con caratteristiche mutevoli anche in breve spazio e concorrono a costituire un ammasso roccioso "*complesso*", classificabile nell'ambito delle cosiddette "*rocce deboli*", poiché nella sequenza stratigrafica sono rappresentati materiali a comportamento geomeccanico (e di suscettività all'alterazione o degradazione) molto differente.

In particolare, le argilliti, tenere e facilmente sfaldabili in scaglie e degradabili in terreno sciolto di natura argillosa, intercalate ai livelli di calcare marnoso, tenaci e compatti, costituiscono un orizzonte fragile anche se percentualmente poco significativo, nell'ambito del complesso roccioso.

Le osservazioni geologico-strutturali effettuate alla scala del versante, agli estremi del comparto di interesse, hanno evidenziato situazioni non del tutto omogenee in termini di stratificazione:

- Belvedere di via Bettolo: il giunto di strato presenta, in corrispondenza della linea di costa, una direzione d'immersione prevalente verso W con inclinazione di circa 20°-30°.
- Pontetto: il giunto di strato presenta, alla base della falesia una direzione d'immersione prevalente verso SW con debole inclinazione, circa 10°, mentre nella parte medio alta gli strati sono suborizzontali o con lieve immersione a NE.

In termini strutturali due discontinuità principali, presentano caratteri di omogeneità e sono ortogonali alla stratificazione con inclinazione prossima alla verticalità, mentre il terzo set di fratture presenta maggiore eterogeneità e valori più dispersi.

4.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE GENERALI

Il settore costiero oggetto di studio è costituito quasi interamente da falesie modellate nel Flysch di Monte Antola. Questa formazione ha subìto numerose deformazioni duttili (Marini, 1981; Corsi et al., 2001) e fragili (Corsi, 2003) che determinano frequenti variazioni di giacitura degli strati lungo la costa: possono essere a reggipoggio, a franapoggio, verticali perpendicolari o paralleli alla linea di costa, orizzontali. Il Flysch di Monte Antola è caratterizzato da numerose discontinuità che, mantenendo gli stessi rapporti geometrici con la stratificazione, presentano un assetto molto vario ed un rapporto geometrico tra giunti e pendio caratteristico, che talvolta determina condizioni sfavorevoli per la stabilità. La tettonica ha influenzato notevolmente le forme costiere: le falesie sono controllate da lineazioni tettoniche spesso orientate come le famiglie di discontinuità che caratterizzano l'ammasso roccioso.

Il tratto costiero in esame è riconosciuto in sollevamento assoluto ed è impostato su una linea di faglia orientata WNW-ESE, analogamente alle dislocazioni neotettoniche rilevate sulla piattaforma antistante la costa; inoltre i corsi d'acqua principali sono impostati su lineazioni a scala regionale orientate grossomodo NNE-SSW (Fanucci et al, 1980; Cortemiglia, 1982).

Le pareti rocciose hanno un'altezza solitamente compresa tra 10 e 30 m, in alcuni settori superiore a 50 m; sono quasi sempre attive ed hanno pendenze molto elevate, talvolta sono verticali.

Il Flysch di Monte Antola è caratterizzato dall'alternanza di livelli più e meno competenti e da numerose discontinuità, che favoriscono un'erosione selettiva da parte del mare: lungo le falesie si osservano pertanto numerose forme caratteristiche, quali solchi di battente, grotte marine e varie forme di corrosione negli strati esposti agli spruzzi. L'orlo di falesia in molti casi coincide con l'orlo di terrazzi marini ed alla sommità delle pareti rocciose i depositi eluvio-colluviali localmente possono raggiungere spessori superiori a 2 m.

La morfologia del fondale antistante le falesie varia leggermente per l'alternarsi di ripe scoscese e baie a pendenza minore; andando verso il largo si riscontra un andamento più omogeneo.

Lungo le falesie si verificano frane rapide dovute principalmente a crolli di blocchi o scivolamenti di porzioni di roccia.

Alla base delle pareti rocciose si riscontrano numerosi manufatti posti in opera per difendere la costa dall'azione delle mareggiate: scogliere in massi, muraglioni a volte con archi, contrafforti, reti paramassi e chiodature.

Nel sito di Pontetto si evidenzia la presenza di un solco di abrasione marina formatosi ad una altezza di 2-3 m rispetto al livello marino e particolarmente arretrato in corrispondenza di una sequenza di strati più fragili. La conformazione che ne è derivata è caratterizzata da una marcata rientranza alla base della falesia con conseguente formazione di un camminamento lievemente sopraelevato rispetto al mare.

Nella zona sottostante Via Bettolo e nel settore centrale a W del Maha Beach si osservano numerosi fenomeni di sgrottamento alla base degli strati.

In località Fontana l'azione di base della tettonica associata ai sistemi di discontinuità strutturale ed all'azione del moto ondoso ha generato condizioni di fragilità dell'assetto costiero.

4.3 ASSETTO IDROGRAFICO E PROFILO IDROGEOLOGICO

4.3.1. Bacino del torrente Poggio

Il bacino del torrente Poggio è ubicato sul versante tirrenico dell'Appennino Ligure ed è delimitato dal bacino del rio Nervi a Ovest, dal bacino del torrente Bisagno a Nord, dal bacino del torrente Sori a Est, dal Mar Ligure a Sud. L'area complessiva del bacino è circa 5 km^2.

La quota massima del bacino è rappresentata dal Monte Cordona che raggiunge gli 800 m s.l.m. circa. Partendo dalla foce e proseguendo in senso orario, lo spartiacque si sviluppa secondo una direttrice N-O attraverso il monte Giugo (485 m s.l.m.), piega verso N-E passando per il passo della Crocetta, per il Bric Gianesi (616 m s.l.m.) e il monte Cordona (791 m s.l.m.) per piegare poi verso Est e successivamente verso Sud passando per il monte Castelletti (604 m s.l.m.), il monte di Santa Croce (518 m s.l.m.), all'estremità meridionale del bacino, scendendo progressivamente sino al livello del mare.

Il principale affluente del torrente Poggio è il rio Sessarego (1.4 km^2), nel quale s'immettono il rio dei Ciazi (o di Musanega, 0.33 km^2) e il rio Burchi (0.22 km^2).

La geometria della valle è debolmente asimmetrica con il fianco destro più acclive del sinistro. Il territorio relativo al bacino del torrente Poggio è scarsamente urbanizzato ad eccezione del tratto focivo, dove è ubicato il centro urbano di Bogliasco.

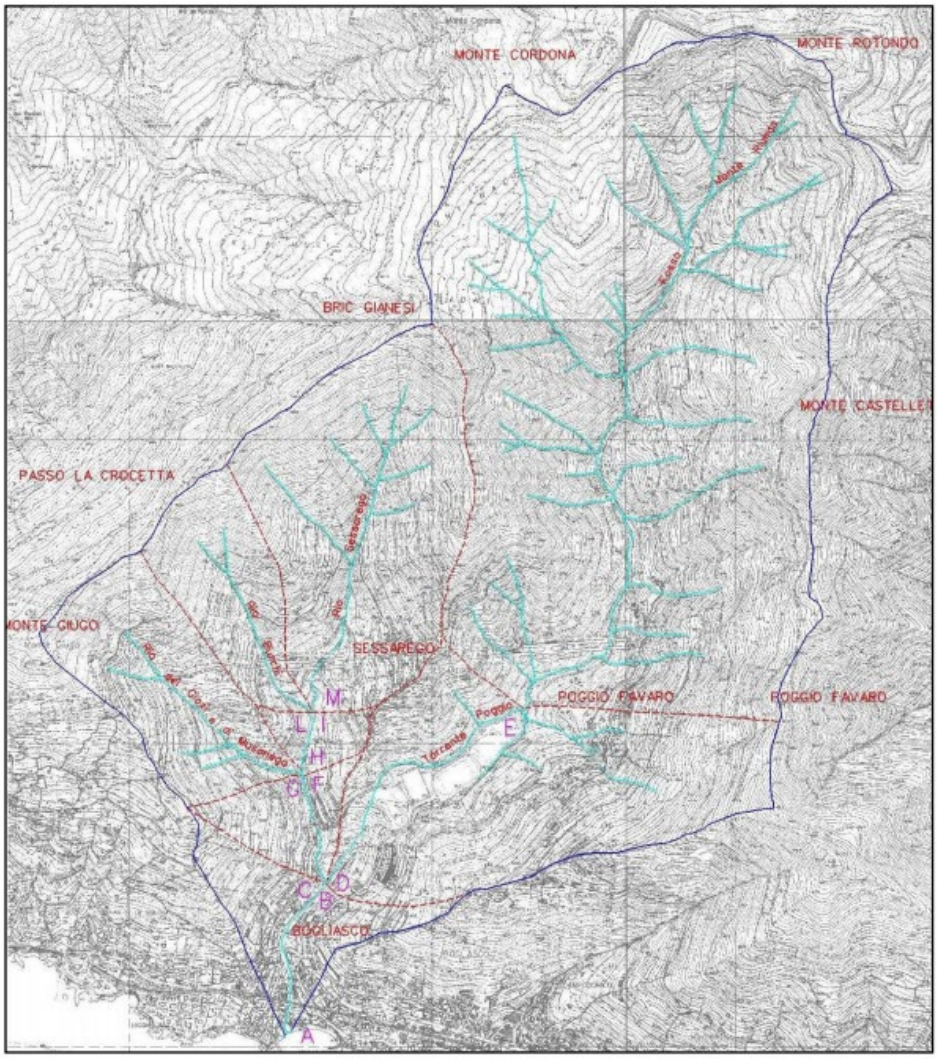
Il bacino è caratterizzato dalla presenza di una discarica di materiale inerte che interessa la parte valliva del torrente Poggio compresa tra la località Poggio Favaro e la confluenza con il torrente Sessarego, per una lunghezza complessiva di circa 1000 m.

Il trasporto solido del complesso vallivo è limitato ai periodi di massima piena e il contributo alla formazione della spiaggia centrale, posta in corrispondenza della foce torrentizia, è generalmente modesto in quanto i versanti orografici drenati dal corso d'acqua non presentano fenomeni diffusi di franosità attiva, mentre la discarica di inerti non fornisce contributi significativi i termini sedimentologici in quanto, lungo l'intero tratto di attraversamento del corpo in rilevato, il T. Poggio è completamente tombinato e scorre in sotterraneo senza interferire con la discarica.

Relativamente alle aree scolanti al di fuori del bacino principale, l'unico corso d'acqua di una certa rilevanza è il Fosso Favaro (0.51 km^2) che scorre nella porzione orientale del territorio comunale al confine con il Comune di Pieve Ligure.

Il trasporto solido, nel caso di specie, è scarsamente rilevante o nullo.

Nella parte terminale del corso d'acqua, a valle dello sbocco della zona tombinata, sono stati recentemente effettuati lavori di adeguamento della sezione idraulica e interventi di manutenzione e pulizia del tratto terminale della tombinatura.



TORRENTE POGGIO

4.3.2. Caratteristiche idrogeologiche delle falesie

Lo schema dei deflussi superficiali nel comparto in esame fa riferimento diretto al mare attraverso il reticolo di drenaggio artificiale delle acque bianche avente funzione di raccolta e smaltimento delle acque di normale precipitazione; l'infiltrazione delle acque superficiali nel sottosuolo è fortemente limitata e ridotta alle poco estese superfici sottratte all'azione antropica.

Per quanto riguarda le falesie rocciose, è ipotizzabile che durante periodi piovosi particolarmente prolungati alcune porzioni siano sottoposte all'azione erosiva esercitata dalle acque ruscellanti, unitamente a una circolazione idrica subsuperficiale, conseguente allo stato di fratturazione del basamento roccioso.

È presumibile, infatti, che l'acqua si concentri nelle zone più sollecitate dal punto di vista tettonico, circolando in funzione della geometria dei giunti caratteristici del basamento lapideo.

Dal punto di vista idrogeologico la circolazione delle acque in profondità è influenzata dalle caratteristiche geomeccaniche e strutturali dell'ammasso roccioso. Tale materiale, infatti, sostanzialmente impermeabile in condizioni d'integrità, risulta invece permeabile per fratturazione e fessurazione, soprattutto nei livelli superficiali e nelle zone dove risulta in scadenti condizioni di conservazione, in quanto le discontinuità possono rappresentare vie di deflusso preferenziale. Si deve ritenere, infatti, che l'acqua possa saturare le fratture in profondità e possa trovare vie di percolazione secondo i rapporti geometrici esistenti tra i giunti caratteristici dell'ammasso roccioso.

Il complesso idrogeologico dei calcari marnosi con intercalazioni di argilliti può essere assimilato a un mezzo scarsamente permeabile con una conducibilità idraulica indicativa compresa fra 10^{-7}-10^{-8} m/s.

Inoltre, nei livelli calcarei particolarmente puri si possono verificare limitati fenomeni di dissoluzione carsica, che comportano l'allargamento delle fratture e dei giunti esistenti.

La circolazione sotterranea è, pertanto, funzione dell'entità delle precipitazioni efficaci, del modello geologico che determina l'idro-struttura e delle modificazioni antropiche; in linea generale si ritiene limitata esclusivamente ai periodi piovosi, con una velocità di scorrimento legata al diverso stato di fratturazione di cui si è esposto.

5. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEI SETTORI DI INTERVENTO

Nel presente capitolo sarà effettuata una disamina delle peculiarità morfologiche dei singoli comparti affetti da criticità individuati nelle schede progettuali preliminari, riportando nel testo, oltre alle caratteristiche generali dei singoli comparti, anche le tipologie d'intervento messe in atto in varie riprese temporali.

5.1. SETTORE COMPRESO FRA CHIESA PARROCCHIALE E MOLO SBOLGI



Il tratto di litorale sottostante la passeggiata a mare (Via Bettolo) non appartiene ad una unità fisiografica s.s. in quanto le spiagge non sono interessate da apporti sedimentari naturali provenienti da zone limitrofe.

Nel comparto di studio si possono evidenziare due settori tipologicamente distinti che sono caratterizzati cadauno per caratteri di omogeneità:

5.1.1 ambito di spiaggia

L'ambito di spiaggia è caratterizzato da ripetuti interventi di riporto di materiali lapidei derivati da smarino di roccia e di detriti postbellici; i ripascimenti antropici sono stati effettuati in un lasso temporale compreso fra i primi dell'800 e il 1970: i materiali di ricarica della spiaggia sono stati soggetti a fenomeni di erosione a seguito di correnti di risucchio (rip currents) che hanno favorito il trasporto verso le batimetriche più profonde delle componenti granulometriche più fini.

La spiaggia attuale in località "sottochiesa" ha raggiunto uno stato di equilibrio fra la tendenza invernale all'erosione sotto l'azione delle ondazioni da SE, più frequenti nei mesi invernali, e la tendenza estiva al ripascimento naturale sotto l'azione dei mari da SW. Il saldo complessivo vede tuttavia prevalere i fenomeni erosivi con progressivo arretramento della linea di spiaggia.

Dal punto di vista sedimentologico la spiaggia presenta granulometria grossolana prevalente ed è costituita da ghiaia con dimensioni medie della battigia in condizioni di calma di circa 10 mm ed un'ampiezza al centro variabile da un minimo di 10/12 m in condizioni invernali a un massimo di 18/20 m in condizioni estive.

La movimentazione dei sedimenti dai settori orientali a quelli occidentali è conseguente al regime delle onde incidenti che subiscono modificazioni sotto costa per effetto della rifrazione e della diffrazione.

Il bilancio complessivo del flusso di sedimenti nel lungo periodo presenta un saldo negativo, essendo prevalenti le tendenze erosive.

Nel tratto compreso fra il circolo subacqueo ed il Molo Sbolgi resta solo un ristretto lembo di spiaggia a contatto con il "Castello" protetta da una barriera di massi, mentre in tutto il settore restante la falesia è a diretto contatto con il mare, poiché la spiaggia risulta completamente erosa.

In questo tratto la mareggiate raggiungono la falesia con una energia residua elevata, solo in parte limitata dalle caratteristiche del fondale.

L'energia del moto ondoso è smorzata solo in parte dal progressivo innalzamento del fondale fra le batimetriche -5 e -10, generatosi a seguito dei ripetuti interventi antropici finalizzati al ripascimento delle spiagge.

La spiaggia sommersa dell'intero comparto è costituita attualmente da blocchi derivanti dalla detrizione della falesia e dai residui delle discariche effettuate nel corso degli anni.

Il deposito sedimentario si estende invece su batimetriche comprese tra -5 e -10 m ed è costituito in prevalenza da sabbia molto fine, ben selezionata, di cui si riconosce la direzione di trasporto verso l'esterno.



Foto 1: spiaggia Sottochiesa vista dalla falesia sottostante il belvedere di via Bettolo

5.1.2 ambito di falesia rocciosa

Presenta condizioni di acclività elevata, con locale tendenza alla verticalità, caratterizzato da roccia denudata, quasi sempre priva di copertura sciolta e manto vegetale (fatte salve alcune sacche ottenute artificialmente) e fortemente esposta agli agenti atmosferici.

Lo studio geomeccanico, del quale si riferirà nel seguito, ha messo in evidenza la presenza, oltre ai piani di stratificazione, di almeno tre sistemi di discontinuità principali che sono in grado di generare cunei di roccia instabile che possono distaccarsi dall'ammasso roccioso. I fenomeni di distacco e crollo sono incentivati dalla azione demolitrice delle onde di mare.

5.1.3 interventi eseguiti nell'intero comparto

Il tratto di litorale esaminato presenta complessivamente una estensione lineare di circa 70 m quasi completamente esposto agli agenti atmosferici ed in particolare all'azione del moto ondoso, generato dall'azione dei venti provenienti dai quadranti meridionali, che incide direttamente sulla falesia. L'azione di demolizione progressiva della falesia è accentuata dall'azione erosiva sul litorale prodotta dalle correnti "longshore, generate dai venti provenienti da SE che, impoverendo progressivamente le spiagge, hanno permesso di accentuare l'azione delle onde marine sul fronte roccioso, con una energia proporzionale alla intensità del moto ondoso.

Il tratto di costa esaminata può essere suddiviso in tre settori con diverse problematiche:

Settore A: costituisce il tratto più occidentale del litorale investigato ed interessa la porzione di scogliera che orla la spiaggia "sottochiesa" e lungo la quale si sviluppa la scalinata di accesso alla spiaggia stessa; è stato interessato in tempi passati da interventi di consolidamento con reti paramassi ancorate al substrato roccioso da un reticolo di ancoraggi collegati a funi ad orditura romboidale.
Attualmente è in corso di realizzazione un intervento sulla porzione di roccia in aggetto sulla spiaggia, che sostiene la scalinata di accesso, che deve essere consolidata mediante sottomurazione degli stati aggettanti mediante cordolo in c.a., realizzato con caratteristiche analoghe a quello esistente.

Settore B (Bettolo 1): è certamente il settore di maggiore estensione localizzato a valle del "belvedere" di via Bettolo e presenta un'ampia superficie esposta, con alcune problematiche legate allo stato evolutivo del fronte roccioso.
Il fronte di roccia ha subito nel tempo notevoli fenomeni di distacco, con progressiva riduzione della estensione della porzione basale della falesia.
Lo stato di progressivo degrado delle porzioni esposte è accentuato dai sistemi di discontinuità che, in conseguenza della loro intersezione, hanno dato origine al distacco a cuneo di porzioni di roccia talora significative in termini dimensionali. Il fenomeno si è protratto nel tempo, come testimoniato dalla presenza in mare di numerosi blocchi provenienti dalla demolizione progressiva della falesia.
La parete rocciosa presenta problematiche nella parte basale, fortemente soggetta ad abrasione marina, e nel settore sommitale per la presenza di porzioni di roccia sconnessa.
A presidio del tratto di falesia a contatto con il mare è già stata realizzata, con intervento di somma urgenza, una platea di massi disposti a semicerchio al contorno della roccia esposta, in modo tale da creare una barriera che smorzi l'energia del moto ondoso.
La barriera, trasversale alla linea di costa, fornisce anche un contributo in termini sedimentologici in quanto è in grado di intercettare, almeno in parte, i flussi di materiale legati alle logshore currents che si innescano sotto l'azione dei venti da SE e incidono la spiaggia ubicata sotto la chiesa parrocchiale, con angoli influenzati dalla rifrazione e dalla diffrazione delle onde.
Nel settore sommitale alcune porzioni di roccia già rivestite con reti paramassi sono state ulteriormente rinforzate mediante apposizione di reti a fune metallica intrecciata tipo "quarox".



Foto 2: interventi di consolidamento sotto il belvedere di via Bettolo lato E



Foto 3: interventi di consolidamento sotto il belvedere di via Bettolo lato W

Per quanto concerne la porzione basale della falesia sono state realizzate opere di cucitura degli strati e delle discontinuità principali mediante chiodature profonde (minimo 6 m), realizzate mediante attrezzatura da parete con martello a fondo foro.
Relativamente allo sgrottamento generato dalla abrasione marina poco sopra il livello del mare, in considerazione del fatto che lo strato basale in aggetto sostiene una porzione di falesia, è in corso il proseguimento della tamponatura esistente con creazione di un contrafforte di contrasto ai fenomeni erosivi.

Settore C (Bettolo 2): la progressiva evoluzione negativa della falesia, accentuata dalla violenta azione dinamica dovuta alla mareggiata dell'ottobre 2018, ha provocato l'aggravamento generale delle condizioni di stabilità dell'intero tratto di litorale sottostante via Bettolo.
In tale contesto è emersa una ulteriore criticità, ubicata nell'estremo settore di levante della falesia, ove è presente una porzione di parete rocciosa a sbalzo, che sorregge la soprastante passeggiata, la cui modellazione è conseguente alla forte erosione e alla parziale asportazione del sottostante muro in pietra e cemento.
Tale fronte è in progressivo degrado e, in precedenza, sono state posizionate reti metalliche di rivestimento della porzione superiore, che sono state giudicate non più idonee ad assolvere completamente alla funzione di sicurezza necessaria.
Nel contesto descritto è in atto un intervento di consolidamento finalizzato alla messa in sicurezza del tratto di passeggiata a mare e della spiaggia ubicata in fregio al settore critico.
Nel settore superiore della falesia gli interventi di messa in sicurezza già eseguiti sono stati finalizzati a un rafforzamento corticale tramite reti armate di consolidamento passivo, posizionate in aderenza alla roccia, al fine di aumentare le caratteristiche meccaniche del basamento lapideo e trattenere eventuali frammenti disarticolati, impedendone il distacco.

A integrazione dell'intervento di rafforzamento corticale si è provveduto alla realizzazione di un ulteriore sistema di difesa costituito da una serie di reti di protezione tipo "Quarox" posizionate alla sommità del fronte lapideo.





Foto 4 e 5: interventi di consolidamento in corrispondenza dello sgrottamento di via Bettolo

Nella parte basale è in previsione il riempimento della cavità mediante un getto in conglomerato cementizio a strati successivi, utilizzando come contenimento del getto massi naturali sovrapposti nonché il completamento della struttura con muro in pietra faccia a vista e calcestruzzo armato.

5.2. SETTORE CENTRALE COMPRESO FRA MOLO SBOLGI E MOLO DI LEVANTE



5.2.1 ambito di spiaggia

La spiaggia centrale è l'unica naturale e riveste una certa importanza sia dal punto di vista della fruizione sia da quello della difesa costiera.

L'intera spiaggia presenta un fronte di circa 250 m ed una profondità media di circa 20 m ed è difesa ai suoi estremi da manufatti antropici che limitano la luce di accesso a circa 100 m in corrispondenza dell'isobata dei 3 – 4 m.

I cospicui versamenti effettuati a partire dalla fine dell'800 con materiale di fortuna hanno creato saltuariamente spiagge anche piuttosto ampie che sono sempre state erose negli anni successivi ai versamenti. I materiali erosi dalla spiaggia emersa hanno però contribuito ad un consistente innalzamento dei fondali antistanti, creando una sorta di bassofondo su cui frangono le onde di mareggiata.

Tale deposito si estende su batimetrie comprese tra –5 m e –10 m ed è costituito in prevalenza da sabbia molto fine ben selezionata di cui si riconosce la direzione di trasporto dall'interno della baia verso l'esterno.

I mesi autunnali-invernali sono caratterizzati in genere da processi erosivi con flussi di sabbia in uscita mentre i mesi estivi sono caratterizzati da un accrescimento variabile con flussi di sabbia entrante.

Il bilancio complessivo dei sedimenti movimentati presenta normalmente un saldo negativo, evidenziando una prevalente tendenza erosiva di tutto il complesso della spiaggia.

I sedimenti movimentati dalle correnti lungo costa presentano in genere granulometrie dell'ordine del millimetro. In condizioni di carattere eccezionale le onde possono movimentare in senso trasversale alla spiaggia sedimenti di granulometria dell'ordine di decine di millimetri.

Il pennello centrale suddivide la spiaggia in due settori ben distinti dal punto di vista morfologico e granulometrico.

A ponente del pennello la dimensione del sedimento di battigia è molto omogenea con una granulometria media molto fine degradante verso ponente.

L'energia del moto ondoso che raggiunge la spiaggia in questo settore è assai attenuata dalla presenza del molo foraneo e dai bassi fondali, per cui la spiaggia risulta stabile o in accrescimento.

Il profilo trasversale della spiaggia è molto regolare senza berme evidenti, per effetto della bassa energia incidente e della granulometria molto fine e unidimensionale.

Il settore di spiaggia a levante del pennello si trova in condizioni dinamiche e morfologiche completamente diverse. L'ampiezza della spiaggia in condizioni estive raggiunge la decina di metri mentre in condizioni invernali è ridotta in pratica ad una sottile orlatura ciottolosa che borda la base della falesia, in parte protetta al piede da un cordolo in calcestruzzo.

All'esterno della baia la dimensione media del sedimento diminuisce verso il largo fino alla batimetrica di circa -8 m mentre i campioni più distali sono più grossolani. Tale andamento, anomalo rispetto alle condizioni naturali, conferma pienamente che le frazioni più fini dei versamenti effettuati sono state rimosse e trasportate verso il largo davanti alla baia e depositate su fondali compresi tra –6 e –8 m, dove anche tali frazioni risultano stabili. La profondità di 8 metri può essere considerata la profondità di chiusura della spiaggia sommersa.

La spiaggia emersa risulta molto protetta a seguito del prolungamento del molo principale e nel contempo decisamente sezionata dal pennello centrale che sembra provocare una serie di alterazioni all'equilibrio dinamico dei sedimenti della spiaggia emersa.

5.2.2 interventi sulla falesia a monte della spiaggia

La porzione di falesia ubicata a monte del settore orientale della spiaggia centrale presenta condizioni di acclività elevata, con locale tendenza alla verticalità ed è caratterizzata da roccia denudata, quasi sempre priva di copertura sciolta e manto vegetale (fatte salve alcune sacche ottenute artificialmente) e fortemente esposta agli agenti atmosferici.

La parete rocciosa ha manifestato nel tempo periodiche manifestazioni di instabilità locale in conseguenza dello stato di disarticolazione dell'ammasso particolarmente evidenti nella porzione più orientale della parete.

In tutta la parte esposta, a diretto contatto con la spiaggia, sono stati effettuati interventi di consolidamento con reti paramassi, rese aderenti alla parete rocciosa mediante ancoraggi ad orditura romboidale collegati con un reticolo di funi in acciaio.

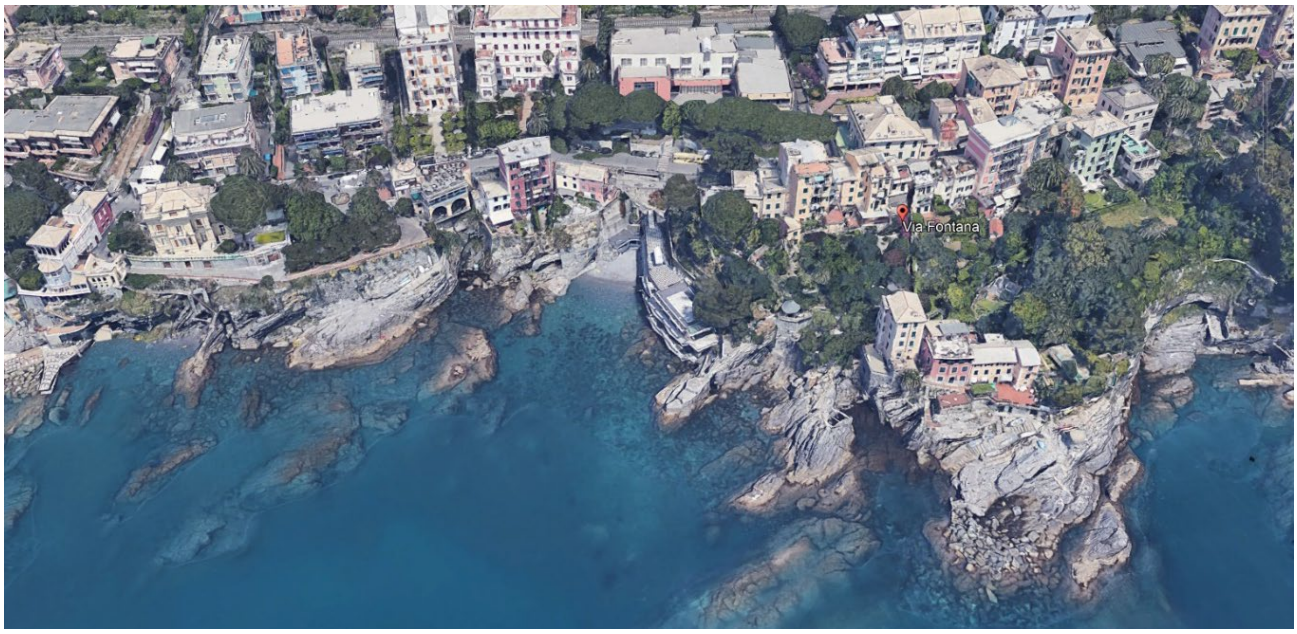
L'intervento è stato completato mediante apposizione di pannelli fune in acciaio sovrapposti alla rete zincata nei settori più fragili.



Foto 6: interventi di consolidamento sulla falesia a monte della spiaggia centrale

5.3. SETTORE CENTRALE COMPRESO FRA MOLO DI LEVANTE E LA FONTANA

Nel comparto di studio si possono evidenziare alcuni settori affetti da criticità tipologicamente distinte, che sono caratterizzati cadauno per caratteri di omogeneità.



5.3.1 ambito di spiaggia

Tale ambito è riferibile ad un unico lembo ristretto di sabbia noto come “Spiaggia del Risseau” che si colloca al centro del comparto.

La stretta insenatura naturale è caratterizzata dalla presenza di una spiaggia che si estende in profondità per 10-15 m, con granulometria prevalentemente grossolana.

La spiaggia mostra una evoluzione molto più lenta rispetto a quella centrale, vuoi per la morfologia della costa vuoi per la composizione granulometrica dei sedimenti, ciottoli e ghiaie prevalenti, che possono essere movimentati solo da ondazioni di notevole ampiezza.

La parte sommersa presenta una granulometria progressivamente più fine ma è intervallata da zone costituite da massi.

La spiaggia emersa necessita di interventi di ricarica in quanto costituisce un presidio per il comparto retrostante.

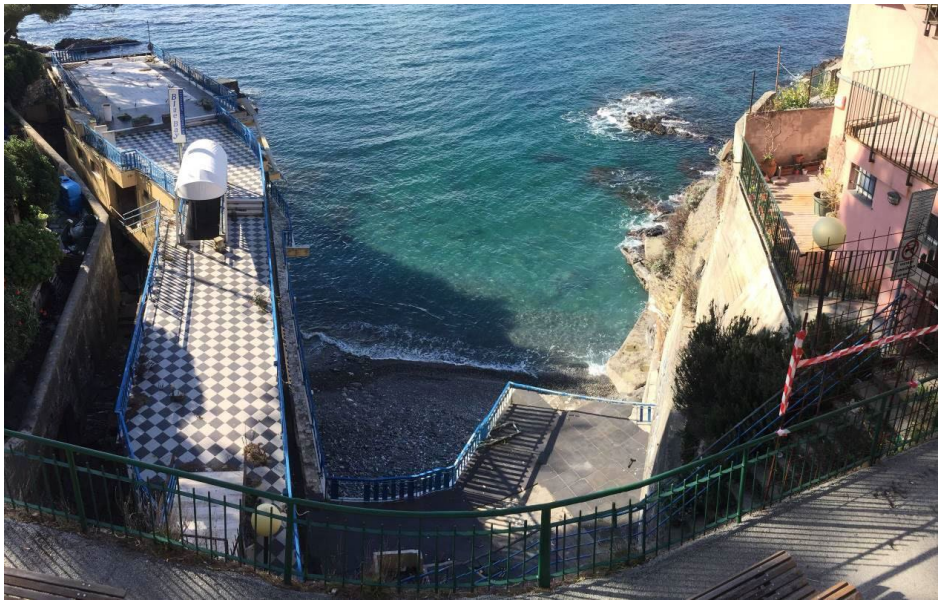


Foto 7: la Spiaggia del Risseau

5.3.2 ambito di falesia rocciosa

Procedendo verso E a partire dal molo di levante, che limita la zona della spiaggia centrale, è presente un settore critico costituito da un tratto di costa alta che evidenzia alcune problematiche legate all’azione del moto ondoso che, in questo comparto, agisce con notevole intensità.

Il fenomeno è accentuato nell’intero settore, oltre che dalla esposizione della falesia, anche dalla totale mancanza di spiaggia, che sarebbe in grado di smorzare almeno in parte l’energia del moto ondoso.

Lo stato di progressivo degrado delle porzioni esposte è accentuato dai sistemi di discontinuità che, in conseguenza della loro intersezione, hanno dato origine al distacco a cuneo di porzioni di roccia talora significative in termini dimensionali. Il fenomeno si è protratto nel tempo, come

testimoniato dalla presenza in mare di numerosi blocchi provenienti dalla demolizione progressiva della falesia.

La parete rocciosa presenta problematiche anche nella parte basale, fortemente soggetta a fenomeni di abrasione marina, che hanno dato origine ad un consistente sgrottamento.





Foto 8 e 9: sgrottamento al piede della falesia e distacco massi dalla parete rocciosa

5.3.3 ambito di scogliera associata a costa rocciosa

A ponente della spiaggia del Risseu è presente una punta nota come "*località Fontana*" ove la costa risulta frastagliata ed inframmezzata da una scogliera in massi che assolve alla funzione di smorzare l'energia dell'onda che frange sulle pareti rocciose.

L'azione del mare ha prodotto nel tempo numerosi distacchi di blocchi dalla sede originale e si rende necessario incrementare le opere di presidio a completamento di quelle esistenti, per difendere le abitazioni più vicine al mare e le stazioni di pompaggio della fognatura.

Le opere finalizzate alla mitigazione del rischio in questo settore sono state oggetto di una progettazione definitiva relativa al primo lotto di interventi.

5.3.4 interventi eseguiti nel comparto

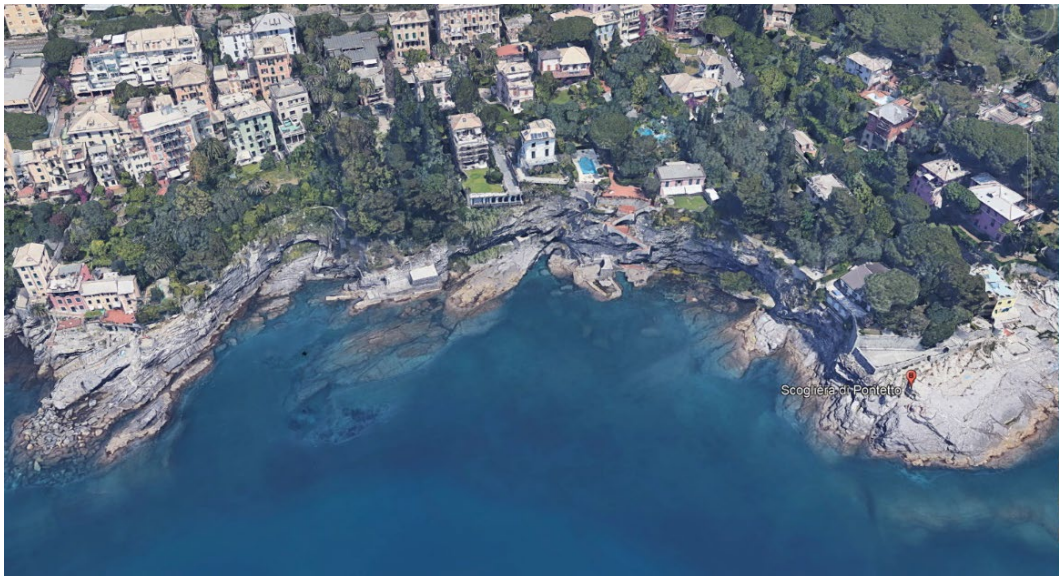
La parete rocciosa sottostante Via Trento e Trieste è stata oggetto di una consistente frana di crollo in conseguenza dello stato di alterazione dell'ammasso nella porzione sommitale della falesia.

Nella parte più esposta, sottostante il parco giochi, sono stati effettuati interventi di consolidamento con reti paramassi, rese aderenti alla parete rocciosa mediante ancoraggi ad orditura romboidale collegati con un reticolo di funi in acciaio.



Foto 10: interventi di consolidamento sotto via Trento e Trieste

5.4. SETTORE DI LEVANTE IN LOCALITA' PONTETTO



5.4.1 ambito di falesia rocciosa

Il tratto di litorale in oggetto presenta complessivamente una estensione lineare di circa 70 m e risulta quasi completamente esposto agli agenti atmosferici ed in particolare all'azione del moto ondoso, generato dall'azione dei venti provenienti dai quadranti meridionali (S-SW), che incide direttamente sulla falesia.

L'azione di demolizione progressiva della falesia è accentuata dalla totale assenza di spiagge: tale fattore permette di accentuare l'azione del mare incidente sul fronte roccioso, con una energia proporzionale alla intensità del moto ondoso stesso.

Meno rilevante appare sulla falesia l'azione delle acque dilavanti in caso di intensa piovosità, e del termoclastismo, conseguente ad escursioni termiche che, in determinati periodi dell'anno, risultano essere tuttavia abbastanza significative.

La falesia presenta un'ampia superficie esposta, con alcune problematiche legate allo stato evolutivo del fronte roccioso.

Lungo la parete si sono verificati nel tempo locali fenomeni di distacco, mentre la porzione basale della falesia è interessata dalla progressiva demolizione degli strati dovuta all'azione del mare, per cui è in atto la formazione di una accentuata rientranza alla base della falesia stessa.

La parete rocciosa presenta numerosi settori con porzioni di roccia sconnessa e, localmente, le problematiche strutturali sono associate a fenomeni di dissoluzione carsica.

5.4.2 interventi eseguiti nell'intero comparto

Nell'intero settore è stato realizzato il rivestimento delle pendici rocciose con reti paramassi in tutto il tratto di parete compreso fra il ciglio della falesia e il tetto della rientranza generata dall'abrasione marina.



Foto 11: settore occidentale della falesia di Pontetto oggetto di interventi di consolidamento

A integrazione dell'intervento di rafforzamento corticale si è provveduto alla realizzazione di un ulteriore sistema di difesa costituito da una serie di reti in fune metallica intrecciate a maglia romboidale tipo "Quarox" posizionate alla sommità del fronte lapideo ove è stata evidenziata la presenza di giunti di fratturazione predisponenti potenziali distacchi a cuneo.

Nel corso dei lavori è stato osservato che, nel settore centrale della zona di intervento, sono in atto diffusi fenomeni di stillicidio di acqua proveniente dal sistema di fratture presenti nell'ammasso roccioso, che hanno dato origine alla formazione di fenomeni di dissoluzione carsica.



Foto 12: porzione della falesia interessata da fenomeni di stillicidio

La presenza alla base della parete di un solco di abrasione marina, associato aduno stato di fratturazione avanzato e alla circolazione delle acque crea una situazione di potenziale pericolo per la stabilità della falesia.

6. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA AMMASSO ROCCIOSO

La fase di studio è stata organizzata in un accurato rilevamento dei fronti rocciosi a ridosso di alcune zone di intervento; in particolare sono stati effettuati rilevamenti geomecanici di dettaglio in corrispondenza delle falesie localizzati come segue:

- Stazione geomeccanica Pontetto;
- Stazione geomeccanica Bettolo 1;
- Stazione geomeccanica Bettolo 2;
- Stazione geomeccanica Fontana.

I rilievi effettuati sono finalizzati a derivare i principali parametri geomeccanici e strutturali necessari per definire sia il comportamento meccanico e deformativo dell'ammasso sia per stabilire eventuali metodologie interventuali.

Gli approfondimenti effettuati in parete hanno comportato il rilevamento sistematico di orientazione, spaziatura, estensione, scabrezza, apertura, riempimento e condizioni idrauliche delle discontinuità. Sono di seguito riassunte tutte le risultanze ottenute.

6.1. RILIEVO GEOMECCANICO

Al fine di verificare le condizioni geomeccaniche dei tratti di falesia a ridosso delle zone d'intervento, è stato eseguito un rilevamento strutturale dell'ammasso roccioso in corrispondenza delle pareti che sovrastano le zone affette da criticità. Sono state inoltre censite le situazioni di rischio e di potenziale distacco di masse instabili e/o detrito per le successive analisi e considerazioni interventuali.

Per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso, è stato misurato sul terreno un campione significativo delle giaciture di tutti i piani di discontinuità individuati durante il rilievo dei fronti rocciosi.

Sono state rilevate le caratteristiche principali (orientazione, spaziatura, condizioni dei giunti) in specifiche stazioni geomeccaniche, ubicate in corrispondenza dei fronti rocciosi principali.

Sono stati quindi identificati i principali piani di discontinuità che caratterizzano l'ammasso roccioso; in particolare, oltre alla superficie di stratificazione (St), si osservano in generale almeno tre principali set di discontinuità ($K_1 \div K_3$); K_1 e K_2 mostrano una disposizione strutturale abbastanza regolare circa ortogonale ai piani di stratificazione, mentre K_3 presenta un'elevata dispersione dei poli che rende difficoltosa la stima della giacitura media.

Le elaborazioni successive, integrate con quanto osservato in fase di rilevamento, hanno permesso di definire l'orientazione dei principali sistemi di discontinuità e le relative condizioni caratteristiche, riassunte nelle seguenti tabelle:

Stazione geomeccanica Pontetto

SISTEMA	*IMM/INCL*	*P*	*A*	*Rg*	*Rm*	*S*
Giunto St	225-235/5-10	>20	0.1-1	Liscio	Assente	0.6-2.0
Giunto K1	185-195/75-85	3-10	1-2	Legg.rugoso	Calcite	0.6-2.0
Giunto K2	280-290/70-80	1-3	0.1-1	Legg.rugoso	Calcite	0.6-2.0
Giunto K3	350-360/30-40	3-10	1-2	Rugoso	Calcite	2.0-4.0

Stazione geomeccanica Bettolo 1

SISTEMA	*IMM/INCL*	*P*	*A*	*Rg*	*Rm*	*S*
Giunto St	260°-280°/20°-30°	>20	0.1-1	liscio	assente	0.6 – 2.0
Giunto K1	150°-160°/70°-80°	1 - 3	<0.1	liscio	assente	0.2 - 0.6
Giunto K2	40°-60°/70°-80°	3 - 10	0.1-1	legg.rugoso	molle < 5 mm	0.6 - 2.0
Giunto K3	200°-220°/50°-60°	1-3	0.1-1	legg.rugoso	molle < 5 mm	0.2 – 0.6

Stazione geomeccanica Bettolo 2

SISTEMA	*IMM/INCL*	*P*	*A*	*Rg*	*Rm*	*S*
Giunto St	320°-340°/30°-40°	>20	0.1-1	liscio	assente	0.6 – 2.0
Giunto K1	70°-80°/80°-90°	3 - 10	1-2	legg.rugoso	duro < 5 mm	0.6 - 2.0
Giunto K2	270°-280°/75°-85°	1 - 3	0.1-1	liscio	assente	0.2 - 0.6
Giunto K3	200°-220°/60°-70°	1-3	1-2	legg.rugoso	duro < 5 mm	0.2 – 0.6

Stazione geomeccanica Fontana

SISTEMA	*IMM/INCL*	*P*	*A*	*Rg*	*Rm*	*S*
Giunto St	340°-350°/20°-30°	>20	0.1-1	liscio	assente	0.6 – 2.0
Giunto K1	80°-90°/80°-90°	3 - 10	1-2	legg.rugoso	duro < 5 mm	0.6 - 2.0
Giunto K2	240°-260°/70°-80°	1 - 3	0.1-1	liscio	assente	0.2 - 0.6
Giunto K3	170°-190°/60°-70°	1-3	1-2	legg.rugoso	duro < 5 mm	0.2 – 0.6

LEGENDA: P = persistenza/continuità [m]; A = apertura della discontinuità [mm]; R_g = rugosità del giunto; R_m = riempimento del giunto; S = spaziatura media del giunto [m].

Le famiglie K_1 e K_2 mostrano assetto subverticale con inclinazioni tra 70° e 80° e sono determinanti nell'isolare molti dei blocchi visibili lungo il fronte verticale insieme alla superficie di stratificazione.

Al di fuori delle famiglie principali sono presenti discontinuità con giacitura variabile che caratterizzano le porzioni corticali dall’ammasso roccioso maggiormente fratturato.

Nella pratica corrente, per la quantificazione dei parametri geomeccanici dell'ammasso è piuttosto comune l'utilizzo di indici di qualità, mediante i quali le proprietà della massa rocciosa sono definite a partire da quelle della roccia intatta, tenendo conto del reticolo fessurativo e delle relative caratteristiche di resistenza.

Al fine di consentire l'attribuzione di un indice di qualità, l'ammasso roccioso è stato classificato attraverso i sistemi empirici normalmente impiegati nella pratica professionale: nel caso in esame sono stati adottati il metodo Rock Mass Rating (R.M.R.) di Bieniawski (1989) e il sistema Geological Strength Index (G.S.I.) nella formulazione proposta da Marinos & Hoek (2000).

Gli elementi necessari ad applicare questi sistemi sono stati ricavati in maniera integrata, utilizzando le informazioni ottenute durante il rilievo in sito e il confronto con prove ad analisi condotte in altri cantieri sullo stesso litotipo (Formazione del Flysch di Monte Antola) in ambito similare a quello in oggetto (falesia costiera).

Classificazione RMR

La classificazione RMR (Rock Mass Rating) di Bieniawski (1989) si basa sul rilievo di sei parametri caratteristici, la cui somma permette di suddividere gli ammassi rocciosi in cinque classi di qualità. Poiché, a seguito delle osservazioni condotte, si evidenziano, per alcuni parametri della classificazione RMR, condizioni piuttosto disperse, si attribuisce a questi un doppio valore di punteggio valevole, rispettivamente, per le condizioni medie rappresentative e per quelle peggiori dell'ammasso.

R1 - Resistenza alla compressione monoassiale: è stata determinata sulla base di prove in sito eseguite con lo sclerometro da roccia, confrontando i dati ottenuti con prove di laboratorio eseguite in contesti similari. Le analisi indicano valori di compressione monoassiale compresi mediamente tra 30 Mpa e 50 MPa. Si attribuisce pertanto punteggio unico uguale a 4.

R2 – R.Q.D.: definisce il recupero percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 10 cm. E' fornito un valore medio del parametro con riferimento ai sondaggi eseguiti in ambito similare a quello in esame. Le osservazioni condotte in fase di rilevamento confermano i valori indicati, Si ritengono accettabili quindi valori medi, per la Formazione in esame, oscillanti tra 40% e 70%, cui corrisponde un punteggio pari a 8 per le condizioni peggiori e 13 per le condizioni medie.

R3 - Spaziatura discontinuità: intesa come la distanza fra due discontinuità contigue appartenenti alla stessa famiglia. I singoli sistemi di discontinuità presentano spaziature medie comprese nelle classi 2.0 ÷ 0.6 m e 0.6 ÷ 0.2 m; nell'insieme l'ammasso roccioso si presenta fratturato con spaziatura media intorno a 1.0 m. Si attribuisce pertanto punteggio 10 per le condizioni peggiori e 15 per le condizioni medie.

R4 - Condizioni dei giunti: l'indicazione delle condizioni medie delle discontinuità individuate comprende valutazioni articolate, il cui punteggio complessivo è fornito dalla somma delle seguenti caratteristiche:

Persistenza: costituisce la lunghezza del giunto che interseca l'affioramento. Il parametro è stato valutato sulla base del rilevamento di superficie che hanno consentito di definire, una persistenza bassa (1-3, 3-10 m) per i sistemi secondari e una persistenza elevata (>20 m) per la superficie di stratificazione, da cui un punteggio tra 0 e 2;

Apertura delle discontinuità: definita come la distanza esistente tra le pareti aperte di un giunto. Dal rilevamento condotto emerge la prevalenza di discontinuità con apertura inferiore a 1 mm, seppure talvolta si osservino giunti molto aperti in particolare nelle zone allentate e maggiormente fratturate, da cui un punteggio tra 1 e 4;

Rugosità: esprime la scabrezza delle superfici del giunto. Sulla base dei valori di J.R.C. osservati in fase di rilievo e quelli dedotti dal confronto tra le carote di sondaggio con profili standard di Barton, si osservano in prevalenza giunti lisci o leggermente scabri con indice di rugosità compreso tra 4 e 6 e punteggio relativo tra 1 e 3;

Riempimento: il riempimento è generalmente rappresentato da vene di calcite, punteggio 4 (Pontetto) o assente punteggio 6 (Bettolo 1 e 2, Fontana);

Alterazione: le superfici dei giunti sono generalmente poco o moderatamente alterate, condizioni di alterazione più marcata si osservano solo nelle parti corticali dell'ammasso esposte all'azione del mare, punteggio tra 5 e 3;

R5 - Condizioni idrauliche: sono state rilevate generalmente condizioni asciutte dei giunti, solo umide in porzioni ristrette della parete soggette a circolazione d'acqua, si attribuisce pertanto punteggio tra 10 e 15 (Pontetto, Bettolo 1 e Fontana) e punteggio unico 15 (Bettolo 2).

Per ciò che concerne l'indice BRMR, ossia senza assegnare il punteggio corrispondente all'orientazione dei giunti rispetto al pendio, sono stati attribuiti dove necessario, due valori riferiti, rispettivamente, alle condizioni medie prevalenti e al limite inferiore dell'ammasso roccioso osservate in affioramento secondo la seguente relazione:

$$B_{RMR} = (R1+R2+R3+R4+R5)$$

- Pontetto B_{RMR} =41-64
- Bettolo 1 B_{RMR} =43-66
- Bettolo 2 B_{RMR} =48-66
- Fontana B_{RMR} =43-66

Il valore dell'indice RMR, necessario per l'assegnazione della classe di qualità della roccia, deve essere condotto valutando in questa fase l'orientazione delle discontinuità in rapporto alla disposizione del versante in funzione del valore assegnato al parametro R6 con riferimento all'orientazione del giunto di strato rispetto al versante: suborizzontale –5 (Pontetto, Bettolo 2 Fontana); franapoggio -25 (Bettolo 1)

$$RMR_{corretto}=BRMR+R6 = BRMR-5$$

- Pontetto $RMR_{corretto}$ =36-59
- Bettolo 1 $RMR_{corretto}$ =18-41
- Bettolo 2 $RMR_{corretto}$ =43-61
- Fontana $RMR_{corretto}$ =38-61

Classificazione GSI

Un approccio più moderno per la determinazione della qualità della roccia è quello che prevede l'uso del G.S.I. secondo il concetto sviluppato da Hoek di combinare l'assetto strutturale dell'ammasso con le caratteristiche delle discontinuità che lo separano, in modo da ottenere un indice che permetta il suo utilizzo per una valutazione accurata della resistenza e della deformabilità di un ammasso roccioso e correlato al valore del RMR di Bieniawski (1989), introducendo un predeterminato punteggio relativo alle condizioni idrauliche (R5=15) e all'orientazione dei giunti (R6=0) secondo la relazione:

$$GSI = RMR('89)-5 = (R1+R2+R3+R4+15) -5$$

- Pontetto GSI=41-59
- Bettolo 1 GSI=43-61
- Bettolo 2 GSI=43-61
- Fontana GSI=43-61

Tali valori appaiono coerenti (Tabella 2) con quanto riportato da Marinos & Hoek (2000) per ammassi eterogenei come i flysch. In particolare, il litotipo esaminato ricade nelle classi A (strati fragili ad intensa stratificazione) e B (strati fragili e sottili strati duttili).

In funzione della classe di appartenenza, a causa dell'intrinseca eterogeneità delle rocce flyschoidi, tipicamente costituite da alternanze di serie calcaree o arenacee fragili e di rocce pelitiche duttili, gli Autori propongono di derivare i parametri σc e mi da usare nella definizione delle caratteristiche di resistenza dal criterio di Hoek-Brown, utilizzando valori medi proporzionali, che per le classi A e B fanno riferimento alla roccia rigida, senza considerare gli interstrati pelitici, scarsamente rappresentativi nella successione.

6.2. PARAMETRI GEOMECCANICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO

In rapporto alle specifiche tipologie degli eventuali interventi previsti in corrispondenza delle falesie si ritiene più corretta l'assimilazione del substrato roccioso a un mezzo *discontinuo*.

In considerazione dello stato di fratturazione dell'ammasso e della presenza di diverse famiglie di giunti variamente orientate, occorre quindi valutare possibili cinematismi di rottura lungo le principali superfici di discontinuità, stimando coesione intercetta ed angolo di attrito di picco validi per il giunto caratteristico e tralasciando possibili rotture della matrice rocciosa, che offre condizioni di resistenza al taglio piuttosto elevate.

La resistenza meccanica del giunto dipende dal tipo di roccia, dalla sua rugosità, dal grado di alterazione e dall'eventuale presenza e natura del materiale di riempimento. Nel caso in esame si è scelto di adottare il criterio di Barton e Choubey (1977), spesso utilizzato nella pratica per la relativa facilità di determinare i parametri che lo definiscono.

L'inviluppo a rottura è di tipo non-rettilineo e, pertanto, i parametri di resistenza al taglio variano in funzione della tensione normale di riferimento, la curvatura è tanto più accentuata quanto più è elevato il valore di rugosità J.R.C.

L'espressione analitica rappresentativa di questo criterio è la seguente:

$$\tau=\sigma\tan\{\varphi_b + [JRC \log(JCS/\sigma)]\}$$

La definizione dei dati d'input da inserire nella relazione precedente è stata ottenuta confrontando i risultati ottenuti in fase di rilevamento e durante le analisi condotte; nel calcolo della resistenza al taglio si è scelto di considerare il limite inferiore e superiore di ciascun parametro, da cui si ottiene:

- JRC (Joint Roughness Coefficient): 4-6
- JCS (Joint Compressive Strength): 20-30 MPa;
- angolo d'attrito di base uguale a 30°.

Sostituendo i valori nella relazione sopra esposta e adottando la procedura illustrata da Hoek (2000), è stata preparata la relativa curva d'inviluppo a rottura valida per un giunto con caratteristiche piuttosto conservative, ritenuta ampiamente soddisfacente e coerente con i parametri desunti dal taglio diretto eseguito in laboratorio su campioni di materiale lapideo analogo.

In considerazione delle condizioni dell'ammasso roccioso i parametri di resistenza al taglio sono stati derivati utilizzando un range di tensione litostatica rappresentativa degli orizzonti superficiali, tra 0.05 MPa e 0.1 MPa (corrispondenti a una profondità tra 2 m e 5 m dal p.c.), per tale intervallo tensionale si ritiene accettabile una coppia di valori che prevede un angolo di attrito medio di 38°-44° ed una coesione intercetta contenuta, tra 5 kPa e 10 kPa (Barton, 1976) (Tabella 3).

I range di valori proposti appaiono sufficientemente coerenti con i parametri desunti dalle prove di taglio su giunto eseguite in laboratorio su campioni di materiale lapideo appartenente alla serie marnosa, seppure per litostatiche maggiori.

7. INTERVENTI DI DIFESA DEL LITORALE IN LOCALITA' SOTTOCHIESA

Nel presente capitolo sono stati ripresi e sintetizzati alcuni contenuti della Indagine Sedimentologica redatta nel mese di settembre 2021, per conto del Comune di Bogliasco, dalla Società Cooperativa Geoscape e vengono riassunti i contenuti progettuali conseguenti.

7.1. MORFOLOGIA DEI FONDALI

Il sito investigato presenta le caratteristiche tipiche di una costa alta litologicamente costituita da un flysch calcareo marnoso.

Per buona parte del suo sviluppo la falesia è a diretto contatto con il mare mentre nell'estremo settore di ponente, ai piedi della falesia su cui sorge la chiesa, è presente una piccola spiaggia limitata lateralmente da sporgenze rocciose che presenta una estensione di circa 35 metri ed è profonda circa 10 metri. A levante la spiaggia è limitata da una struttura in massi, posta protezione dello sperone roccioso che sostiene il tratto della passeggiata a mare nota come "belvedere". Tale struttura limita parzialmente il flusso di sedimenti indotto dalle correnti di deriva litoranea.

Il tratto di litorale residuo fino al Molo Sbolgi è caratterizzato oggi da una costa rocciosa estremamente frastagliata mentre in passato era occupato da una spiaggia artificiale, relativamente ampia, realizzata con il materiale di risulta proveniente dal raddoppio autostradale.

Sia la parte emersa sia la parte sommersa di questo tratto di litorale sono caratterizzate da fenomeni evidenti di erosione differenziata, che ha agito in maniera selettiva sui litotipi presenti nella formazione dei Calcari di Monte Antola, per cui le bancate più tenaci e meno soggette all'abrasione marina, rappresentate da calcari marnosi e calcareniti, si presentano in rilievo mentre quelle più tenere e più facilmente erodibili, costituite da argilliti e marne, formano delle depressioni.

Il motivo morfologico e strutturale che ne deriva è condizionato anche da una giacitura monoclinale direzionata circa NE – SW con inclinazione sub-verticale.

La morfologia sottomarina è caratterizzata dalla presenza di una piattaforma d'abrasione che si estende dalla battigia fino ad una distanza media circa 50 metri, con una profondità massima di 3.5 – 4.5 metri. Successivamente il fondale mostra una rottura della pendenza e si approfondisce fino ad oltre 6 metri.

La morfologia del fondale emerso nel tratto di mare antistante la costa rocciosa è condizionata dall'assetto geologico strutturale, in quanto le bancate più tenaci, affioranti dal fondale, costituiscono delle vere e proprie digitazioni che si spingono verso il largo separate da depressioni che assumono la forma di canali.

Nel settore occidentale, antistante la spiaggia, l'irregolare morfologia è obliterata dalla presenza della copertura sedimentaria grossolana, che declina con regolarità verso i fondali sabbiosi.

In questo tratto è presente un canale erosivo che si sviluppa nella parte centrale della spiaggia e prosegue in adiacenza alla bancata tenace che ha dato origine allo scoglio affiorante nell'estremo settore occidentale.

7.2. ANALISI SEDIMENTOLOGICA

Le indagini dei sedimenti di spiaggia, interpretate dal Dott. Marco Ferrari (Geoscape), sono state condotte su 4 campioni di materiale prelevati in corrispondenza del tratto di costa prospicente la spiaggia "sottochiesa", sia nella parte emersa, sia nella spiaggia sommersa, fino alla profondità massima di circa 10 metri.

Le analisi granulometriche sono state eseguite tramite setacciatura a secco, utilizzando una scala adeguata (Wenworth a ½φ) per determinare le caratteristiche dimensionali ed i parametri statistici di carattere sedimentologico.

Dal punto di vista granulometrico la spiaggia sottochiesa è caratterizzata da ghiaie fini con diametro medio pari a 7.2 mm nella spiaggia emersa e pari a 3.7 mm alla battigia.

Questi sedimenti risultano essere discretamente e/o mediocremente classati e con distribuzione simmetrica. I valori degli indici sedimentologici non sembrano indicare la presenza di vistosi fenomeni erosivi che interessano la spiaggia.

Nel tratto antistante la costa rocciosa sottostante il Lungomare Bettolo si distinguono due situazioni identificate come segue.

Nel settore interessato dalla piattaforma d'abrasione, in coincidenza delle depressioni strutturali sono presenti sedimenti misti, costituiti da blocchi, ciottoli, ghiaie e sabbie. Nelle immediate vicinanze della scogliera posta a protezione della passeggiata è presente un accumulo di ciottoli e massi, con diametro medio compreso tra 30 – 50 cm.

Oltre la piattaforma d'abrasione la spiaggia sommersa è invece caratterizzata da sabbie medie con diametri medi di circa a 0.33 – 0.39 mm, che presentano una discreta classazione.

Le agitazioni ondose principali (provenienti da SW) incidono sulla costa frontalmente; la dinamica sedimentaria si sviluppa quindi con movimenti prevalentemente trasversali (cross – shore) ed i movimenti lungo costa risultano essere estremamente blandi.

Le depressioni generate dall'assetto geo – strutturale del substrato roccioso favoriscono tuttavia una concentrazione del flusso di ritorno che genera intense correnti trasversali (channel rip) e la conseguente dispersione dei sedimenti verso il largo. La corrente in uscita più significativa (rip current) si sviluppa nella depressione posta nel settore centrale della spiaggia.

7.3. LINEAMENTI PROGETTUALI

7.3.1 Spiaggia di ponente

L'indagine sedimentologica ha evidenziato che questa spiaggia emersa ha un assetto sostanzialmente stabile: le perdite sono imputabili ai flussi traversali che disperdono al largo i sedimenti, favoriti dalla depressione del fondale nel settore centrale, lungo la quale si generano le correnti in uscita.

Il progetto prevede la realizzazione di un Plateau di massi d 1° categoria (0,3 – 1,0 ton) spinto fino al limite della roccia affiorante presente a ponente, in grado di limitare l'intensità dei flussi nel tratto iniziale della depressione (Figura 4).

Relativamente alla spiaggia emersa è previsto il ripascimento con ghiaia di pezzatura 7 – 10 mm per un avanzamento di almeno una dozzina di metri della linea di riva.

Per quanto riguarda la scogliera aderente realizzata a suo tempo a presidio della falesia e che limita la spiaggia a levante, è previsto il rinforzo della mantellata esistente con massi di IV categoria (6,0 – 10,0 ton), anche allo scopo di fornire un maggiore appoggio alla spiaggia di nuova formazione (Foto 13).



Foto 13



Foto 14



Foto 15



Foto 16

Le foto in sequenza 14,15,16, riprese rispettivamente in data 27.07.2010, 09.07.2015 e 15.02.2016 evidenziano la progressiva azione di demolizione della falesia da parte del moto ondoso, che ha reso necessaria la realizzazione in regime di urgenza della mantellata in massi per la parziale difesa del settore.

Il progetto attuale prevede il rinforzo della struttura esistente mediante massi di IV categoria.

7.3.2 Costa rocciosa

Un primo intervento di progetto è relativo alla difesa della falesia e delle infrastrutture sovrapposte. E' stata prevista pertanto la realizzazione di una berma di massi di III categoria (3,0 – 6,0 ton) posti in fregio alla parete rocciosa.

Preliminarmente agli ulteriori interventi di difesa del litorale roccioso mediante la realizzazione di una spiaggia, è stato previsto il riempimento dei canali presenti nella piattaforma d'abrasione con un Plateau di massi di 1° categoria (0,3 – 1,0 ton) allo scopo di eliminare potenziali vie di sviluppo di flussi trasversali che potrebbero disperdere al largo il materiale.

Il progetto prevede quindi il ripascimento con ciottoli di pezzatura 100 – 150 mm, che favorisca la ricostituzione di una spiaggia di profondità di almeno 20 – 25 metri dalla costa.

Al fine di fornire maggiore stabilità al versamento è stato ritenuto necessario realizzare un pennello di spalla in coincidenza del limite orientale del settore di intervento, utilizzando massi di terza categoria nella parte emersa e di quarta categoria nel tratto sommerso.

La radice del nuovo pennello sarà posta in corrispondenza dei due affioramenti rocciosi presenti, che si sviluppano trasversalmente alla costa, che saranno inglobati all'interno della struttura.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio è stato orientato a fornire un quadro generale delle criticità del comparto costiero di Bogliasco, nel tratto compreso fra la chiesa parrocchiale e la scogliera di Pontetto, già individuate nello studio di prefattibilità redatto per conto dell'amministrazione comunale.

Nel corso della disamina sono stati enucleati tutti gli interventi di messa in sicurezza delle falesie realizzati nel corso degli anni, in modo tale che le risorse disponibili possano essere concentrate sulle criticità residue.

Gli studi in corso, corredati da rilievi batimetrici di dettaglio già realizzati e dal prelievo di una serie di campioni del fondale marino sono finalizzati a definire i flussi sedimentari all'interno della baia di Bogliasco.

Il presente rapporto tecnico, dopo la parte di inquadramento generale, è stato orientato a supportare, con considerazioni di carattere più spiccatamente geologico, le scelte progettuali a carattere definitivo relative ad un secondo lotto di interventi in località "Sottochiesa, dove l'azione del mare rende necessari interventi di mitigazione dell'energia del moto ondoso.

La tipologia dell'intervento progettato è concentrata su alcune opere che incrementino l'efficacia delle strutture di difesa esistenti e su altre opere, di nuova realizzazione, che determino una decisa mitigazione dell'energia delle onde e della loro azione erosiva sulla costa rocciosa.

Nel progetto specifico, cui è riferito il presente rapporto tecnico sono state individuate, le opere necessarie alla difesa della costa e, attraverso l'analisi dei profili di equilibrio proposta nello studio sedimentologico, le granulometrie idonee al ripascimento delle aree oggetto di studio, nonchè i quantitativi di materiale necessario agli interventi.

La spiaggia di ponente, come riportato precedentemente, oltre a richiedere una risistemazione della struttura posta al limite orientale, necessita di una modifica della morfologia del fondale allo scopo di limitare la formazione della rip current che si sviluppa nel settore centrale della spiaggia, accompagnato da un ripascimento. Le tessiture dei sedimenti versanti dovrebbero essere comprese tra 7 e 10 mm ed il quantitativo necessario, calcolato con il profilo d'equilibrio, è pari a circa 1500 m^3.

Relativamente alla costa rocciosa si dovrà prevedere la realizzazione, a levante di una struttura di contenimento ed una regolarizzazione della piattaforma d'abrasione con il riempimento delle principali depressioni. Successivamente si potrà procedere con il ripascimento costituito da ciottoli. Sulla base dei risultati dell'analisi sedimentologica le tessiture consigliate sono quelle più grossolane, 100 e 150 mm, che garantiscono una minor penetrazione del moto ondoso sulla costa e consentono di utilizzare un quantitativo minore di materiale.

I quantitativi determinati con i profili di equilibrio indicano versamento di circa 3000 m^3.

Chiavari, 12 ottobre 2021

Dott. geol. Giacomo Canepa



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

BIENIAWSKI Z.T. (1989) - *Engineering rock mass classification*. J. Wiley & Sons

BRUSCHI A. (2005) - "*Meccanica delle rocce*". Dario Flaccovio Editore

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI (2019) - Circolare 21.01.2019 n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018"

DAGH WATSON s.p.a. (1985): Studio dell'assetto e della difesa della costa

FALCIONI C., NOSENGO S., PAOLETTI L., PEDEMONTE S. (1995) - *"Caratteristiche di resistenza al taglio di discontinuità in roccia per alcuni litotipi liguri"*. Pg Professione Geologo, n. ½

GEOSCAPE S.r.l. (2021) – "*Intervento di ripristino del litorale compreso tra la spiaggia sotto la chiesa ed il molo Sbolgi – Indagine sedimentologica"*

HOEK E., CARRANZA-TORRES C., CORKUM B. (2002) - "*Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition"*. Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002.

HOEK E, DIEDERICHS M.S. (2005) - "*Empirical estimation of rock mass modulus",* International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43 (2006) 203-215

LUCCHETTI A., BRANDOLINI P., FACCINI F., FIRPO M. (2014) . "*Proposta di valutazione della stabilità delle coste rocciose (SCMR – Sea Cliff Mass Rating): il caso studio delle falesie tra Genova e Camogli (Liguria orientale)*". Studi Costieri 2014 -22

MARINOS P. E HOEK E. (2000) - *"GSI: a geologically friendly tool for rock mass strenght estimation"*. GeoEng 2000, Melbourne

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI (2008) - Decreto Ministeriale 17.01.2018, *"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"*.

PROVINCIA DI GENOVA, Area 06 Difesa del Suolo, Opere ambientali e Piani di Bacino (2002) - "*Ambito 14 Piano di Bacino stralcio D.L. 180/98 e s.m.i."*

REGIONE LIGURIA (2006) - Ambiente e Territorio -"*Tavoletta 1:25000- Genova* "

REGIONE LIGURIA (2006): Dinamica sedimentaria della baia di Bogliasco

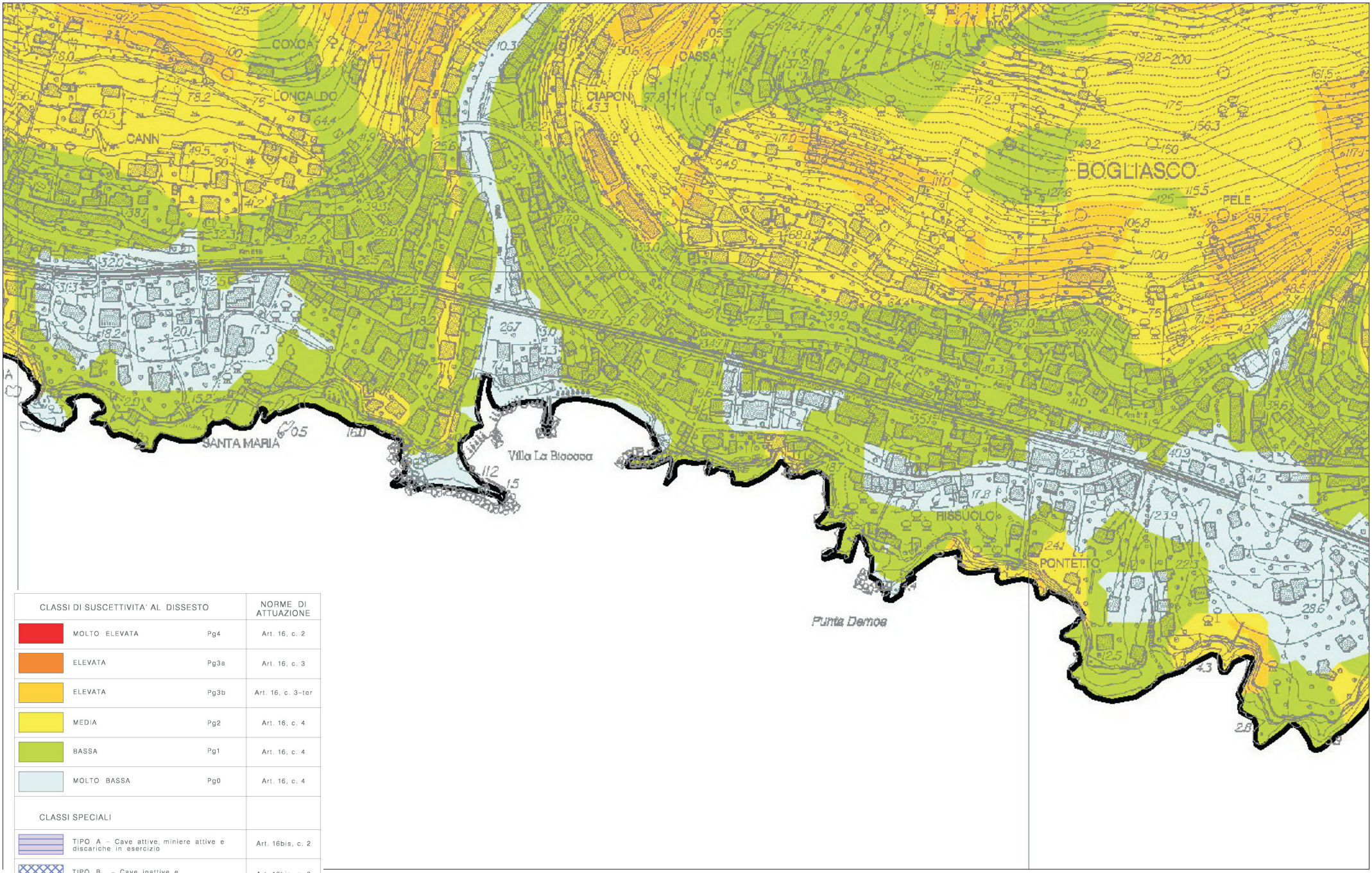
ROCLAB V.1.031 (2007) - *"Rock mass strenght analysis*" Software freeware distribuito da rockscience inc., Toronto (Can)

SERVIZIO GEOLOGICO ITALIANO (1968) - Carta Geologica d'Italia, in scala 1:100000, F° 83 *Rapallo* 2° ed.

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA Tecnica e Ambientale (2021) – *"Analisi della costa del Comune di Bogliasco con individuazione delle criticità e proposte di intervento per la sua riqualificazione/protezione – Intervento in località Fontana"*



FIGURA 1
INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO
in scala 1:5000



CLASSI DI SUSCETTIVITA' AL DISSESTO		NORME DI ATTUAZIONE
MOLTO ELEVATA	Pg4	Art. 16, c. 2
ELEVATA	Pg3a	Art. 16, c. 3
ELEVATA	Pg3b	Art. 16, c. 3-ter
MEDIA	Pg2	Art. 16, c. 4
BASSA	Pg1	Art. 16, c. 4
MOLTO BASSA	Pg0	Art. 16, c. 4
CLASSI SPECIALI		
TIPO A – Cave attive, miniere attive e discariche in esercizio		Art. 16bis, c. 2
TIPO B_1 – Cave inattive e miniere abbandonate		Art. 16bis, c. 3
TIPO B_2 – Discariche dismesse e riporti antropici		Art. 16bis, c. 5
Criticita' puntuale – lesione ai manufatti identificata dal PUC di Genova vigente		

FIGURA 2A
ESTRATTI CARTOGRAFICI PDB
Carta della suscettività al dissesto
Ambito 14 - in scala 1:5000

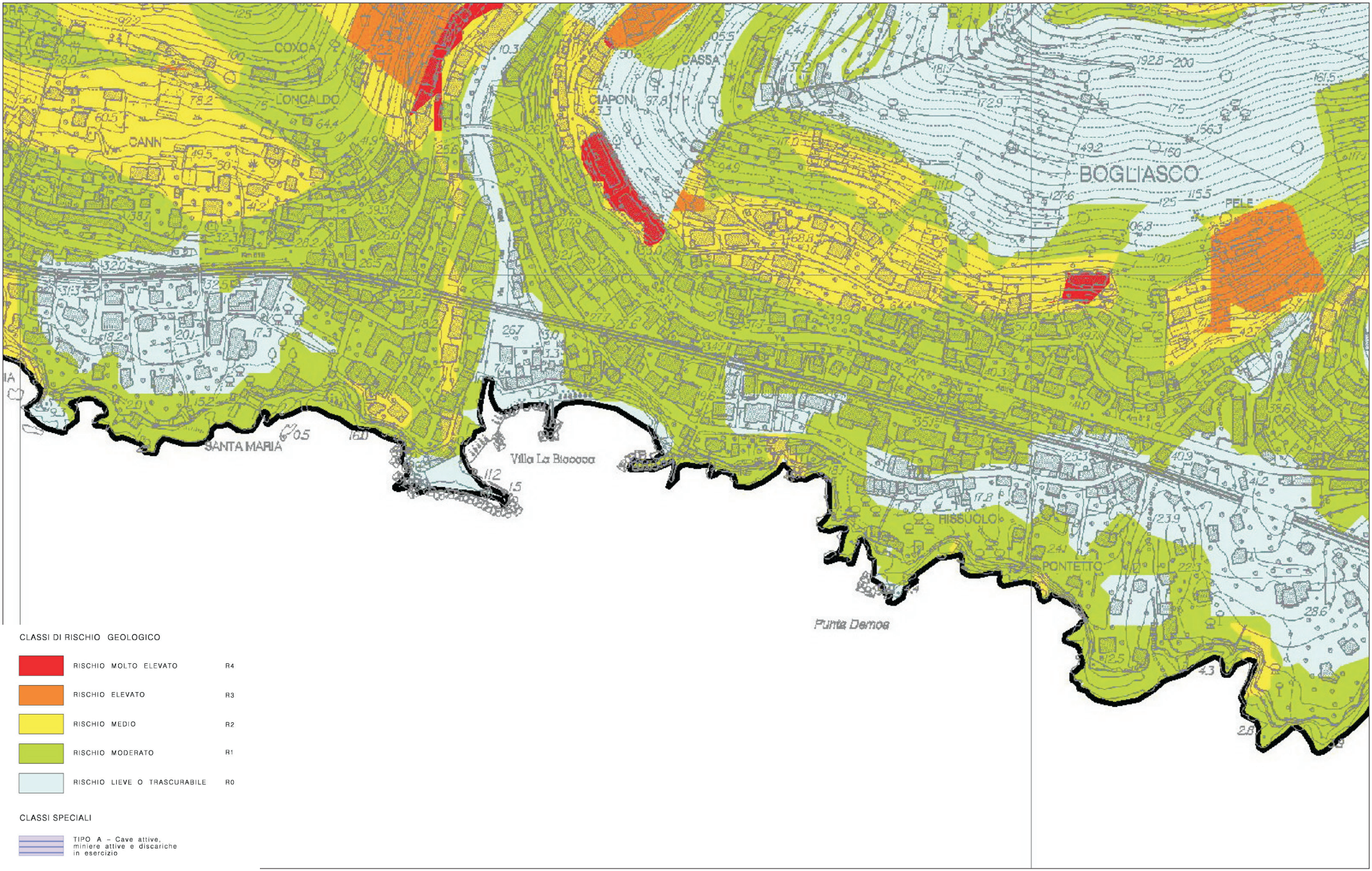


FIGURA 2B
ESTRATTI CARTOGRAFICI PDB
Carta del rischio geologico
Ambito 14 - in scala 1:5000

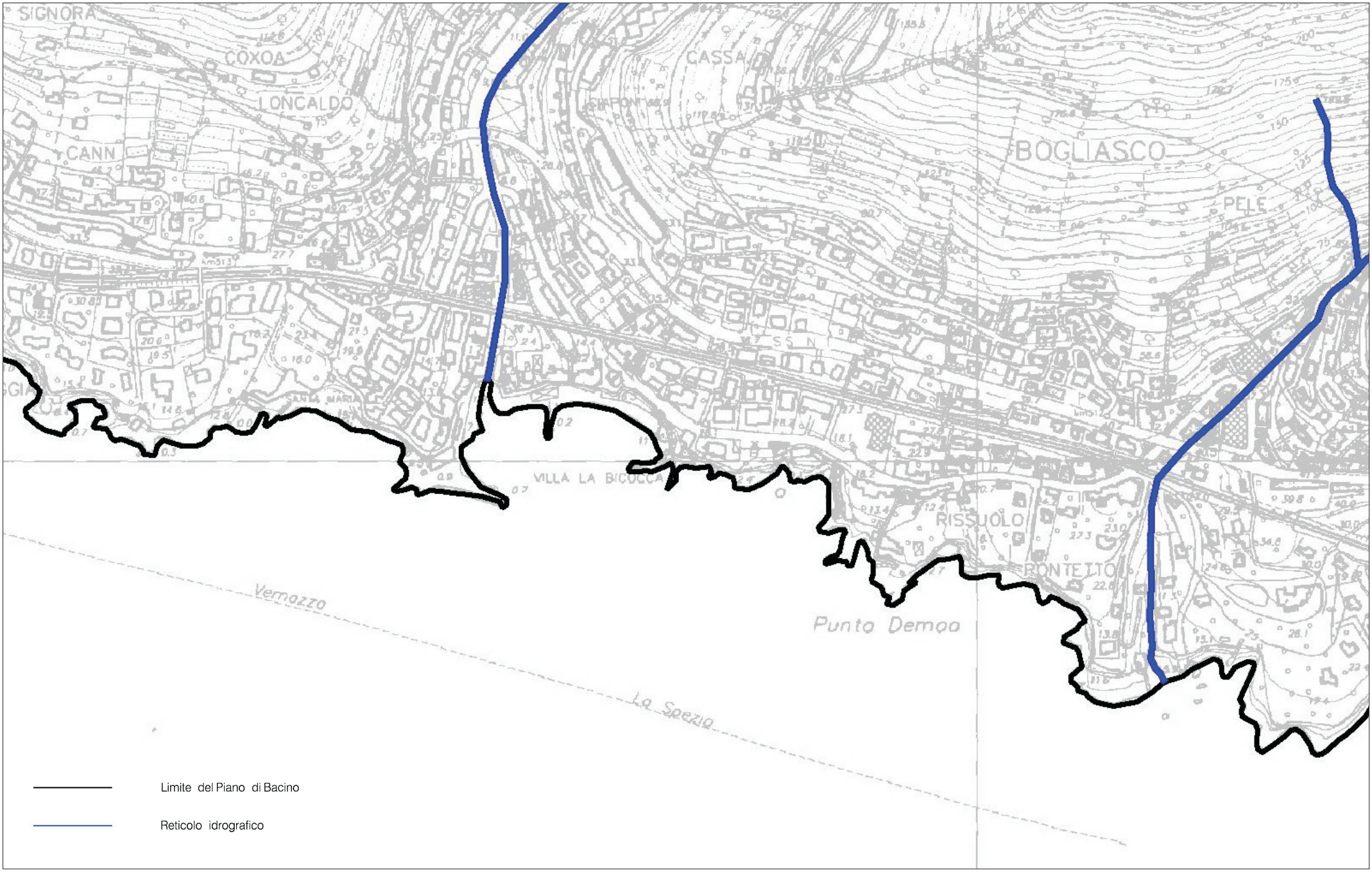


FIGURA 2C
ESTRATTI CARTOGRAFICI PDB
Carta del reticolo idrografico sisgnificativo
Ambito 14 - in scala 1:5000

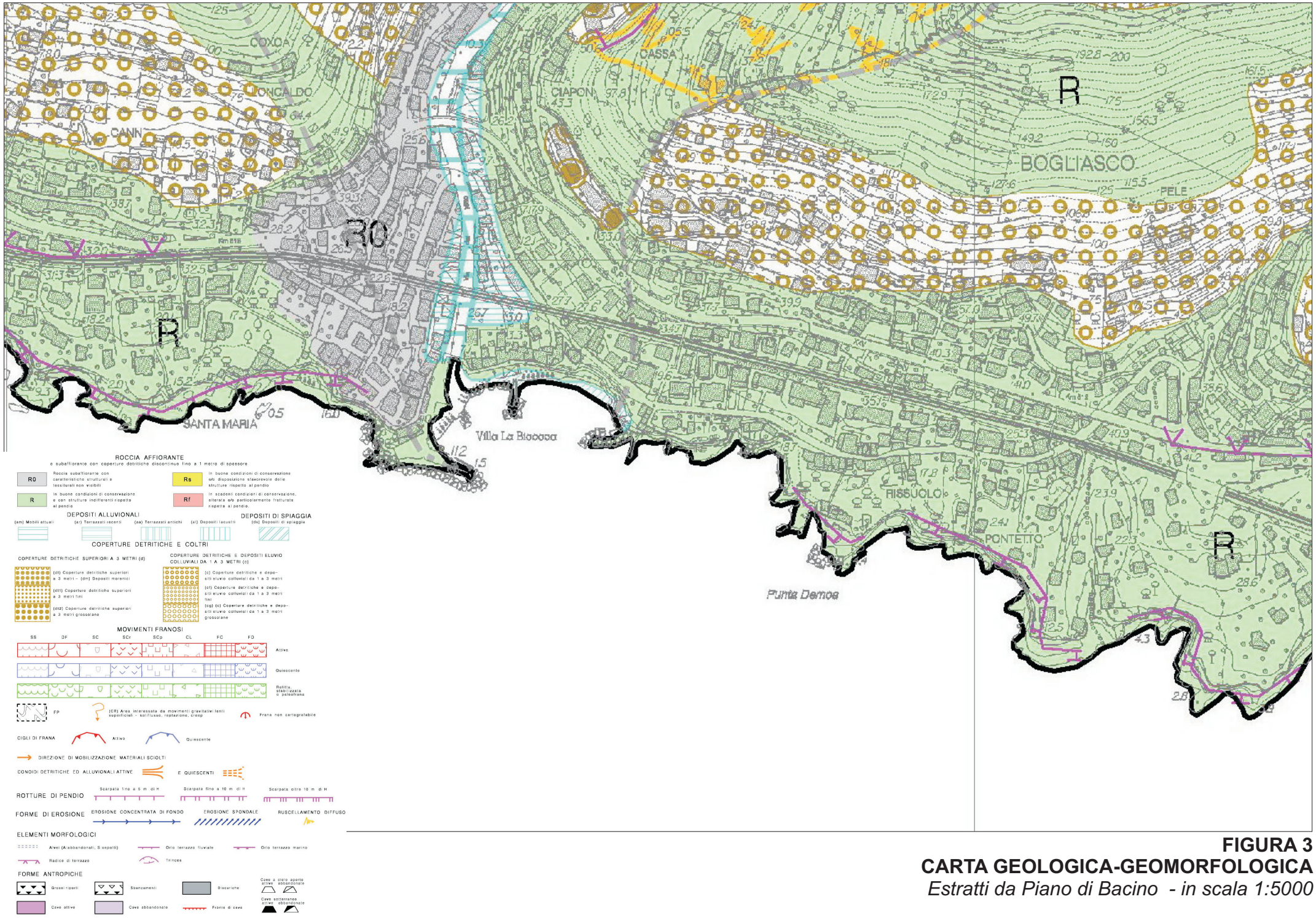
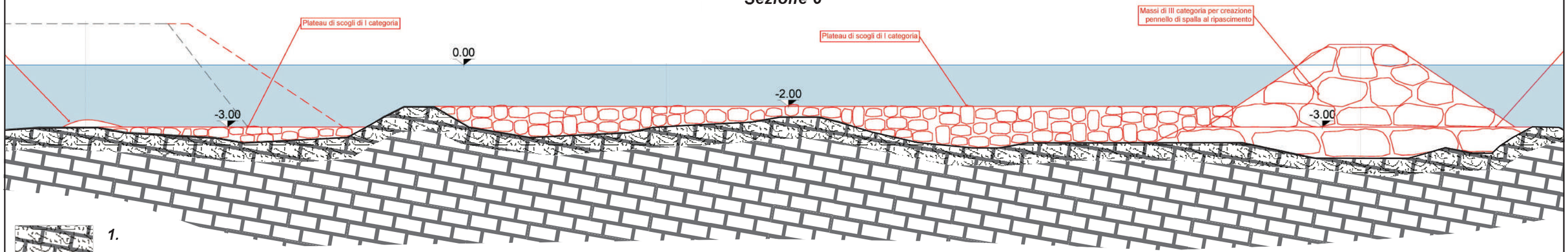


FIGURA 3
CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA
Estratti da Piano di Bacino - in scala 1:5000

Sezione 6



1.

2.

3.

1. Orizzonte roccioso superficiale molto alterato e fratturato, talora disarticolato in blocchi; 2. Substrato roccioso di natura calcareo-marnosa (Flysch di Monte Antola) con struttura tipicamente litoide e grado di fratturazione medio; 3. Opere a progetto.

Sezione trasversale in scala 1:200



Planimetria dell'area in scala 1:400

FIGURA 4
PLANIMETRIA DELL'AREA E SEZIONE STRATIGRAFICA
in scala 1:400/200

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI									
PARAMETRI									
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Per tale intervallo è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	>250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	<1 Mpa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE DEI GIUNTI (vedi F.)		Superfici molto scabre non continue pareti roccia dura	Superfici scabre apertura <1 mm pareti roccia dura	Superfici scabre apertura < 1 mm	Superfici lisce o laminate riempimento <5mm apertura 1-5 mm giunti continui	Riempimento tenero spessore >5 mm giunti aperti >5 mm giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10 m lunghezza tunnel [l/m]	assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti/soll. Nat. In sito	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	completamente asciutto	umido	molto umido	stillicidio	severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI							
6	Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavoreole	Molto sfavorevole
	INDICE	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
		Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
		Pendii	0	-5	-25	-50	

C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI						
Indice RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<21	
Classe	I	II	III	IV	V	
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente	

D.SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO					
Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno (L=lunghezza libera dello scavo)	20 anni per L=15m	1 anno per L=10 m	1 settim. Per L=5 m	10 ore per L=2.5 m	30 min per L=1 m
Coesione dell'ammasso roccioso [kPa]	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso [°]	>45	35-45	25-35	15-25	<15

E: LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITA'					
Lunghezza delle discontinuità (persistenza)	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
Indice	6	4	2	1	0
Separazione (apertura)	nessuno	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5 mm
Indice	6	5	4	1	0
Scabrezza	Molto scabro	Scabro	Leggerm. Scabro	Lisce	Lisce o laminate
Indice	6	5	3	1	0
Riempimento	nessuno	duro <5 mm	duro >5 mm	tenero <5 mm	tenero >5 mm
Indice	6	4	2	2	0
Alterazione	Non alterato	Leggerm. alterato	Moderatm. alterato	Altam. alterato	Decomposto
Indice	6	5	3	1	0

F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITA' SULLA STABILITA' DI UNA GALLERIA				
	Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45°-90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20°-45°	Inclinazione 45°-90°	Inclinazione 20°-45°
	Molto favorevole	Favorevole	Molto favorevole	Discreta
	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45°-90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20°-45°	Inclinazione 0°-20° a prescindere dallo strike	
	Discreto	Sfavorevole	Discreta	

Sistema di classificazione degli ammassi rocciosi di Bieniawski, versione 1989

TABELLA1
CLASSIFICAZIONE RMR
DI BIENIAWSKI

TABELLA 2
VALORI GSI INDICATI PER ROCCE TIPO FLYSCH

TABELLA 3
INVILUPPO A ROTTURA
GIUNTO CARATTERISTICO

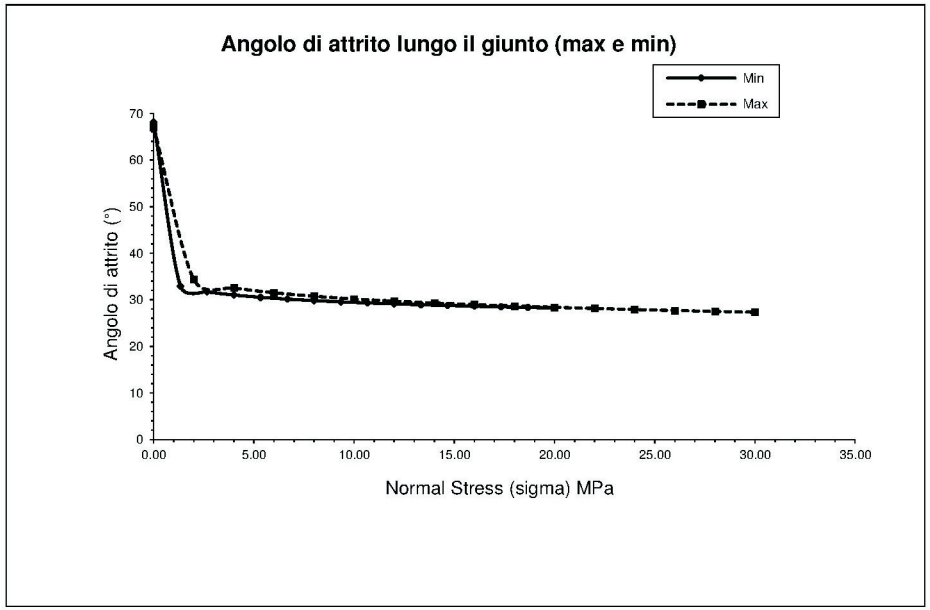
Caratterizzazione del giunto

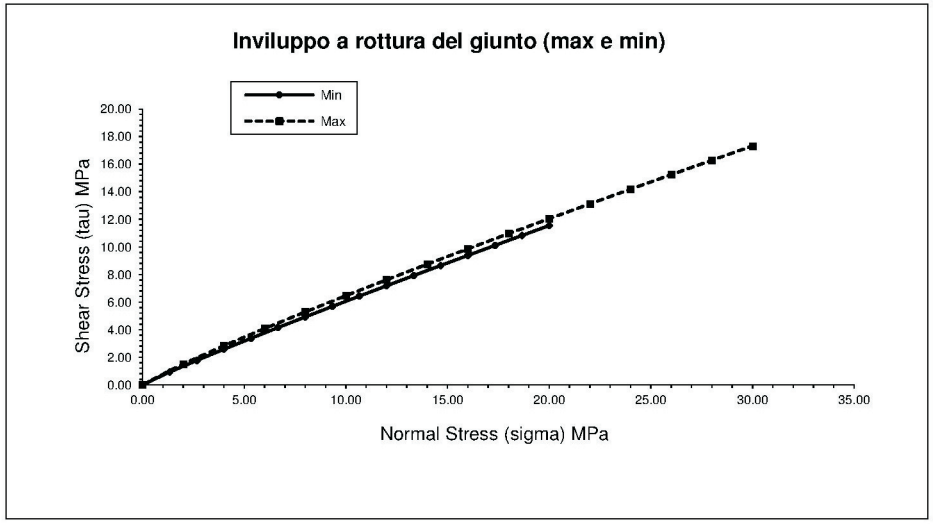
secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

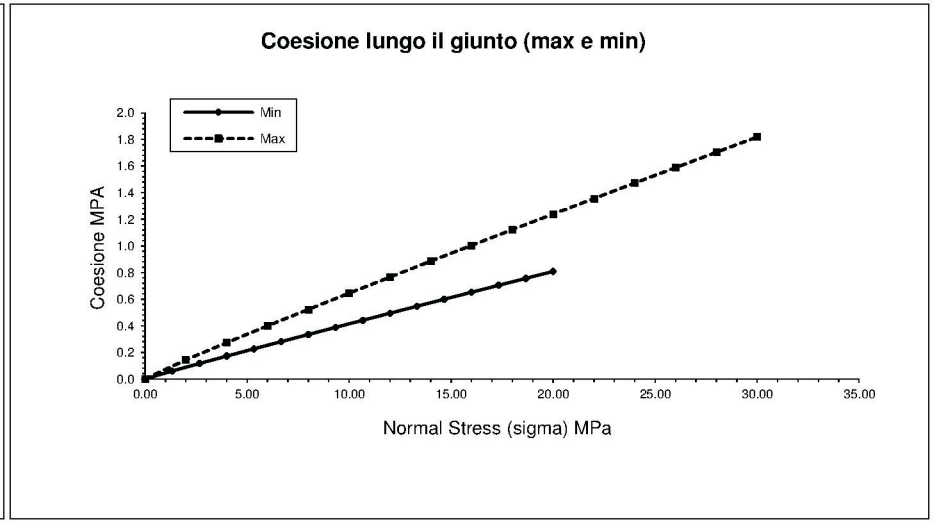
Dati d'ingresso	Min	Max	
Angolo di attrito di base	30.0	30.0	[°]
Joint Roughness Coefficient	4.0	6.0	[1]
Joint Compressive Strenght	20.0	30.0	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso	26.0		[kN/m^3]

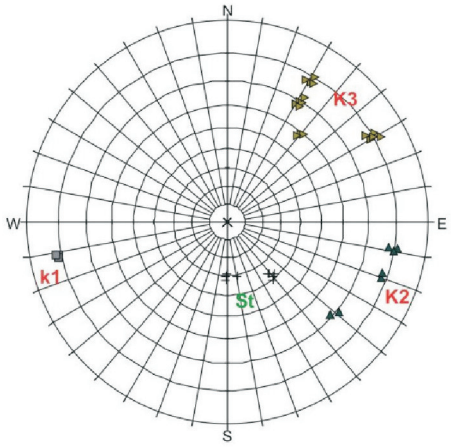
Campo di applicabilità				
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n\ min}$	0.0	0.0	MPa
	$\sigma_{n\ max}$	20.0	30.0	MPa

Stato tensionale previsto			Coesione [kPa]		Angolo di attrito	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	2.00	0.052	2.7	5.0	38.6	43.8
prof. max	5.00	0.130	6.5	11.5	37.0	41.5





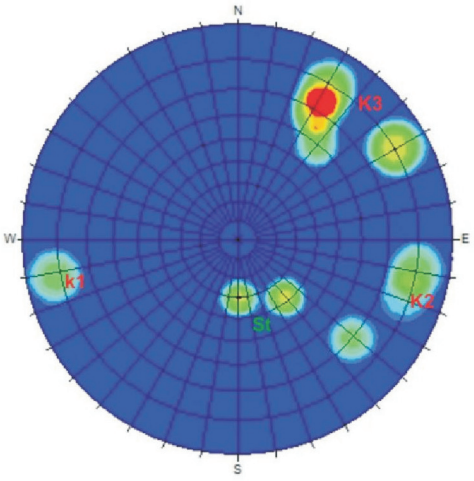




TYPE

K1 [3]
K2 [8]
K3 [17]
St [10]

Equal Angle
Lower Hemisphere
38 Poles
38 Entries

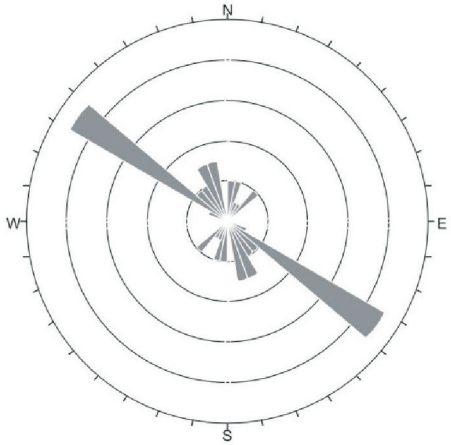


Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 2.50 %
2.50 ~ 4.06 %
4.06 ~ 5.63 %
5.63 ~ 7.19 %
7.19 ~ 8.75 %
8.75 ~ 10.31 %
10.31 ~ 11.88 %
11.88 ~ 13.44 %
13.44 ~ 15.00 %
>15.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 21.0320%

Equal Angle
Lower Hemisphere
38 Poles
38 Entries

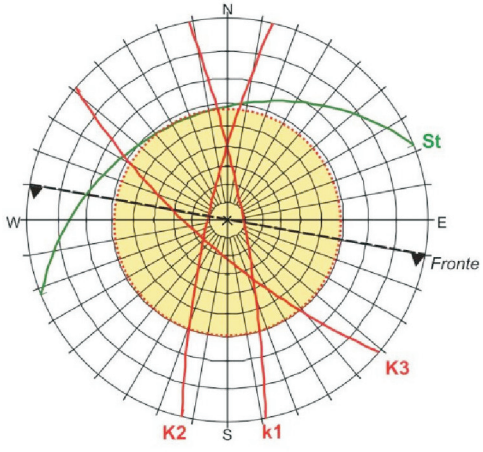


Apparent Strike
10 max planes / arc
at outer circle

Trend / Plunge of
Face Normal = 0, 90
(directed away from viewer)

No Bias Correction

28 Planes Plotted
Within 45 and 90
Degrees of Viewing
Face

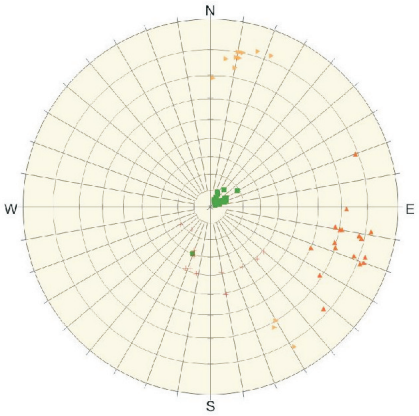


Orientations

ID		Dip / Direction
St	m	33 / 338
K1	m	81 / 079
K2	m	79 / 283
K3	m	73 / 221

Equal Angle
Lower Hemisphere
38 Poles
38 Entries

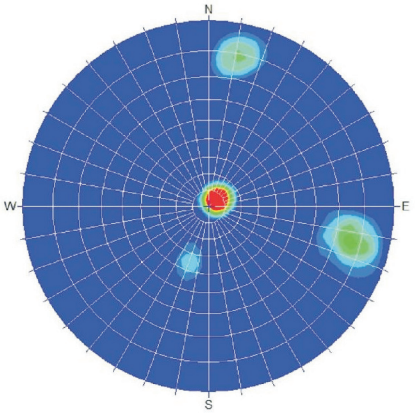
TABELLA 4A
ANALISI CINEMATICA
STAZIONE GEOMECCANICA BETTOLO



TYPE

St [29]
k1 [19]
k2 [13]
k3 [13]

Equal Angle
Lower Hemisphere
74 Poles
74 Entries

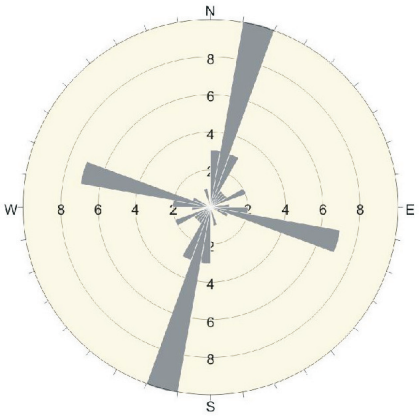


Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 3.50 %
3.50 ~ 5.56 %
5.56 ~ 7.63 %
7.63 ~ 9.69 %
9.69 ~ 11.75 %
11.75 ~ 13.81 %
13.81 ~ 15.88 %
15.88 ~ 17.94 %
17.94 ~ 20.00 %
>20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 34.8089%

Equal Angle
Lower Hemisphere
74 Poles
74 Entries

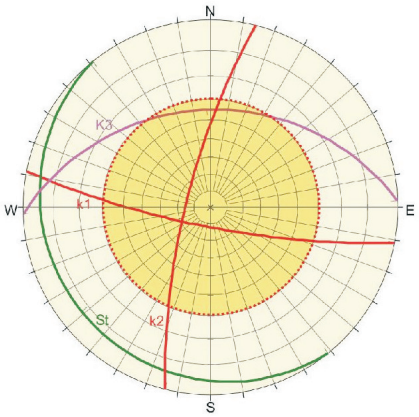


Apparent Strike
10 max planes / arc
at outer circle

Trend / Plunge of
Face Normal = 0, 90
(directed away from viewer)

No Bias Correction

33 Planes Plotted
Within 45 and 90
Degrees of Viewing
Face



Orientations

ID	Dip / Direction
St	07 / 231
K1	78 / 191
K2	75 / 284
K3	35 / 358

Equal Angle
Lower Hemisphere
74 Poles
74 Entries

TABELLA 4B
ANALISI CINEMATICA
STAZIONE GEOMECCANICA PONTETTO