Committente:

COMUNE DI GENOVA

Via Garibaldi, 9 - 16124 Genova

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

Oggetto:

OPERE DI PRESIDIO A MARE A PROTEZIONE DEL CORPO DI FRANA INTERESSANTE I TERRAZZAMENTI DI PERTINENZA DEI CIVV. 39,41,43,45,47 DI VIA AURELIA - LOC. CAPOLUNGO

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

Titolo elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE
(documento redatto da Dott. Geol. Ing. J. Alessandra Fantini)

Progettista:

INGEPRO Ingegneri Associati

Corso Torino 17/6 sc.A - 16129 Genova
Tel. 010.5740568 - fax : 010.4211059
e-mail: studio@ingepro.eu - PEC: studio@pec.ingepro.eu
C.F. e P. IVA: 02726060995

0	29.07.2022	AV	ST	AF	Emissione
Revisione	Data	Redatto da:	Verificato da:	Approvato da:	Descrizione

Nome file:	Scala:	Commessa:	Livello prog:	Elaborato:
P007.SA.R02.00_Relazione geologica preliminare		P007	SA	R02

Dott. geol. ing. J. ALESSANDRA FANTINI
Corso Italia 14/1 – 16145 GENOVA
Tel. e Fax. 010.319.88.81 – Cell. 339.333.58.66
www.studiotecnicofantini.it

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

COMUNE DI GENOVA

DIREZIONE INFRASTRUTTURE E DIFESA DEL SUOLO
SETTORE ATTUAZIONE OPERE IDRAULICHE
VIA DI FRANCIA 3 (3° PIANO)
16149 GENOVA (GE)

RELAZIONE GEOLOGICA

OPERE DI PRESIDIO A MARE A PROTEZIONE DEL CORPO DI FRANA INTERESSANTE I TERRAZZAMENTI DI PERTINENZA DEI CIVV. 39, 41, 43, 45, 47 DI VIA AURELIA – LOC. CAPOLUNGO, GENOVA

C.U.P. B37H16000240004 – C.I.G. ZEB34FE89B – MOGE 16464_15

RELAZIONE TECNICA RESA AI SENSI:

- ✓ del D.M. 17.01.2018
- ✓ del Piano di Bacino Ambito 14
- ✓ delle Norme Geologiche di Attuazione del PUC di Genova

ALESSANDRA FANTINI

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

INDICE

ELENCO ALLEGATI 3
INDICE DELLE FIGURE 3
1 – PREMESSA 4
2 – ESAME DEL PROGETTO 5
3 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO 6

3.1 – INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA 6
3.2 – DESCRIZIONE DEI LUOGHI E DEL FENOMENO FRANOSO 10
3.3 – ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI 13
3.4 – ASPETTI IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI 19

4 – EVOLUZIONE E STABILITÀ DELLA COSTA ALTA ROCCIOSA 21
5 – MODELLIZZAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE 25
6 – INDICAZIONI OPERATIVE 27
7 – RIFERIMENTI AMMINISTRATIVI 27

7.1 – DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018 27
7.2 – VINCOLO IDROGEOLOGICO 27
7.3 – NORME GEOLOGICHE DI ATTUAZIONE 28
7.4 – PIANO DI BACINO 30
7.5 – RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE 31

8 – CONCLUSIONI 32

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

ELENCO ALLEGATI

- ✓ **Documentazione fotografica**
- ✓ **TAVOLA A: Corografia dell'area in esame su C.T.R. in scala 1:5000**
- ✓ **TAVOLA B: Corografia dell'area in esame su C.T.C. in scala 1:1000**
- ✓ **TAVOLA C: Carta di Analisi in scala 1:2500**
- ✓ **TAVOLA D: Planimetria con individuazione affioramenti e criticità in scala 1:400**
- ✓ **TAVOLA E: Planimetria con tracce sezioni geologiche interpretative e punti di vista fotografici in scala 1:400**
- ✓ **Tavola F: Sezioni geologiche interpretative in scala 1:400**
- ✓ **Articolo scientifico: 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: 145-157.**

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Ortofoto in scala 1:1000 dell'area oggetto di indagine (anno 2019, fonte: Geoportale Regione Liguria). 7
Figura 2 – Estratto di planimetria catastale dell'area in esame (anno 2021, fonte: layer "Catasto Terreni" del Geoportale Regione Liguria). 8
Figura 3 – Estratto di planimetria catastale dell'area, sovrapposta all'ortofoto del 2019 (medesime fonti delle Figure 1 e 2). 9
Figura 4 – Zonizzazione della "Suscettività al dissesto dei versanti" del Piano di Bacino Ambito 14 e relativa legenda, sovrapposta su Carta Tecnica Comunale (fonte: Geoportale Regione Liguria e Geoportale Comune di Genova). 13
Figura 5 – Estratto fuori scala della Carta Geologica del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame. 14
Figura 6 – Stereogramma rappresentante le giaciture della superficie di stratificazione S_0 (nero) e delle famiglie di fratture F1 (rosso), F2 (blu) e F3 (verde). 15
Figura 7 – Estratto fuori scala della Carta Geomorfologica del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame. 16
Figura 8 – Evoluzione della linea di costa nei periodi 1944-1993 (arancione), 2003-2013 (blu) e 2016 (rosso), sovrapposti a ortofoto dell'area in esame (fonte: layer "Evoluzione della linea di costa dal 1944 al 2016" del Geoportale Regione Liguria). 18
Figura 9 – Estratto fuori scala della Carta del Reticolo Idrografico Regionale (D.G.R. n°507/2019) e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame. 20
Figura 10 – Estratto fuori scala della Carta Idrogeologica del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame. 21
Figura 11 – Confronto della falesia sottostante il cimitero di Camogli negli anni 2005, 2011 (fonte: Lucchetti et Al. 2014) e 2021 (fonte: Primocanale). 23
Figura 12 – Confronto della falesia sottostante il cimitero di Sori negli anni 2007 e 2012 (fonte: Lucchetti et Al. 2014). 23
Figura 13 – Confronto della falesia oggetto del presente intervento, in località Capolungo, negli anni 2005, 2014 (fonte: Lucchetti et Al. 2014) e 2022 (fotografata dalla scrivente). 24
Figura 14 – Figura 4 dell'articolo Lucchetti et Al. 2014. 24
Figura 15 – Estratto fuori scala della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame. 26
Figura 16 – Estratto fuori scala della Carta dei Vincoli Geomorfologici e Idraulici del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame. 28
Figura 17 – Estratto fuori scala della Carta di Zonizzazione geologica del territorio del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame. 29
Figura 18 – Estratto fuori scala della Carta di Zonizzazione geologica del territorio del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame. 31

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

1 – PREMESSA

Con riferimento al progetto per la realizzazione di "opere di presidio a mare a protezione del corpo di frana interessante i terrazzamenti di pertinenza dei civv. 39, 41, 43, 45, 47 di via Aurelia – Loc. Capolungo, Genova" la scrivente – in conformità al D.M. 17.01.2018, alle Norme Geologiche di Attuazione del PUC del Comune di Genova e al Piano di Bacino Ambito 14 – è stata incaricata di svolgere le necessarie indagini, al fine di definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche dell'area d'intervento, analizzare le criticità del tratto costiero in esame e individuare eventuali problematiche di natura geologica e geotecnica in grado di influenzare negativamente l'opera a progetto.

Lo studio si prefigge quindi, nella fase di fattibilità della presente relazione, di descrivere compiutamente il modello geologico del sito, delineare a caratteri generali le caratteristiche stratigrafiche e sismiche dei terreni coinvolti nell'intervento e indirizzare correttamente la progettazione definitiva-esecutiva delle opere di presidio a mare.

La presente relazione è stata redatta a supporto della scelta della tipologia d'intervento di mitigazione del rischio più idonea, in funzione delle caratteristiche geologiche del sito e del livello di rischio dell'area in esame.

Le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, stratigrafiche e geotecniche dell'area oggetto di intervento e di un suo intorno significativo sono state evidenziate attraverso:

- precedente attività svolta dalla scrivente sul sito in esame in qualità di CTU dell'accertamento tecnico preventivo promosso a seguito dell'evento franoso del 2014;
- ricerca bibliografica presso enti locali (Comune di Genova, Città Metropolitana di Genova, Regione Liguria) e Università di Genova;
- consultazione della Banca Dati delle indagini geognostiche della Regione Liguria;
- analisi della cartografia tematica esistente e delle ortofoto disponibili;
- sopralluoghi e rilevamenti di campagna;
- rilievo geomeccanico dei fronti rocciosi esposti.

Per quanto concerne la definizione della stratigrafia dei terreni interessati dall'intervento si è fatto riferimento al rilevamento geologico di superficie e a precedenti campagne di indagini svolte nell'ambito della frana che ha coinvolto i

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

civv. 39-47 di Via Aurelia, reperite nella Banca Dati delle Indagini Geognostiche della Regione Liguria.

La relazione è stata quindi articolata nel seguente ordine:

- Esame del progetto;
- Caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
- Modellazione sismica e pericolosità sismica di base;
- Indicazioni a supporto dell'opera a progetto in base ai risultati ottenuti.

2 – ESAME DEL PROGETTO

Di seguito si riportano gli aspetti essenziali, qui d'interesse, dell'intervento; per maggior dettaglio si rimanda alle tavole di progetto e alla relazione tecnica ad esse allegata.

Il progetto prevede la realizzazione di una scogliera in massi ciclopici, posta al piede della falesia franata e dell'accumulo di materiale coinvolto nel dissesto. Tale opera di difesa costiera avrà la finalità di proteggere dall'azione erosiva del moto ondoso il piede della falesia, evitando così il progredire dei fenomeni di dissesto, impedendo l'erosione e lo scalzamento alla base del materiale detritico accumulatosi a seguito della frana del 2014 e alla base della falesia stessa.

Il progetto prevede la realizzazione di una scogliera in massi naturali di III e IV categoria, a quota di +3,0 m da l.m.m e soprastante scogliera di rinforzo in massi naturali di III e IV categoria, a quota di +4,5 m da l.m.m.

Tale opera avrà un'estensione planimetrica pari a circa 78 m e raggiungerà la profondità massima di -2,0 m da l.m.m.

La scogliera di rinforzo a quota +4,5 m non avrà sviluppo continuo ma verrà realizzata solo in corrispondenza di due settori che presentano particolare criticità, ovverosia la struttura muraria lesionata, presente al limite Ovest dell'area in frana e il blocco roccioso lesionato e fratturato osservabile nel settore orientale del deposito di frana. Tale scelta progettuale è stata suggerita dalla scrivente in base al rilievo di dettaglio dello stato dei luoghi e recepita nella soluzione oggi presentata.

Da un punto di vista geologico le maggiori difficoltà emergenti dall'analisi dell'intervento appaiono quelle derivanti dalla cantierizzazione dell'area: le attività di cantiere infatti dovranno essere svolte necessariamente da mare, attraverso l'impiego di un pontone, non essendo possibile, a causa dell'acclività e della pericolosità del versante, accedere dall'alto.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

L'approvvigionamento del materiale avverrà quindi da mare mentre la sua movimentazione e il definitivo posizionamento verranno effettuati attraverso un escavatore, posizionato al piede del versante. Tale attività dovrà essere svolta rigorosamente in condizioni meteo-marine ottimali, allo scopo di ridurre al minimo il rischio per le maestranze.

Ulteriore elemento cui porre particolare attenzione, in relazione alla sicurezza sia delle maestranze che saranno coinvolte in fase esecutiva sia dei luoghi, sarà quello relativo al monitoraggio in tempo reale delle eventuali deformazioni e cedimenti che si dovessero manifestare sul versante in frana e sui manufatti presenti. Ciò al fine di garantire la possibilità di allertare tempestivamente i lavoratori e permettere loro di mettersi in sicurezza attraverso l'allontanamento dal cantiere.

La messa in sicurezza del piede della falesia al fine di proteggere la stessa dall'azione erosiva del moto ondoso dipenderà dalla corretta realizzazione delle opere di presidio a mare dell'area in frana.

3 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Il presente capitolo è stato elaborato a partire dai contenuti della Consulenza Tecnica d'Ufficio relativa all'A.T.P. R.G. 10994/2014 redatta nel 2015 dalla scrivente e dall'ing. Aldo Signorelli, integrati dai contenuti dell'articolo scientifico: 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: 145-157 (Allegato a fondo testo)

Il modello geologico è stato successivamente integrato e dettagliato sulla base di sopralluoghi e rilevamenti originali eseguiti nel periodo gennaio – luglio 2022.

3.1 – INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

L'area oggetto di indagine è ubicata in Comune di Genova, nel quartiere di Nervi, in località "Capolungo", su un versante fronte mare immergente in direzione S-SE e prossimo al confine con il comune di Bogliasco.

Sulla sommità della falesia si trovano i fabbricati civv. 39-41-43-45-47 di Via Aurelia coinvolti, con i rispettivi terreni di pertinenza, nel movimento franoso occorso in data 18-19 gennaio 2014.

Si riporta alla pagina seguente uno stralcio in scala 1:1000 dell'ortofoto di Regione Liguria (ed. 2019), estratta dal "Geoportale" regionale.

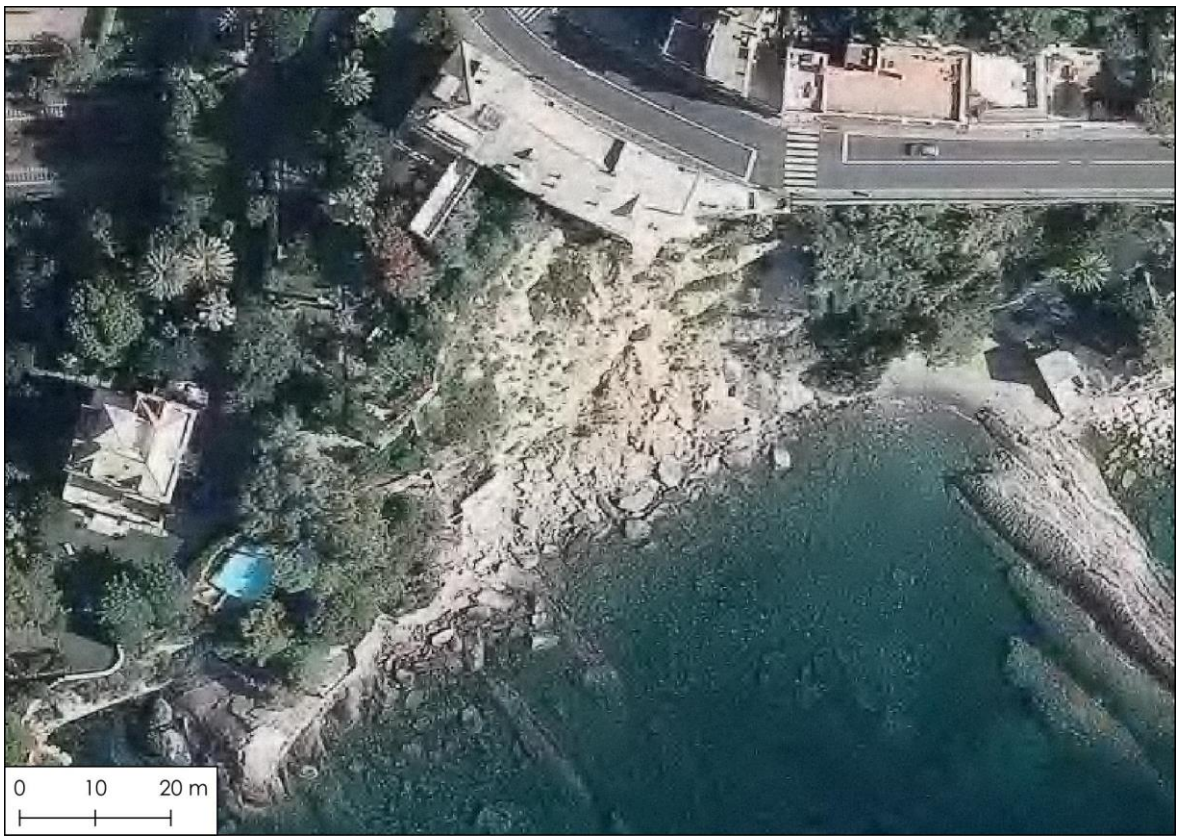


Figura 1 – Ortofoto in scala 1:1000 dell'area oggetto di indagine (anno 2019, fonte: Geoportale Regione Liguria).

L'area è individuabile, sulla Carta Tecnica Regionale a scala 1:5000, all'Elemento 231011, mentre sulla Carta Tecnica Comunale in scala 1:2000 è rappresentata nello squadro 4630: per una migliore comprensione si rimanda alla "Tavola A: corografia su C.T.R." ed alla "Tavola B: corografia su C.T.C." allegate a fondo testo, che riportano rispettivamente un estratto della C.T.R. di Regione Liguria e della C.T.C. del Comune di Genova. L'elenco seguente sintetizza schematicamente i mappali compresi nel versante in cui è occorsa la frana del 2014 (i dati relativi sono stati estratti dalla Consulenza Tecnica d'Ufficio del 2015, relativa all'A.T.P. R.G. 10994/2014, la quale a sua volta faceva riferimento alla "Tavola 1" della relazione a firma dei CC.TT.PP. geol. Pesenti e ing. Canale):

- mappale n°889 (Via Aurelia n°39);
- mappali n°185 e n°1247 (Via Aurelia n°41);
- mappale n° 186 (Via Aurelia n°43);
- mappali n°187 e n°1248 (Via Aurelia n°47);
- mappale n°947, proprietà del Demanio Marittimo (parte inferiore della ex-falesia).

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

La particella n° 947, come detto, corrisponde alla parte inferiore della falesia ed è di competenza del Demanio Marittimo, come anche la particella n°194 (esterna ai luoghi della causa del 2015), che comprende anche lo scoglio detto "della Liggia". Le immagini di seguito riportate (Figure 2 e 3) mostrato la planimetria catastale dell'area, estratta dal Geoportale della Regione Liguria.

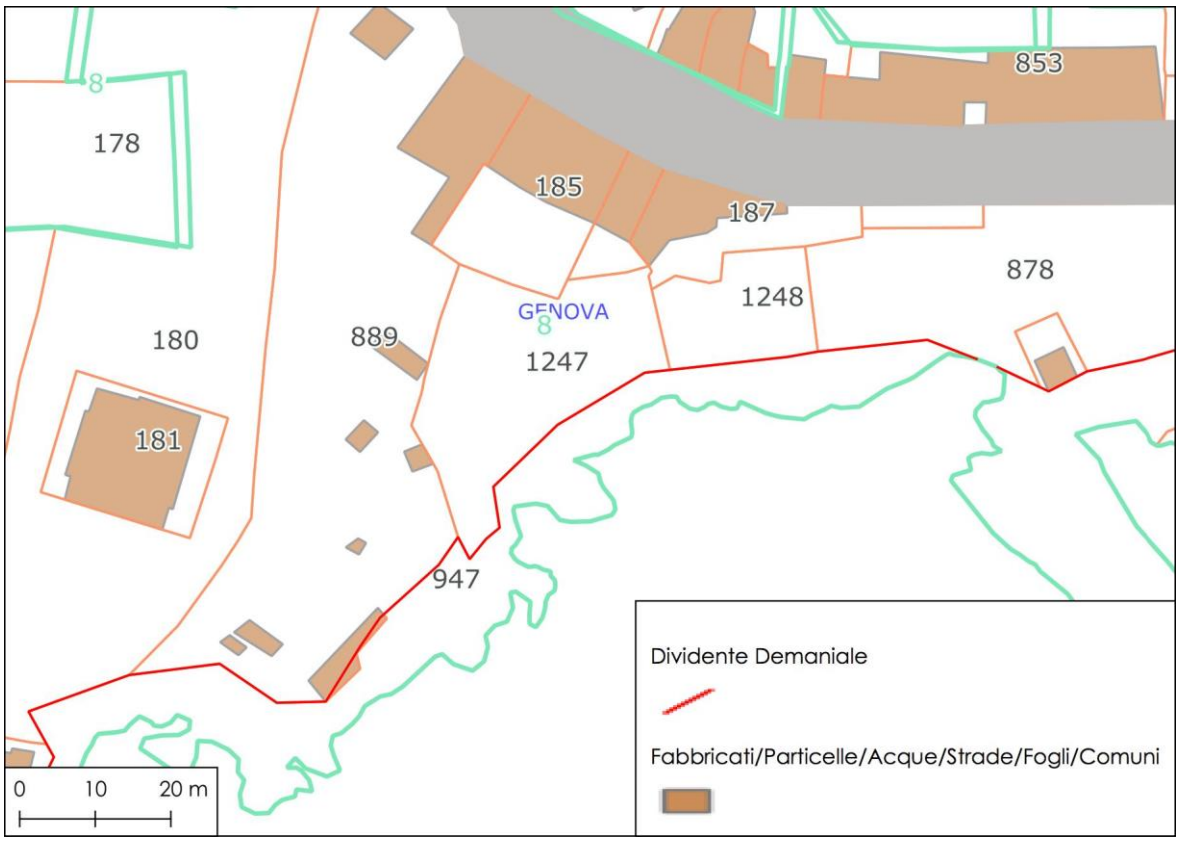


Figura 2 – Estratto di planimetria catastale dell'area in esame (anno 2021, fonte: layer "Catasto Terreni" del Geoportale Regione Liguria).

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

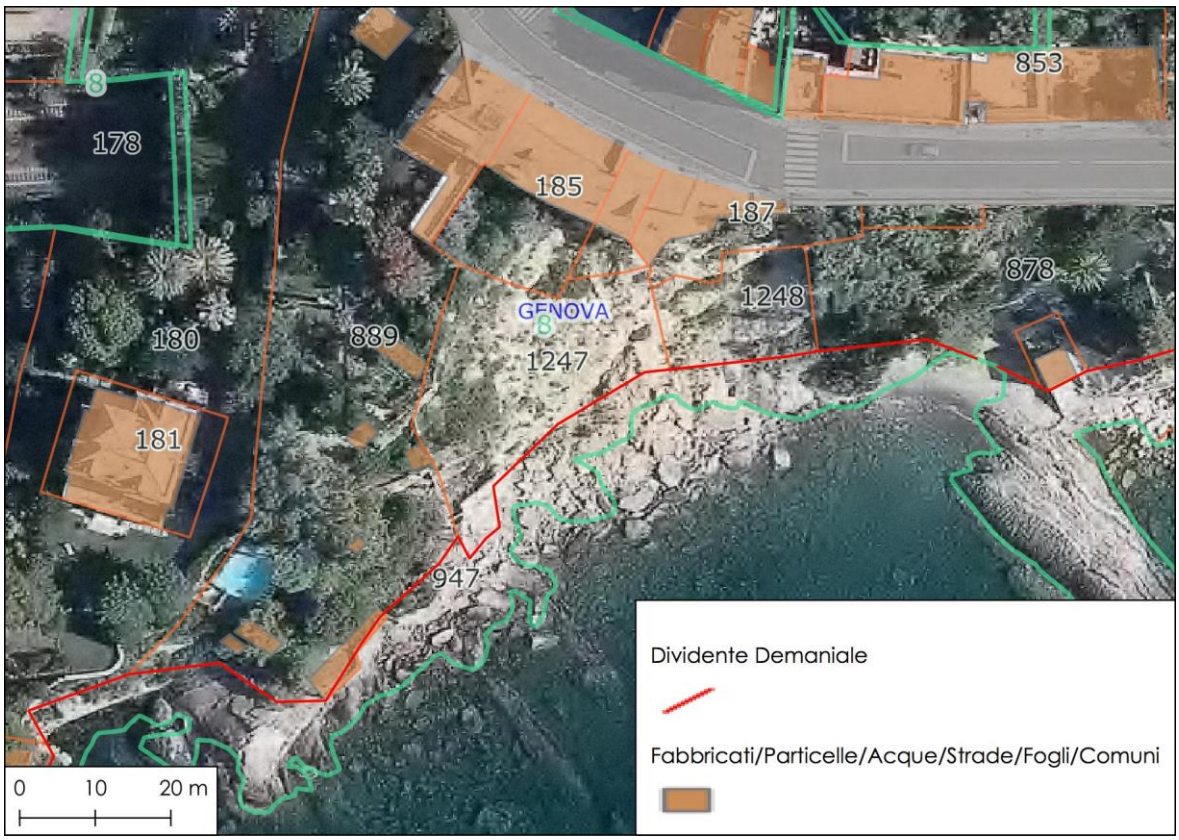


Figura 3 – Estratto di planimetria catastale dell'area, sovrapposta all'ortofoto del 2019 (medesime fonti delle Figure 1 e 2).

I civici precedentemente descritti, costruiti in aderenza l'uno dell'altro, appartengono ad un piccolo compendio immobiliare ubicato lungo la Via Aurelia, sul lato mare.

L'area in frana ha quota compresa fra 0 m e 40 m s.l.m. circa e si trova lungo un versante immergente a S e S-SE, con inclinazione molto elevata (pari, nelle condizioni antecedenti la frana ad angoli di inclinazione fino a 65°, determinati a posteriori sulla base della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000).

Più nel dettaglio, il versante immediatamente a valle dei fabbricati si presentava, prima della frana, con inclinazione medio-elevata per circa 20 m di dislivello, andandosi in seguito a raccordare al ciglio di una falesia sub-verticale, sviluppata anch'essa su un dislivello di circa 20 m.

Il versante compreso tra il ciglio della falesia e i fabbricati si presentava in parte rimodellato da interventi antropici, a seguito dei quali erano state realizzate alcune ristrette fasce di terreno, a differenti quote, sulle quali si sviluppavano i giardini pertinenziali ad alcuni dei civici coinvolti.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

3.2 – DESCRIZIONE DEI LUOGHI E DEL FENOMENO FRANOSO

Il fenomeno franoso occorso nel 2014 ha interessato il versante compreso nei mappali 1247 e 1248, arretrando fino a portare a giorno le fondazioni dei civici n°43-45. Il ciglio di frana ha una forma ad arco e si estende da Ovest, dove interessa il giardino del civico n°41, verso Est, fino a rasentare le fondazioni dei civici n°43-45. La veranda di pertinenza del civ. n°45 risulta allo stato attuale in parte crollata ed in parte sospesa nel vuoto.

La larghezza totale del fronte di frana è pari a circa 45 m, per un dislivello complessivo di circa 40 m; il corpo di frana si estende dai fabbricati contraddistinti dai civici dal n°41 al n°47 fino al mare, interessa una superficie di circa 2000 m^2 ed ha movimentato un volume di materiale pari a circa 6000-7000 m^3.

Il ciglio della frana è caratterizzato da una scarpata molto acclive, che interessa i materiali sciolti della coltre di copertura; questi hanno uno spessore massimo di circa 6 m nella zona centrale, mentre diminuiscono verso Est, dove sul ciglio è presente il substrato roccioso, con stratificazione disposta a franapoggio trasvrsale. Le bancate rocciose immergenti a SW sono ben visibili anche nella fascia centrale del corpo di frana. Il piede della frana, dove si è accumulato il materiale movimentato, si estende da quota 20 m s.l.m. fino al mare.

Il fenomeno franoso si è esplicitato in due fasi successive: la prima, di minore entità, ha coinvolto il piede della falesia, scalzando di fatto l'appoggio delle bancate rocciose a franapoggio sovrastanti; questo ha innescato la seconda fase del fenomeno, che ha coinvolto l'intera falesia ed il versante retrostante:

- in data 18.01.2014 è avvenuto un primo crollo di massi e detriti al piede della falesia rocciosa. Il fenomeno ha interessato la zona Ovest del fronte, coinvolgendo anche il camminamento di acceso al mare di proprietà del civ. n°41. La volumetria di materiale smosso in questo primo evento è stimata in circa 500 m^3;
- nella mattinata del 19.01.2014 è avvenuto il secondo e più grave fenomeno franoso: le bancate rocciose della falesia, private del piede, hanno ceduto trascinando verso valle le coltri di copertura del pendio sovrastante. Il ciglio della frana è arretrato fino a lambire la base dei muri dei giardini pertinenziali degli edifici. Al termine della mattinata anche questi sono franati, coinvolgendo nel crollo parte della veranda del civ. n°45 e portando a giorno le fondazioni dei civ. n°43-45.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

Il fenomeno descritto è avvenuto a seguito di un lungo periodo caratterizzato da frequenti ed intense piogge, che ha coinvolto la città di Genova ed il Levante cittadino. Nel mese di dicembre 2013 ed in particolare a cavallo del periodo natalizio la pioggia cumulata registrata dalla stazione pluviometrica di Sant'Ilario è stata di 215 mm; la prima settimana di gennaio la pioggia cumulata è stata di 121 mm, mentre nei giorni dal 16 al 19 gennaio sono caduti 302 mm di pioggia, di cui 176 mm solo nella giornata del 19.

I fenomeni meteorologici descritti sono stati accompagnati da condizioni meteo-marine altrettanto difficili: tra il 15 e il 18 gennaio la costa ligure è stata infatti interessata da una mareggiata proveniente dal settore Sud (dir. 190° circa) e caratterizzata da altezze d'onda massime di circa 6 m.

Al di sotto dei fabbricati è presente la galleria, lato mare, della linea ferroviaria Genova – La Spezia (galleria "Liggia I", binario pari): si tratta di un antico manufatto, risalente alla seconda metà del XIX secolo, con rivestimento in pietra e malta interstiziale. Sulla base di un'indagine geofisica, condotta nel febbraio 2014 con tecnica georadar, è stato possibile stimare le caratteristiche costruttive della galleria, riassunte nel sintetico elenco che segue.

- Spessore rivestimento del piedritto compreso tra 0,95 m (lato monte) e 1,25 m (lato monte), spessore lato mare in genere sempre pari a 1,15 m.
- Spessore rivestimento sulle reni compreso tra 0,6 m e 0,75 m.
- Spessore rivestimento sulla calotta compreso tra 0,65 m e 0,75 m.
- Minimo spessore del diaframma di roccia verso mare compreso tra 5,5 m al piedritto e 3,5 – 4,0 m circa alle reni.

La galleria "Liggia I" si sviluppa all'interno di una piccola dorsale rocciosa, che costituisce il piede della località denominata "Spriscina", in corrispondenza della quale è stato edificato il compendio immobiliare di Via Aurelia n°39-47: la galleria inizia circa 40 m prima del civico n°39 e termina circa un centinaio di metri dopo il civico n°47.

All'uscita, verso levante, la linea percorre un breve tratto a cielo aperto, prima di rientrare in galleria in Comune di Bogliasco: in questo settore la ferrovia si sviluppa in corrispondenza della costa, in un primo segmento su rilevato (costituito da una massicciata a gravità) ed in seguito direttamente sul substrato roccioso.

Entrambi i settori sono stati protetti, dall'erosione al piede operata dal moto ondoso, da due scogliere artificiali di massi, esistenti già all'epoca della frana del 2014.

Ad ampia scala, l'area indagata è caratterizzata da urbanizzazione molto diffusa ma non intensa, con ampie zone destinate a parchi, giardini, oppure ancora a coltivazioni, sia a cielo aperto sia in serra.

In relazione a queste ultime destinazioni d'uso, i versanti sono diffusamente sistemati a terrazze – contenute per lo più da antichi muri in pietra a secco e, in via subordinata, da muri in mattoni e cemento o cemento armato – grazie alle quali, nel corso del tempo, sono state realizzate numerose fasce di terreno, al fine di rendere meglio coltivabili e sfruttabili i declivi.

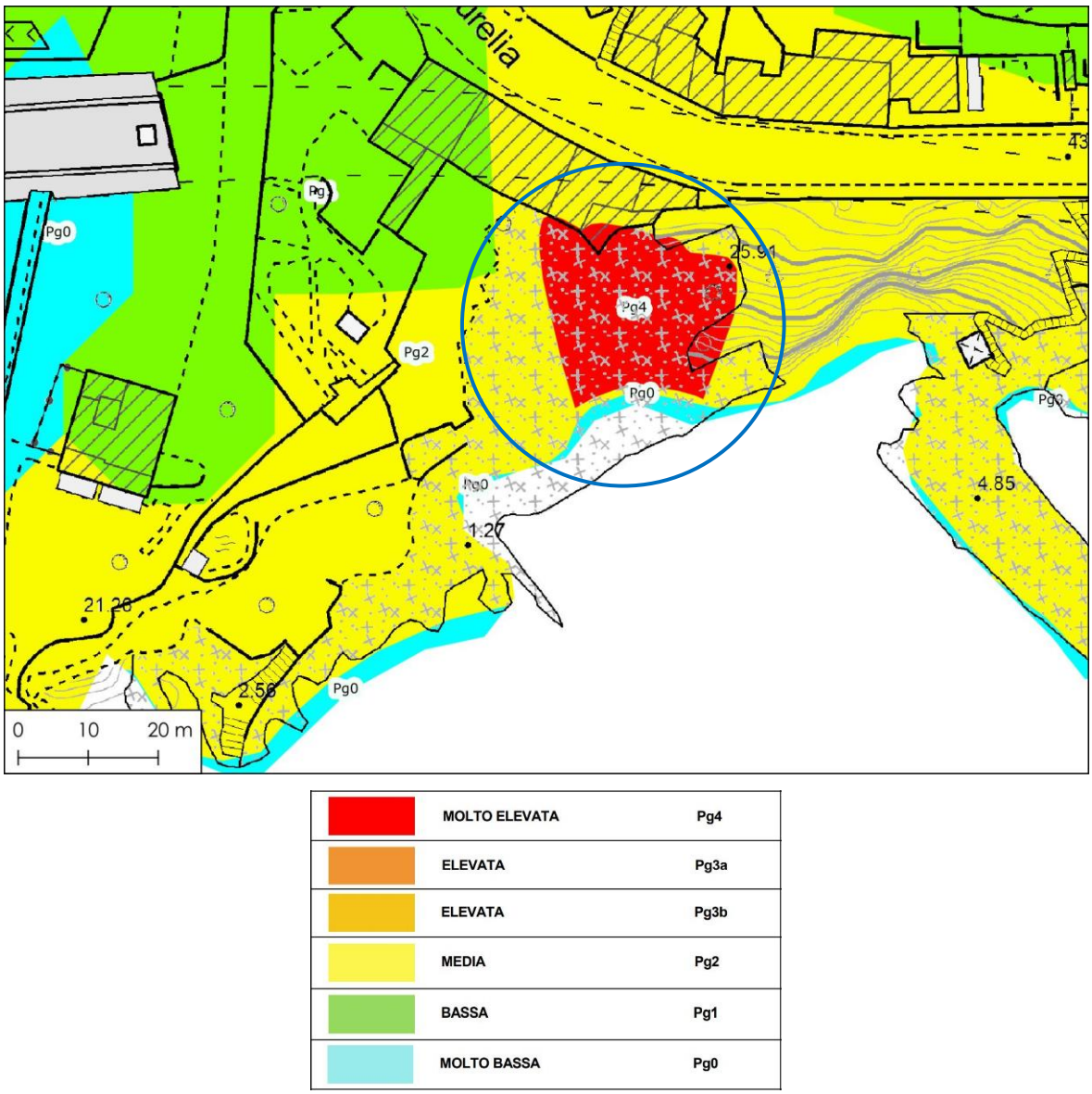
Come già accennato poc'anzi, anche il versante a valle dei fabbricati, prima dell'evento franoso, era sistemato a terrazze, alcune delle quali sono ancora riconoscibili all'infuori del settore ove è avvenuta la frana.

Si riporta alla successiva Figura 4 uno stralcio in scala 1:1000 delle classi di suscettività al dissesto dei versanti del Piano di Bacino Ambito 14, estratta dal Geoportale della Regione Liguria (livello "P.d.B. rilievo regionale – suscettività al dissesto" – ed. 2018).

L'area classificata "Pg4" e riportata in rosso nel Piano di Bacino (evidenziata dal cerchio nella Figura 4) corrisponde all'area in frana attiva.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E



	MOLTO ELEVATA	Pg4
	ELEVATA	Pg3a
	ELEVATA	Pg3b
	MEDIA	Pg2
	BASSA	Pg1
	MOLTO BASSA	Pg0

Figura 4 – Zonizzazione della "Suscettività al dissesto dei versanti" del Piano di Bacino Ambito 14 e relativa legenda, sovrapposta su Carta Tecnica Comunale (fonte: Geoportale Regione Liguria e Geoportale Comune di Genova).

3.3 – ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

In base alle indagini geologiche e geomorfologiche condotte nel sito in esame dai tecnici, intervenuti sui luoghi a seguito dell'evento franoso, sono state reperite nella porzione superiore del pendio, sovrastanti il substrato roccioso, coltri detritiche contraddistinte da spessore variabile da 2 m a 9.50 m. Si tratta di limi e sabbie argillose di colore ocra, con all'interno frammenti spigolosi di dimensioni fino a centimetriche di calcari marnosi alterati ed ossidati. La coltre è assimilabile ad un terreno sciolto debolmente coesivo.

La superficie del substrato roccioso alla base di tali coltri risulta avere una forma molto incisa. I tecnici hanno formulato una duplice ipotesi per dare spiegazione ad

una simile conformazione: in primo luogo potrebbe essere dovuta alla presenza di una discontinuità tettonica; in alternativa potrebbe essere riconducibile all'antico asse vallivo del Rio Fontanino, che attualmente scorre in un alveo artificiale, parzialmente tombinato, ad Ovest dell'area in esame.

Il substrato roccioso presente nell'area in studio è da riferire alla "formazione del Monte Antola", appartenente all'"Unità Tettonica Antola". La predetta formazione è costituita da torbiditi marnoso-calcaree e calcareo-marnose a base calcareo-arenacea in strati medio-spessi.

Si riporta nel prosieguo uno stralcio fuori scala della "Carta Geologica" del PUC di Genova (note: in tale cartografia non vengono mostrate le frane).

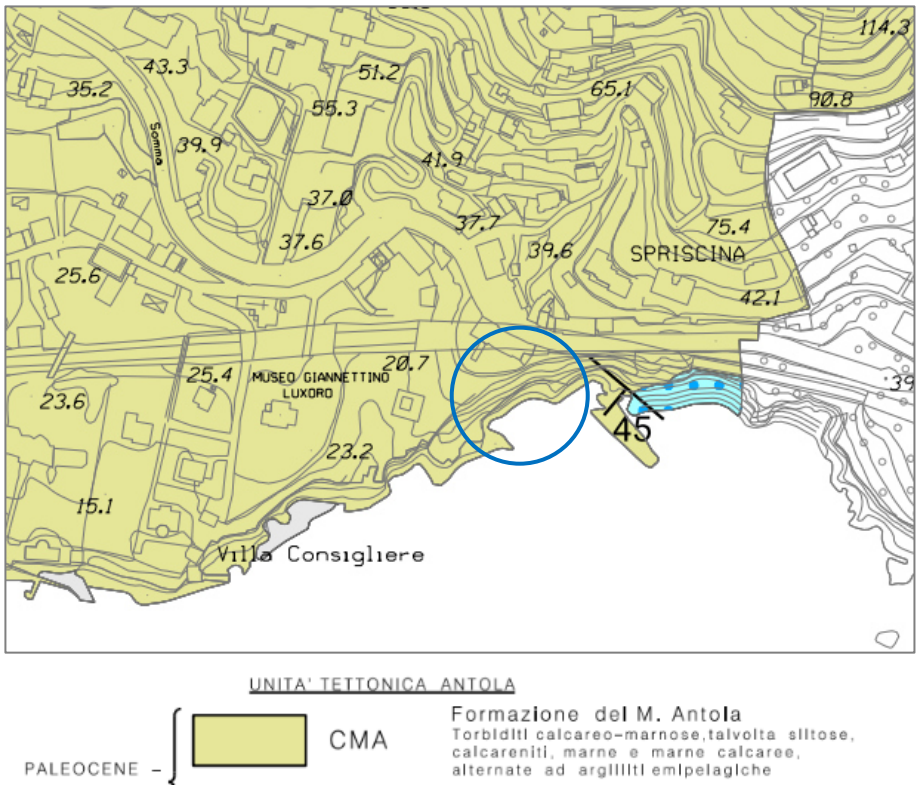


Figura 5 – Estratto fuori scala della Carta Geologica del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame.

Il substrato roccioso è costituito da una sequenza di strati di calcare e calcare marnoso fratturato (R.Q.D. medio 30-40%), con intercalazioni di spessore da decimetrico a metrico di calcari marnosi alterati, fratturati ed ossidati (R.Q.D. pari a zero). I giunti di frattura sono spesso riempiti con materiale argilloso e sabbioso e con frammenti di roccia disgregata. La stratificazione è disposta a franapoggio trasversale rispetto al pendio ed immerge a SW con inclinazione pari a circa 40°.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

Sono state individuate dalla scrivente, al piede della falesia, tre famiglie di fratture (F1 – F2 – F3) che determinano, unitamente alla superficie di stratificazione S_0, la scomposizione in blocchi del substrato roccioso presente.

Tali famiglie di discontinuità sono rappresentate nello stereogramma di seguito riportato.

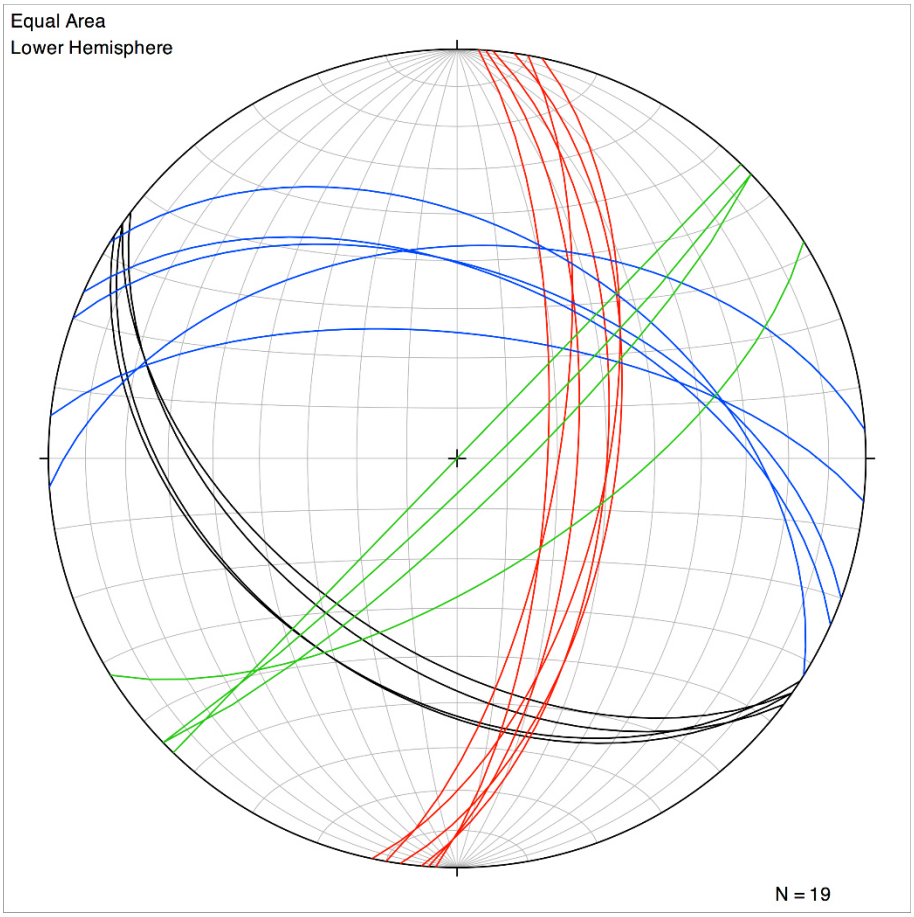


Figura 6 – Stereogramma rappresentante le giaciture della superficie di stratificazione S_0 (nero) e delle famiglie di fratture F1 (rosso), F2 (blu) e F3 (verde).

Come precedentemente descritto, a valle dei fabbricati era possibile individuare una falesia rocciosa, caratterizzata da una forte acclività.

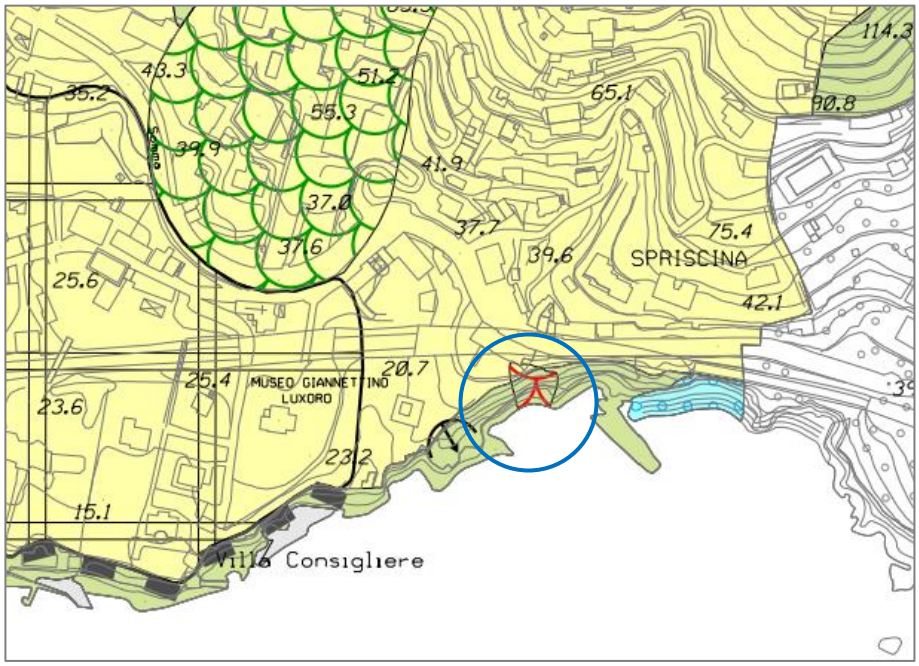
Nella documentazione fotografica allegata a fondo testo sono riportate alcune foto prospettiche della costa, reperite sul Geoportale regionale, raffiguranti i luoghi nelle condizioni pre-frana (2010) e post-frana (2015 e 2020).

La morfologia più acclive, di cui si è poc'anzi accennato, è da attribuirsi ad una cosiddetta "falesia attiva": tipica di coste alte rocciose una falesia rappresenta una classica morfologia emersa, nella quale il profilo costiero è dominato da ripide pareti rocciose, che testimoniano una forte azione del mare al piede della falesia stessa.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

Questa è comunemente intesa come una parete di roccia scoscesa, spesso subverticale fino ad aggettante, di altezza molto variabile.

Si riporta nel prosieguo uno stralcio fuori scala della "Carta Geomorfologica" del PUC di Genova.



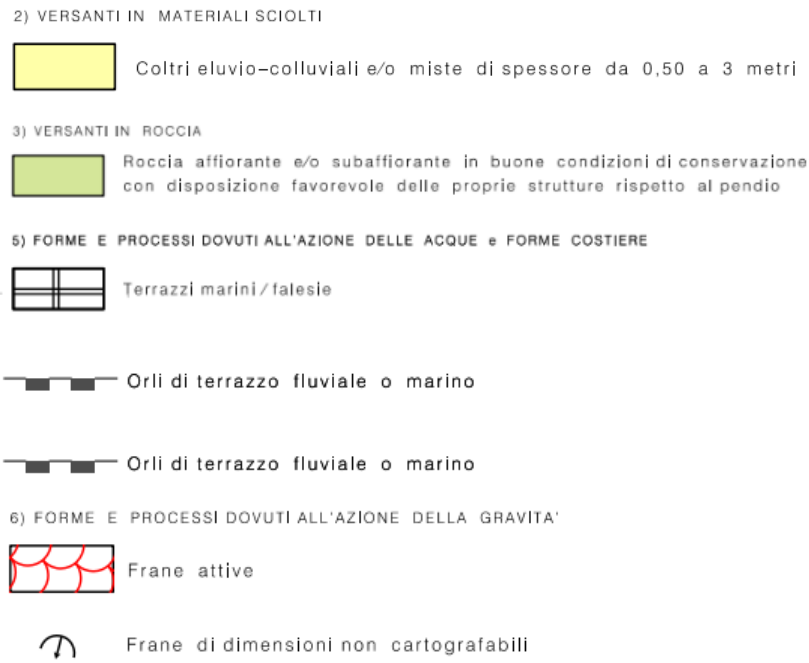


Figura 7 – Estratto fuori scala della Carta Geomorfologica del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame.

La formazione e l'arretramento di una falesia si devono all'azione indiretta del moto ondoso, in quanto le onde agiscono solo al piede (base) della falesia stessa, mentre

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

l'evoluzione della parete rocciosa è legata per lo più agli agenti esogeni. Per approfondimenti si rimanda al successivo capitolo 4, che riporta una trattazione inerente lo schema evolutivo di una falesia rocciosa attiva e l'approccio metodologico relativo alla valutazione del rischio.

Volendo descrivere, da monte verso mare, le dinamiche coinvolte nell'evoluzione della falesia e del versante retrostante, queste si possono così sintetizzare:

- il versante a monte e la falesia, essendo emersi, sono soggetti esclusivamente ad agenti esogeni e subiscono solo processi subaerei quali alterazione superficiale, pedogenesi, ruscellamento di acque diffuse e/o concentrate, abrasione eolica, termoclastismo, ecc.;
- il settore emerso di falesia, più prossimo al livello medio del mare, subisce anche l'azione indiretta del moto ondoso, legata agli spruzzi di acqua salata che raggiungono la parete della falesia, agli effetti dell'aerosol salato e all'aloclastismo;
- il piede della falesia, sommerso, è sede di processi di alterazione subacquei, legati al moto ondoso, quali azioni meccaniche delle onde frangenti, abrasione, corrosione, cavitazione e usura del piede della falesia e del fondale per trascinamento dei detriti presenti alla base della parete.

Precedentemente alla frana del 2014 la falesia era da considerarsi attiva, in quanto risultava essere interessata dai processi marini costieri che l'hanno generata e che ne governavano l'evoluzione; il piede della falesia infatti, prima del movimento franoso che ha coinvolto l'area in esame, era esposto all'azione del moto ondoso, non essendo protetto né da depositi di spiaggia naturali, né da scogliere artificiali, del tipo di quelle utilizzate nel settore più ad Est, a protezione del tracciato ferroviario.

Nello specifico caso in esame, data l'orientazione della falesia, questa è esposta principalmente al moto ondoso proveniente da Sud e Sud-Est. I dati registrati dalla rete ondametrica nazionale e gli studi sui regimi ondosi evidenziano che in Liguria il mare regnante, ovvero quello caratterizzato da una maggiore frequenza e persistenza, risulta essere proprio quello proveniente da Sud-Est; mentre il mare dominante, caratterizzato da mareggiate più intense con altezze d'onda maggiori, è il Libeccio (direzione di provenienza Sud-Ovest).

Si segnala inoltre che, come mostrato dal livello "Evoluzione della linea di costa dal 1944 al 2016", distribuito gratuitamente on-line sul portale cartografico della Regione Liguria e riportato alla successiva Figura 8, nel settore in esame, al piede della falesia,

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

fino agli anni '90, era verosimilmente presente un deposito marino naturale di spiaggia. La presenza della spiaggia riduceva di fatto l'azione del moto ondoso alla base della falesia e ne rallentava quindi l'evoluzione.



Figura 8 – Evoluzione della linea di costa nei periodi 1944-1993 (arancione), 2003-2013 (blu) e 2016 (rosso), sovrapposti a ortofoto dell'area in esame (fonte: layer "Evoluzione della linea di costa dal 1944 al 2016" del Geoportale Regione Liguria).

Dall'esame della suddetta documentazione emerge che:

- negli anni 1944-73-83-93 la linea di costa appare stabile (non è univoco se per sostanziale stabilità fra gli apporti e l'erosione o se per mancanza di un dato sufficientemente preciso e dettagliato relativo alla posizione della linea di costa nel tempo e alle sue eventuali variazioni);
- negli anni 2003-13 si osserva l'arretramento della linea di costa rispetto alla situazione precedente, arretramento che si mantiene inalterato osservando il dato relativo all'anno 2013;
- nell'anno 2016 si osserva l'avanzamento della linea di costa, legato al materiale detritico franato in mare a seguito dell'evento del 2014.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

A partire quindi dai primi anni 2000 si è verificato un arretramento della linea di costa, che ha comportato la totale scomparsa dei depositi di spiaggia, facendo sì che il piede della falesia fosse nuovamente sottoposto all'azione erosiva del moto ondoso (come emerge dal confronto tra la linea di costa nei periodi 1944-1993 e 2003-2013). Il fenomeno franoso occorso nel 2014 è registrato dal locale avanzamento della linea di costa nel 2016 (ultimo dato disponibile).

Tramite il rilevamento di campagna e l'analisi ed il confronto delle ortofoto realizzate a luglio 2022 nell'ambito del rilievo topografico del versante (effettuato con l'ausilio di drone), è stato possibile individuare lungo la frana alcune criticità, riportate graficamente sulla Tavola D "Planimetria con individuazione affioramenti e criticità" allegata a fondo testo, cui si rimanda per approfondimenti.

Per facilitare la lettura della suddetta tavola le zone critiche sono state numerate progressivamente; le criticità individuate vengono qui puntualmente descritte:

1. muro di confine lesionato;
2. muro-argine alla base del versante, lesionato e roto-traslato e svuotato del terreno di riempimento a tergo;
3. blocco roccioso plurimetrico fratturato, coinvolto nella frana del 2014;
4. vegetazione arborea sospesa;
5. coltre detritica superficiale poggiata sopra al substrato roccioso, denudato dal fenomeno franoso e orientato a franapoggio;
6. porzione "sospesa" e lesionata di un pregresso terrazzamento antropico, costituita da terreno sciolto e/o di riporto e da muratura in pietrame;
7. ciglio di frana, comprendente porzioni di coltre sottostante gli edifici;
8. resti di strutture antropiche e manufatti, in precarie condizioni di stabilità.

3.4 – ASPETTI IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI

Lo schema della regimazione idraulica dell'area in esame, per quanto attiene i deflussi superficiali, non fa riferimento a nessun impluvio, essendo i luoghi prossimi alla costa e in corrispondenza, come detto, di una piccola dorsale rocciosa al piede della località Spriscina.

In corrispondenza della curva dell'Aurelia in direzione Genova si trova l'impluvio del "Rio Fontanino", che drena il versante retrostante i luoghi di causa ed è separato, dall'impluvio immediatamente ad Est, dalla dorsale morfologica di cui si è poc'anzi accennato.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

Si riporta nel prosieguo uno stralcio fuori scala della "Carta del Reticolo Idrografico Regionale" relativo all'area in esame.

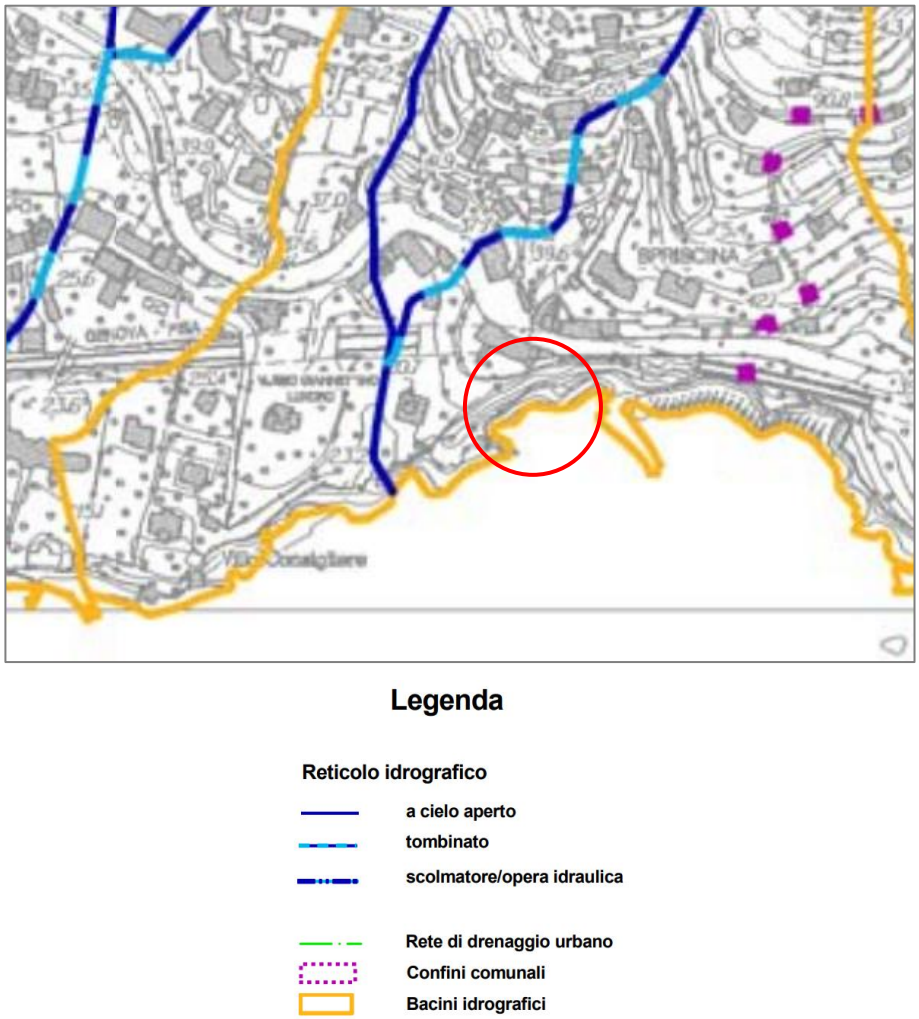


Figura 9 – Estratto fuori scala della Carta del Reticolo Idrografico Regionale (D.G.R. n°507/2019) e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame.

Dal punto di vista idrogeologico, le abbondanti indagini condotte in loco dai CC.TT.PP. nel corso della causa civile RG 10994/2015 hanno messo in evidenza la bassa permeabilità dei materiali sciolti di copertura, per la predominanza della componente fine (limosa e argillosa).

Diversamente, il substrato roccioso è impermeabile, quando sano ed integro, mentre presenta una permeabilità secondaria per fessurazione e fratturazione, variabile in virtù del grado di alterazione dello stesso: si può quindi ragionevolmente supporre che si attivi una circolazione idrica concentrata all'interno delle discontinuità dell'ammasso roccioso, in corrispondenza di piogge intense e prolungate.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

Si riporta infine uno stralcio fuori scala della "Carta Idrogeologica" del PUC di Genova.

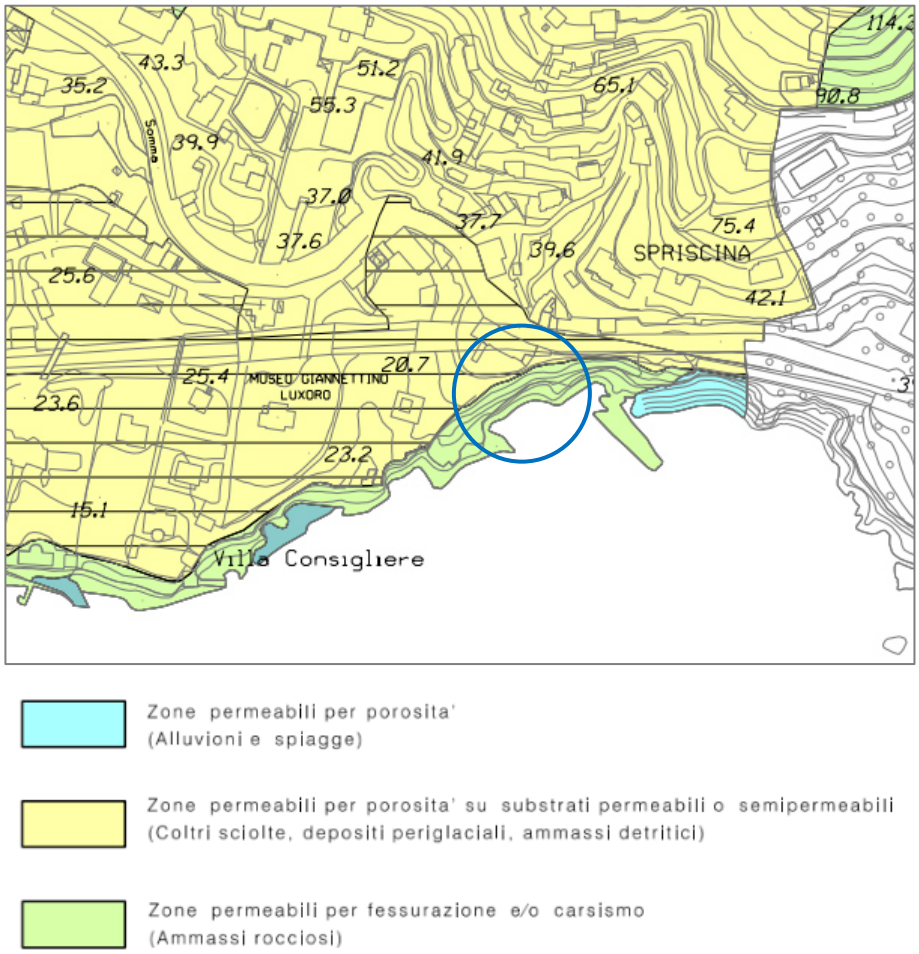


Figura 10 – Estratto fuori scala della Carta Idrogeologica del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame.

4 – EVOLUZIONE E STABILITÀ DELLA COSTA ALTA ROCCIOSA

È ampia ed approfondita la bibliografia scientifica inerente alle falesie e alla loro evoluzione morfologica, connessa a fenomeni di instabilità rapidi ed improvvisi. Di particolare rilevanza ai fini qui di interesse è un recente articolo scientifico pubblicato da Lucchetti et Al. nel 2014 sulla rivista scientifica Studi Costieri e intitolato: "Proposta di valutazione della stabilità delle coste rocciose (SCMR – Sea Cliff Mass Rating): il caso studio delle falesie tra Genova e Camogli (Liguria orientale)".

L'articolo in questione, pubblicato a pochi mesi di distanza dall'evento franoso occorso in località Capolungo ed allegato alla presente relazione, ha analizzato in dettaglio la metodologia più opportuna per la valutazione della pericolosità e del

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

rischio geomorfologico associati alle falesie presenti nel tratto costiero in esame. Argomento di enorme rilevanza vista la densità di insediamenti e infrastrutture presenti sulla sommità o alla base delle falesie.

Si concorda con gli Autori quando questi affermano che le falesie sono una forma costiera in continua evoluzione, la cui stabilità dipende da molteplici fattori: le caratteristiche e la resistenza della roccia che le costituisce, la presenza di discontinuità nell'ammasso roccioso e le loro caratteristiche, i rapporti geometrici tra giunti e pendio, gli agenti subaerei che concorrono all'alterazione delle pareti rocciose, l'azione del moto ondoso e le modificazioni antropiche subite. Tutti questi elementi devono essere valutati nello studio di una falesia, che può essere considerata come un pendio alla cui base agisce l'azione del moto ondoso.

Lo studio condotto dagli Autori comprende proprio il tratto costiero oggetto del presente progetto di intervento di mitigazione del rischio; tale tratto risulta di particolare interesse ai fini dello studio scientifico in quanto è costituito da falesie densamente urbanizzate, interessate da infrastrutture pubbliche e private e pregevoli dal punto di vista paesaggistico.

Il tempo di ritorno scelto dagli autori per lo studio delle falesie risulta pari a 10 anni, tempo ritenuto adeguato in rapporto alla loro evoluzione geomorfologica: è stato infatti valutato come nell'area in esame l'arretramento delle falesie non sia costante nel tempo bensì vari in funzione dei cinematismi di rottura lungo le pareti rocciose, ma sia comunque stimabile tra 0,5 m e 5 m in 100 anni, corrispondente ad una media di 2 cm/anno. Inoltre, i cinematismi di rottura sono in stretta relazione con il verificarsi di violente mareggiate.

Sono di particolare interesse gli aspetti relativi al confronto temporale dell'evoluzione costiera nel tratto Genova-Camogli, di cui si riportano i relativi confronti fotografici ed i relativi schemi evolutivi. Nei casi di Camogli e Capolungo sono state aggiunte alle immagini tratte dalla pubblicazione Lucchetti et Al. 2014, le fotografie riprese negli ultimi due anni, che ben fanno percepire la rapidità evolutiva di questi settori costieri.



Figura 11 – Confronto della falesia sottostante il cimitero di Camogli negli anni 2005, 2011 (fonte: Lucchetti et Al. 2014) e 2021 (fonte: Primocanale).



Figura 12 – Confronto della falesia sottostante il cimitero di Sori negli anni 2007 e 2012 (fonte: Lucchetti et Al. 2014).

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E



Figura 13 – Confronto della falesia oggetto del presente intervento, in località Capolungo, negli anni 2005, 2014 (fonte: Lucchetti et Al. 2014) e 2022 (fotografata dalla scrivente).

L'immagine successiva (Figura 14), tratta sempre dall'articolo Lucchetti et Al. 2014, non comprende, per ovvi motivi, la recente e disastrosa evoluzione della falesia del Cimitero di Camogli (sezione A).

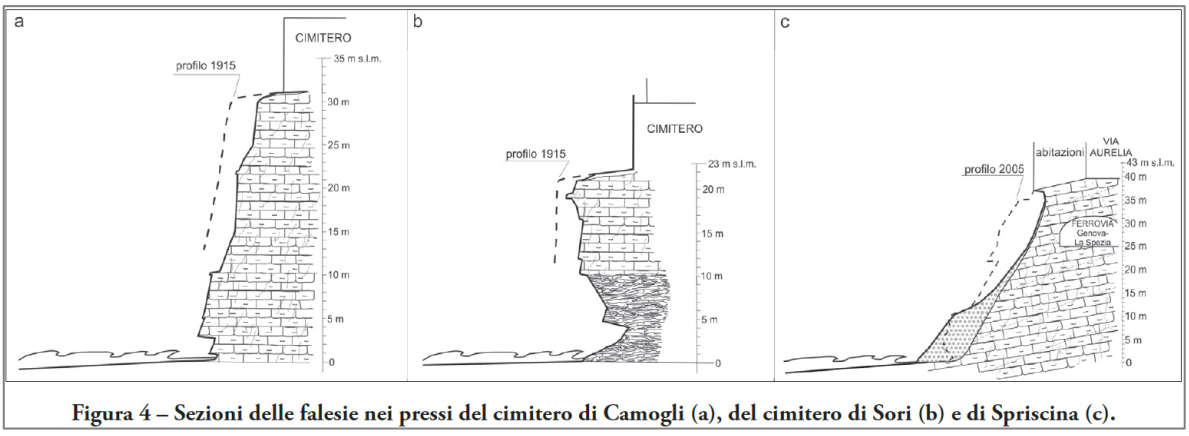


Figura 14 – Figura 4 dell'articolo Lucchetti et Al. 2014.

La sezione indicata con la lettera C (località Spriscina) si riferisce al settore costiero in esame. In questo caso l'evoluzione recente della falesia ha riguardato la pulizia

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

del fronte dal materiale detritico sciolto ad opera delle acque ruscellanti e la ridistribuzione dei detriti e dei blocchi rocciosi accumulati al piede, grazie all'azione del moto ondoso. **Dallo schema in figura ben si evince come un'ulteriore evoluzione regressiva della falesia potrebbe mettere a repentaglio non solo le abitazioni private sovrastanti il ciglio ma anche la Via Aurelia e la linea ferroviaria Genova – La Spezia, che qui corre in galleria, come già descritto in precedenza.**

Dallo schema rappresentato in sezione emerge chiaramente come l'azione del moto ondoso giochi un ruolo fondamentale per la dinamica delle falesie e vada analizzata in dettaglio al fine di effettuare uno studio completo delle coste rocciose, motivo per cui gli Autori inseriscono le caratteristiche del moto ondoso tra i parametri per valutare e classificare le falesie dal punto di vista della pericolosità geomorfologica.

Una volta definita la pericolosità geomorfologica associata alla falesia, al fine di derivarne il rischio costiero, vengono presi in considerazione gli elementi esposti al rischio, ovvero quelli presenti sulla sommità o alla base della falesia stessa. Nel caso in esame, essendo presenti in prossimità della sommità della falesia numerosi ed importanti elementi (quali le abitazioni private, la Via Aurelia e la galleria della linea ferroviaria), il rischio geomorfologico associato risulta molto elevato.

Da tali valutazioni si evince come sia di fondamentale importanza l'intervento a progetto, che mira a mitigare il rischio connesso all'evoluzione della falesia, proteggendone il piede ed impedendo che l'azione del moto ondoso impatti direttamente sul tratto costiero in esame. La finalità dell'intervento è quella infatti di ridurre sensibilmente l'azione erosiva marina, allontanando il moto ondoso dal piede della parete rocciosa, dissipandone l'energia.

5 – MODELLIZZAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Il territorio interessato dall'intervento a progetto ricade, nella classificazione sismica regionale (normata dalla D.G.R. n°962 del 2018), in Zona 3 (Pga = 0,15 g).

Per quanto riguarda gli aspetti inerenti alla Microzonazione sismica del territorio si fa riferimento alla "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica" allegata al PUC del Comune di Genova, riportata alla successiva Figura 15.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

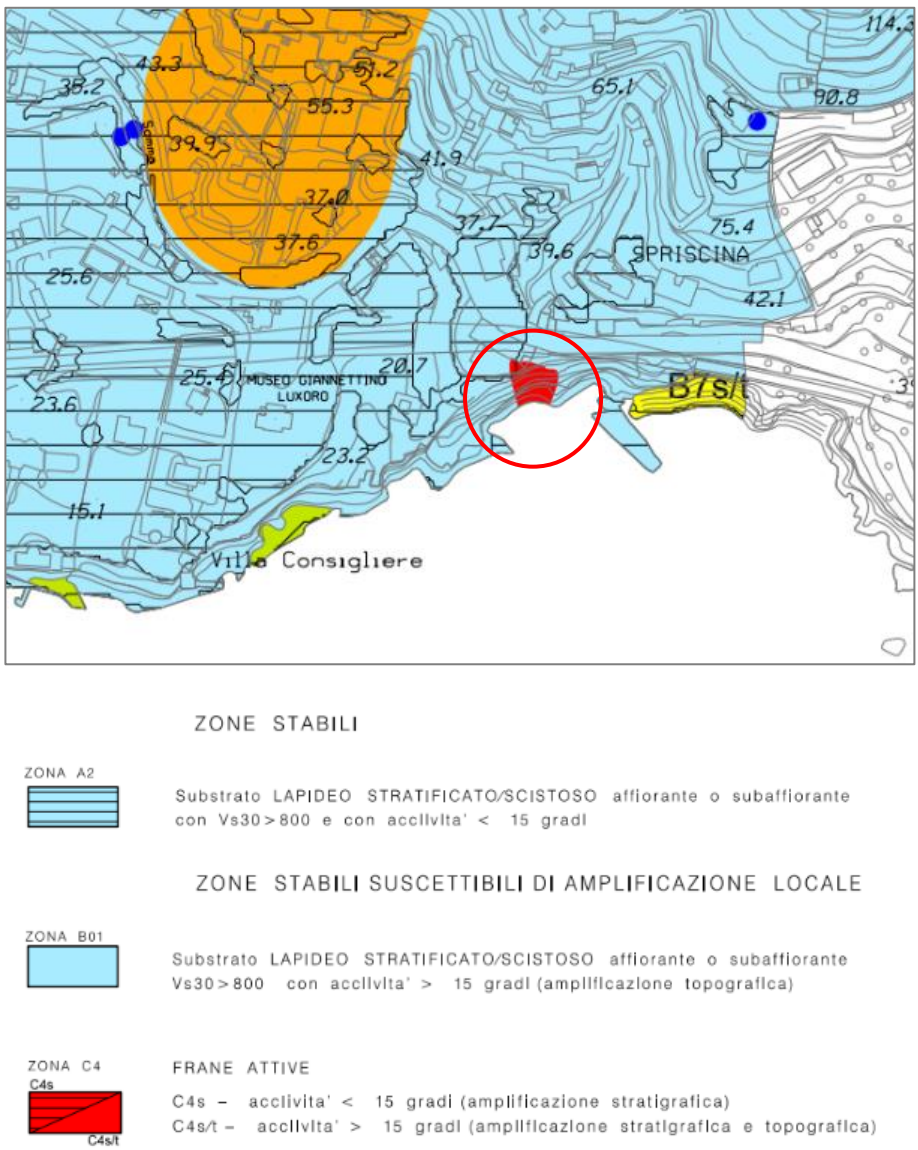


Figura 15 – Estratto fuori scala della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame.

Come si può osservare, la zona di intervento è situata a valle del tratto di falesia classificato come "*Zona C4 s/t: Frane attive – acclività > 15° (amplificazione stratigrafica e topografica*".

Il versante esterno all'area in frana è invece classificato "*Zona B01: substrato lapideo stratificato/scistoso affiorante o subaffiorante – Vs30>800 con acclività > 15° (amplificazione topografica*".

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

6 – INDICAZIONI OPERATIVE

Il progetto prevede, come già descritto in precedenza, la realizzazione di una scogliera in massi ciclopici per la protezione al piede della falesia di Capolungo, oggetto di un grave fenomeno di dissesto avvenuto nel 2014.

La scogliera servirà a proteggere il piede della frana dall'ondazione, riducendo così il progredire dell'erosione marina e la conseguente evoluzione della frana.

Vista la notevole difficoltà di cantierizzazione dei luoghi, dovuta alla difficile accessibilità dall'alto e al rischio di ulteriori crolli lungo il pendio emerso, le lavorazioni avranno accesso da mare, attraverso l'impiego di un pontone.

Si raccomanda di implementare un sistema si monitoraggio visivo e strumentale dell'area oggetto d'intervento e del suo intorno, atto ad individuare tempestivamente deformazioni e/o cedimenti che si dovessero manifestare sul corpo frana, sugli affioramenti rocciosi e sulle limitrofe strutture antropiche nel corso delle attività lavorative, a salvaguardia delle maestranze che dovranno operare in cantiere.

Tale sistema verrà meglio definito e dettagliato nel corso delle successive fasi progettuali

7 – RIFERIMENTI AMMINISTRATIVI

7.1 – DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018

Sono state prese in esame le prescrizioni generali inerenti gli interventi in progetto (§ 6.1.2), le indicazioni sulla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (§ 6.2.1) e quelle sulla caratterizzazione e modellazione geotecnica (§ 6.2.2).

La definizione delle categorie topografica e stratigrafica pertinenti per il sito in esame, necessaria per l'elaborazione dei parametri sismici caratteristici dell'area in esame, verrà demandata alla fase progettuale definitiva-esecutiva.

7.2 – VINCOLO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista amministrativo il sito in esame non risulta soggetto a vincolo idrogeologico e pertanto non è sottoposto alla L.R. 4/99 e ss.mm.ii.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

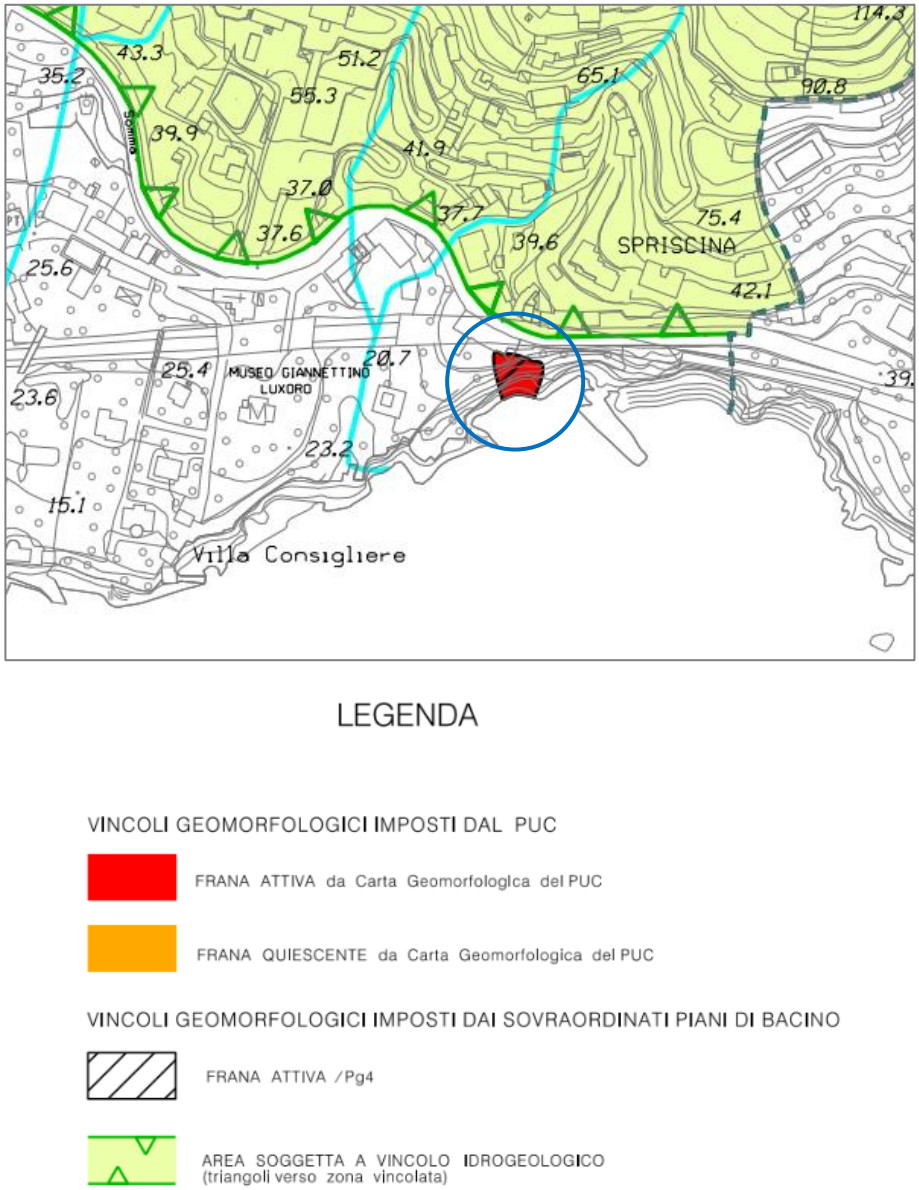


Figura 16 – Estratto fuori scala della Carta dei Vincoli Geomorfologici e Idraulici del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame.

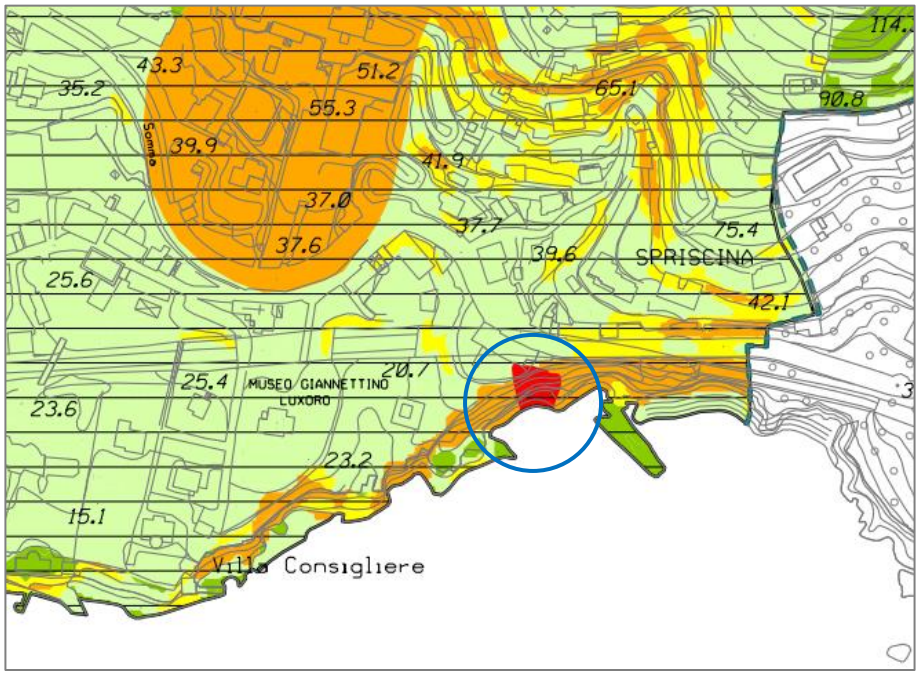
7.3 – NORME GEOLOGICHE DI ATTUAZIONE

L'area interessata dall'intervento a progetto ricade nel territorio del Comune di Genova.

La Carta di Zonizzazione geologica del territorio del PUC classifica la falesia in esame in parte come "*Zona E: Aree con suscettività d'uso fortemente condizionata*" e in parte come "*Zona D: Aree con suscettività d'uso limitata e/o condizionata all'adozione di cautele specifiche*", in territorio urbanizzato. Più precisamente, l'area di intervento non è oggetto di classificazione dal punto di vista della zonizzazione geologica poiché è situata nella porzione a mare. A fini cautelativi, vista la

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

particolare ubicazione delle zone interessate dal progetto, si fa riferimento alla normativa associata alle aree perimetrate in Zona E, le più gravose dal punto di vista della zonizzazione geologica.



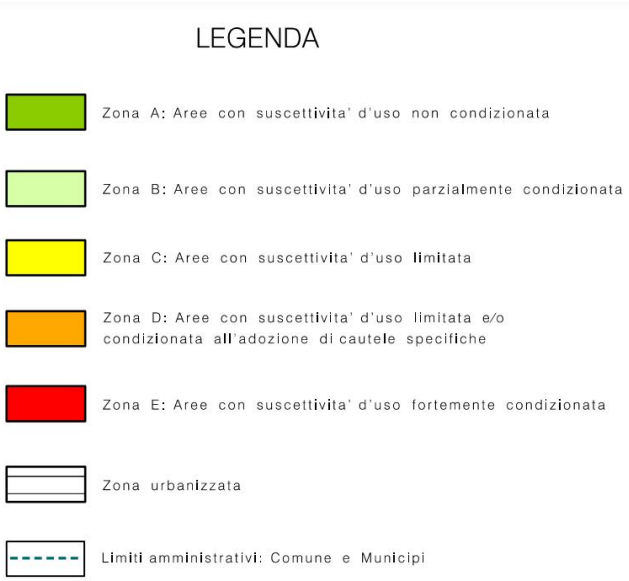


Figura 17 – Estratto fuori scala della Carta di Zonizzazione geologica del territorio del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame.

L'intervento a progetto è compatibile con la normativa di piano, in quanto migliorativo delle condizioni di stabilità dei luoghi.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

7.4 – PIANO DI BACINO

La zona in esame ricade all'interno del Piano di Bacino stralcio per l'Assetto idrogeologico dell'Ambito 14, approvato con D.C.P. n°66 del 12.12.2002 (ultima variante approvata DDG n°2461 del 22.04.2020, in vigore dal 13.05.2020).

Nella "Carta della Suscettività al dissesto dei versanti", riportata alla successiva Figura 18, la falesia in esame risulta classificata in parte come "Pg4 - Aree a suscettività MOLTO ELEVATA" e in parte come "Pg2 – Aree a suscettività MEDIA". In particolare, la zona di intervento è situata a valle del tratto classificato come Pg4; si è pertanto fatto riferimento all'art. 16, comma 2 delle relative Norme di Attuazione.

Al fine di ottemperare a quanto previsto in detta normativa è stato condotto il presente studio geologico di dettaglio.

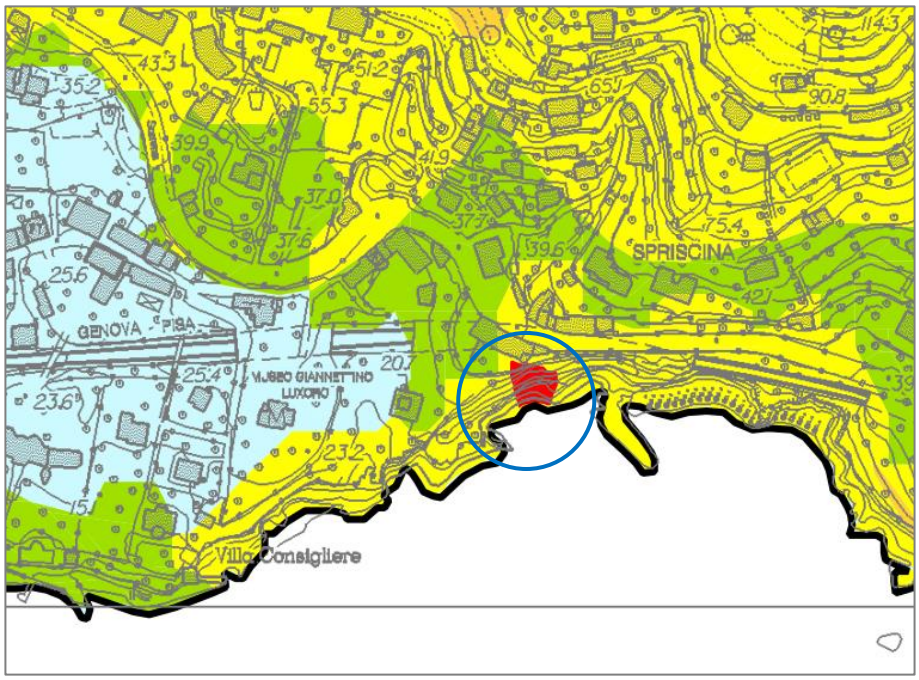




Figura 18 – Estratto fuori scala della Carta di Zonizzazione geologica del territorio del PUC di Genova e relativa legenda, con localizzazione dell'area in esame.

L'intervento a progetto è compatibile con la normativa di piano, in quanto migliorativo delle condizioni di stabilità dei luoghi.

7.5 – RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE

Viene riportata in Figura 9 la Carta del Reticolo Idrografico Regionale e della rete idrografica significativa, adottata con la D.G.R. n°507/2019, su cui è stata evidenziata l'area oggetto di intervento. Dall'analisi di detta carta si evince come nel territorio interessato dall'intervento a progetto non siano presenti corsi d'acqua significativi.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

8 – CONCLUSIONI

Nella presente relazione tecnica sono state analizzate le condizioni di rischio gravanti sul versante in frana in località Capolungo, in Comune di Genova.

Le attuali condizioni in cui si presenta il versante, conseguenti al fenomeno franoso occorso nel 2014, comportano la presenza di un rischio alto lungo il tratto di costa tra "Villa Luxoro" e il confine comunale Genova-Bogliasco.

Tale rischio non rimane confinato al solo tratto costiero, in quanto una ulteriore evoluzione regressiva della falesia potrebbe mettere a repentaglio le abitazioni private sovrastanti il ciglio, la Via Aurelia e la linea ferroviaria Genova – La Spezia.

In virtù di quanto sin qui esposto, l'intervento prioritario risulta essere, a giudizio della scrivente, la realizzazione di un'opera al piede della falesia, al fine di ridurre l'azione erosiva del moto ondoso.

Risulta prioritaria la realizzazione di un'opera di protezione al piede della falesia, per rallentare l'erosione al piede ad opera del moto ondoso, che si configura come la prima e più grave causa di innesco di una frana costiera.

Tenuto conto:

- del contesto geomorfologico in cui si inserisce l'intervento a progetto;
- delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, stratigrafiche e geotecniche del terreno su cui si inserirà il sopracitato intervento;
- della tipologia di opere a progetto,

si conferma la necessità di intervenire con urgenza per la messa in sicurezza del piede del versante e la fattibilità dell'intervento a progetto, tenuto debito conto di quanto contenuto nel presente documento.

Si sottolinea come sia di fondamentale importanza l'intervento a progetto, che mira a mitigare il rischio connesso all'evoluzione della falesia, proteggendone il piede ed impedendo che l'azione del moto ondoso impatti direttamente sul tratto costiero in esame. La finalità dell'intervento è quella infatti di ridurre sensibilmente l'azione erosiva marina, allontanando il moto ondoso dal piede della parete rocciosa, dissipandone l'energia.

Si rassegna la presente relazione, la quale assolve a quanto prescritto dalle N.T.C. 2018, dal Piano di Bacino Ambito 14 vigente nella zona in esame e dalle Norme Geologiche di Attuazione dei PUC del Comune di Genova.

Genova, 28 luglio 2022

Dott. Geol. Ing. J Alessandra FANTINI



I collaboratori

Dott. Geol. Silvia TORCHIO



Dott. geol. Andrea VIGO



c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Foto aerea prospettica dell'area di intervento, precedente alla frana del 2014 (fonte: Foto prospettiche della costa – Regione Liguria, anno 2010).



Foto 2: Foto aerea prospettica dell'area di intervento, successiva alla frana del 2014 (fonte: Foto prospettiche della costa – Regione Liguria, anno 2020).

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

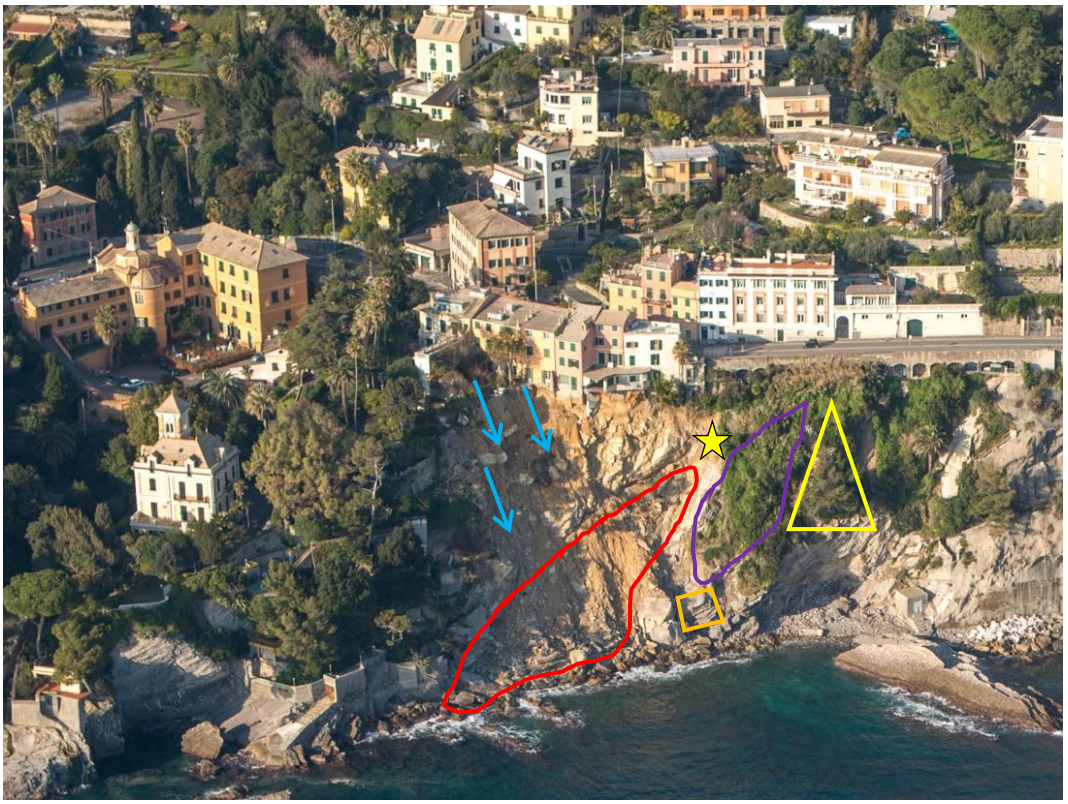


Foto 3: Foto prospettica della costa (fonte: Regione Liguria, anno 2015).



Foto 4: Foto prospettica della costa (fonte: Regione Liguria, anno 2020).

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E



Foto 5: Vista complessiva, da mare, del versante in cui è occorso il movimento franoso del gennaio 2014.



Foto 6: Dettaglio della base della parete rocciosa coinvolta dalla frana del 2014. L'ellisse indica i due affioramenti dove è stato svolto il rilevamento geomeccanico.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E



Foto 7: Dettaglio delle fondazioni scalzate degli edifici (civv. 43, 45, 47).



Foto 8: Dettaglio delle fondazioni scalzate degli edifici (civ. 47). Le frecce indicano resti di muri a secco e materiale detritico in precarie condizioni di stabilità.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E



Foto 9: Pareti rocciose denudate. La freccia indica il materiale detritico ancora in precarie condizioni di stabilità.



Foto 10: Muri in cemento armato a Ovest della frana. Si notano profonde lesioni.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E



Foto 11: Vista laterale dei muri in cemento armato a Ovest della frana.



Foto 12: Dettaglio della foto precedente.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E



Foto 13: Blocco roccioso franato, fratturato e disarticolato.



Foto 14: Accumulo detritico a monte del blocco roccioso visibile nella foto precedente.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E



Foto 15: Bancate rocciose a Est della frana. La freccia indica un albero in precarie condizioni di stabilità.

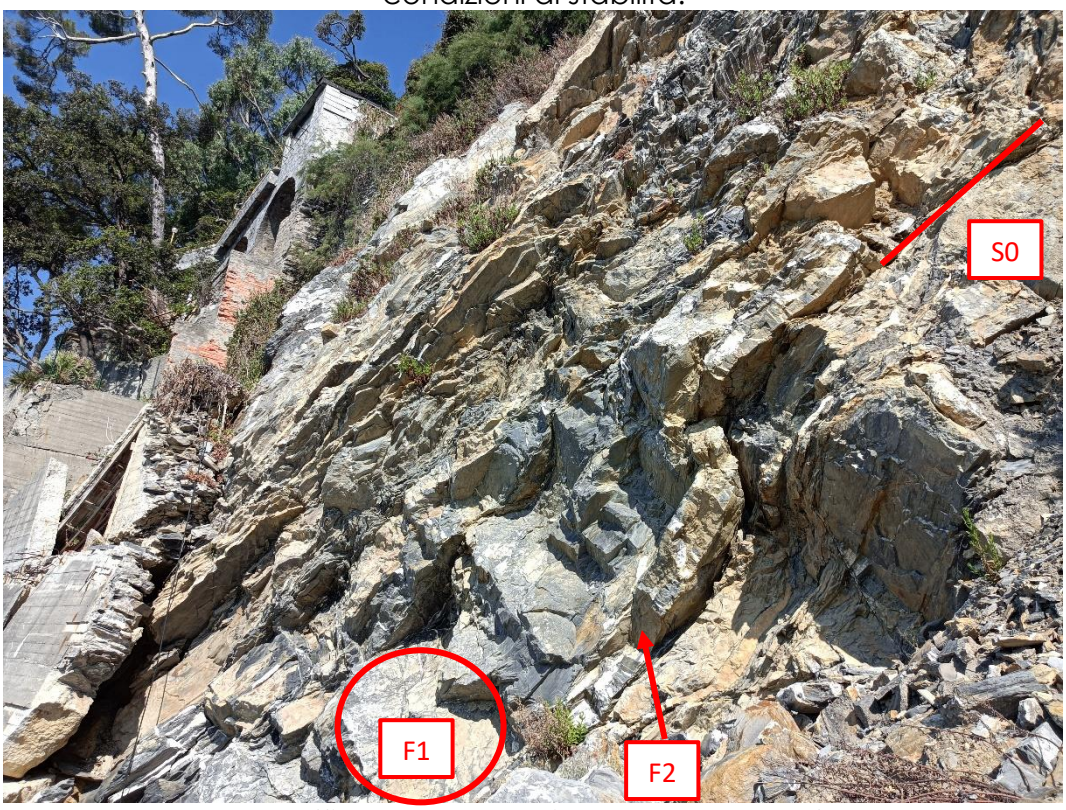


Foto 16: Affioramento roccioso a Ovest della frana.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E



LEGENDA

Ubicazione area d'intervento

TAVOLA A	COROGRAFIA SU C.T.R.	SCALA 1:5000

Dott. geol. ing. J. Alessandra FANTINI
Corso Italia 14/1 - 16145 GENOVA
Tel/Fax 010/3198881 - Cell 3393335866

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E



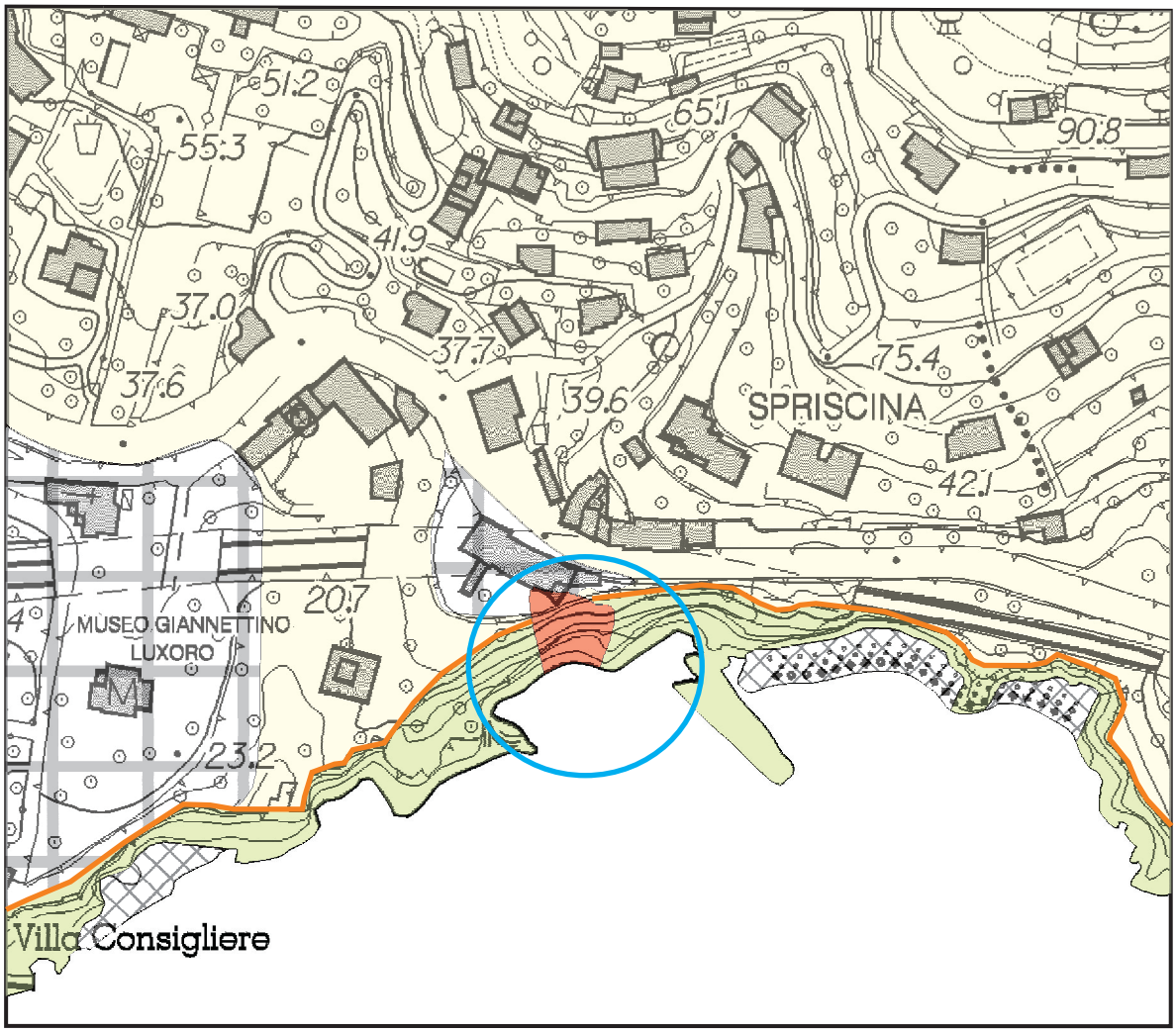
LEGENDA

Ubicazione area d'intervento

TAVOLA B	COROGRAFIA SU C.T.C.	SCALA 1:1000

Dott. geol. ing. J. Alessandra FANTINI
Corso Italia 14/1 - 16145 GENOVA
Tel/Fax 010/3198881 - Cell 3393335866

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

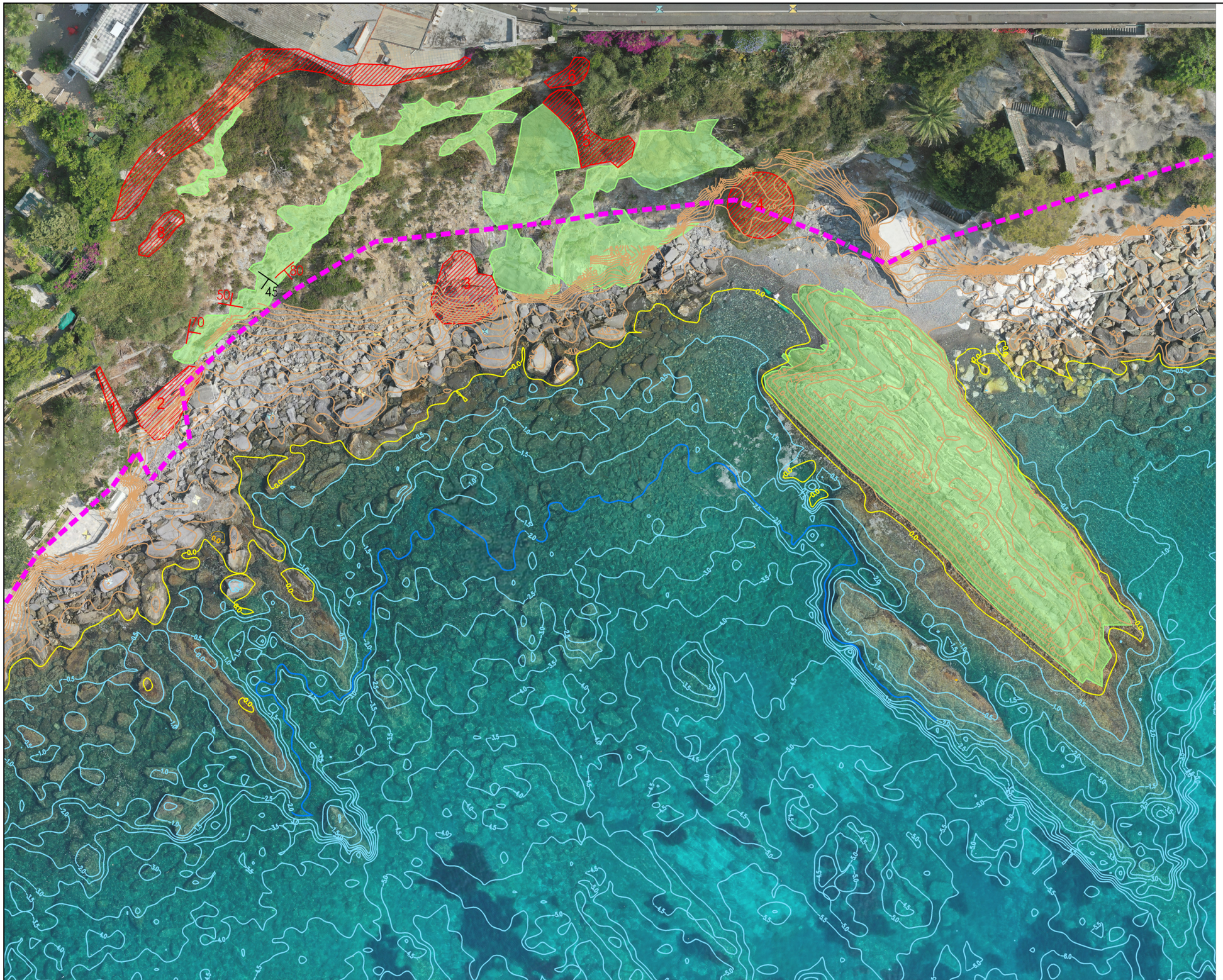


LEGENDA

- Riporti antropici (scogliere/massicciate).
- Frana attiva.
- Coltre eluvio colluviale di spessore tra 1 e 3 m.
- Terrazzo marino.
- Substrato affiorante o subaffiorante (formazione del Flysch del Monte Antola).
- Orlo della falesia.
- Ubicazione area d'intervento.

TAVOLA C	CARTA DI ANALISI	SCALA 1:2500

Dott. geol. ing. J. Alessandra FANTINI
Corso Italia 14/1 - 16145 GENOVA
Tel/Fax 010/3198881 - Cell. 339/3335866



LEGENDA:

Affioramento roccioso

Criticità

Dividente demaniale

30 Giacitura superficie di strato

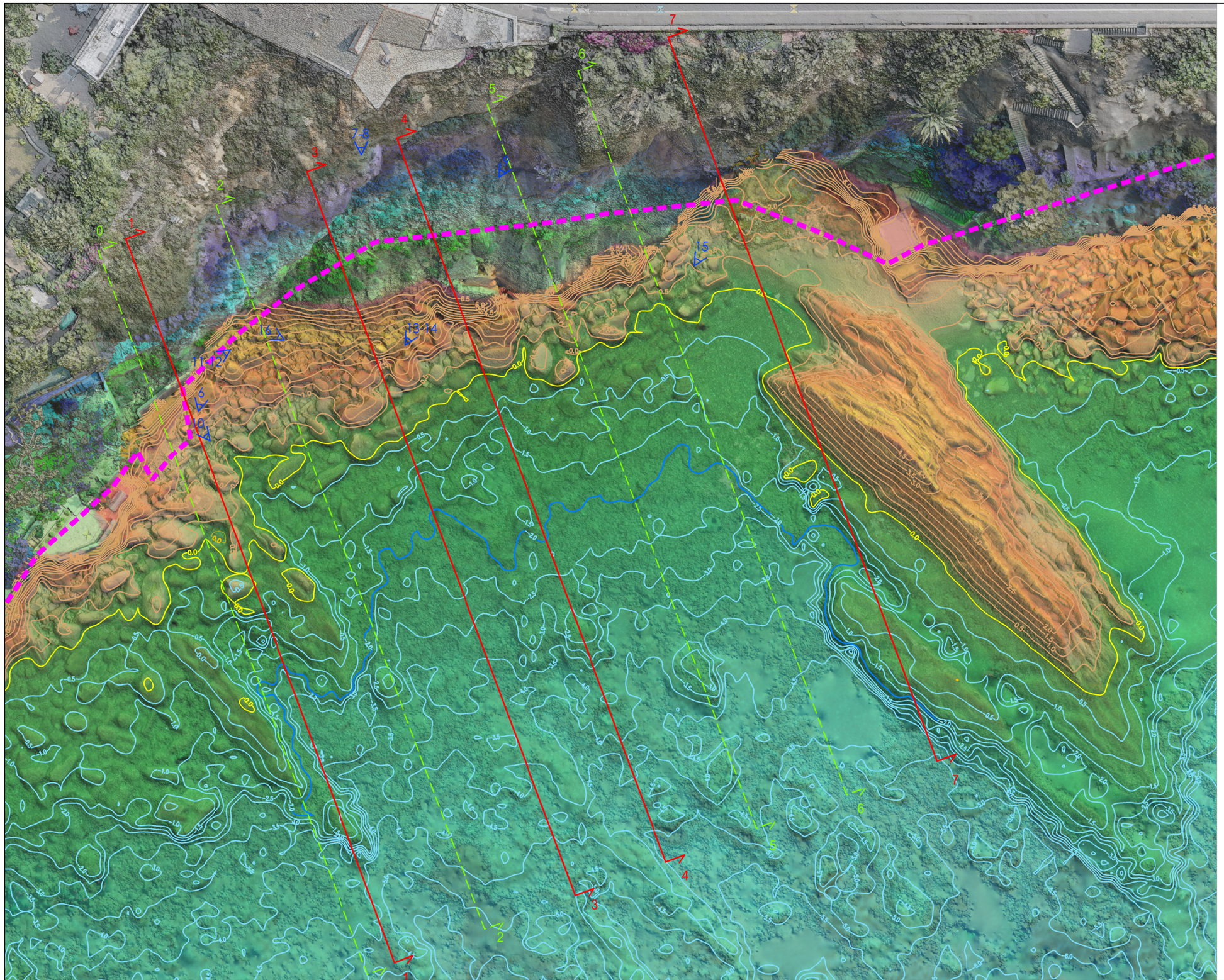
30 Giacitura discontinuità

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

TAVOLA D
SCALA 1:400

PLANIMETRIA CON INDIVIDUAZIONE AFFIORAMENTI E CRITICITA'

Dott. geol. ing. J. Alessandra FANTINI
Corso Italia 14/1, 16145 GENOVA
Tel/Fax 010.3198881 - Cell 339.3335866



LEGENDA:

Traccia di sezione geologica

Punto di vista fotografico

Dividente demaniale

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

TAVOLA E

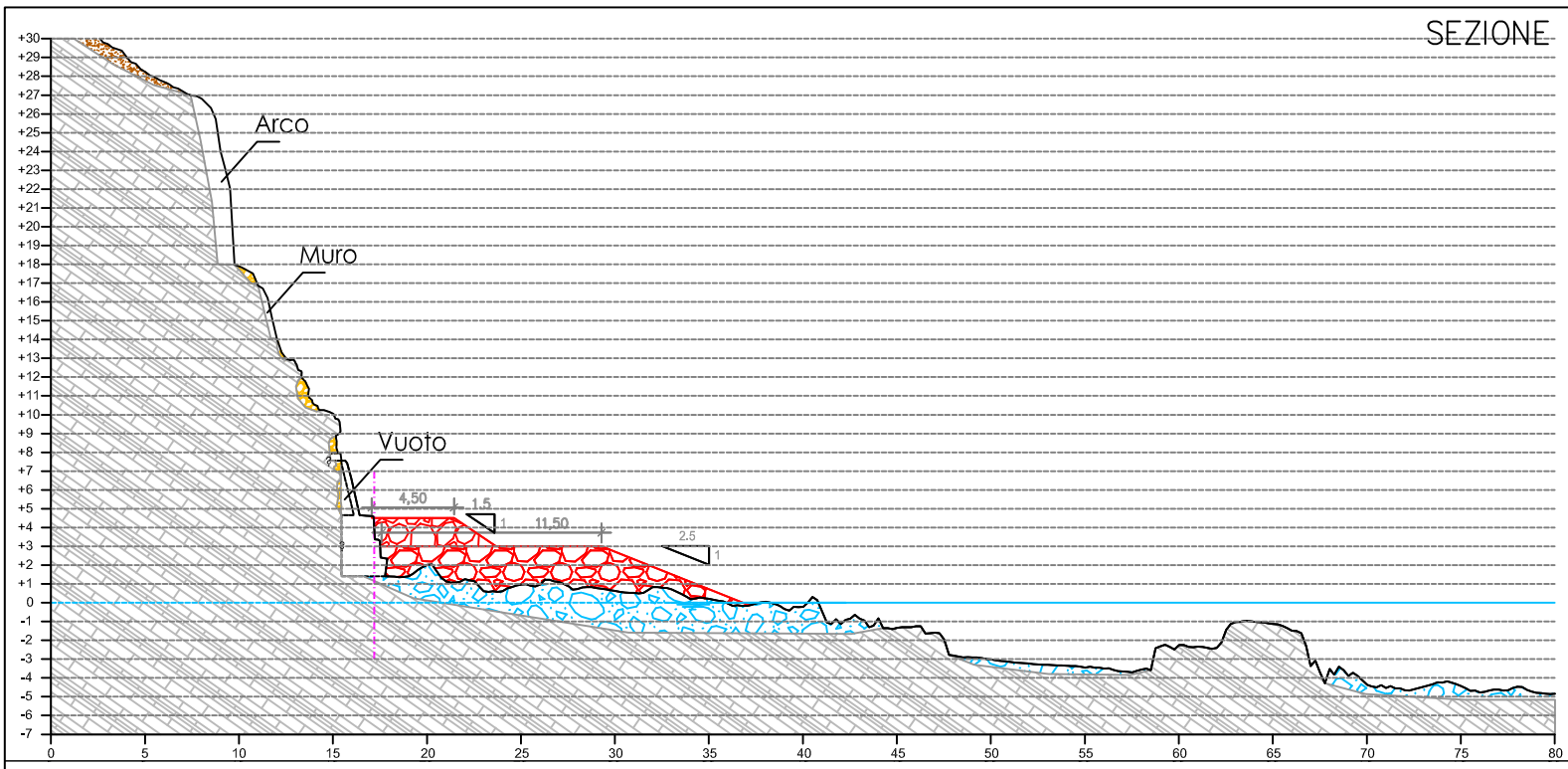
SCALA 1:400

PLANIMETRIA CON TRACCE SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE E PUNTI DI VISTA FOTOGRAFICI

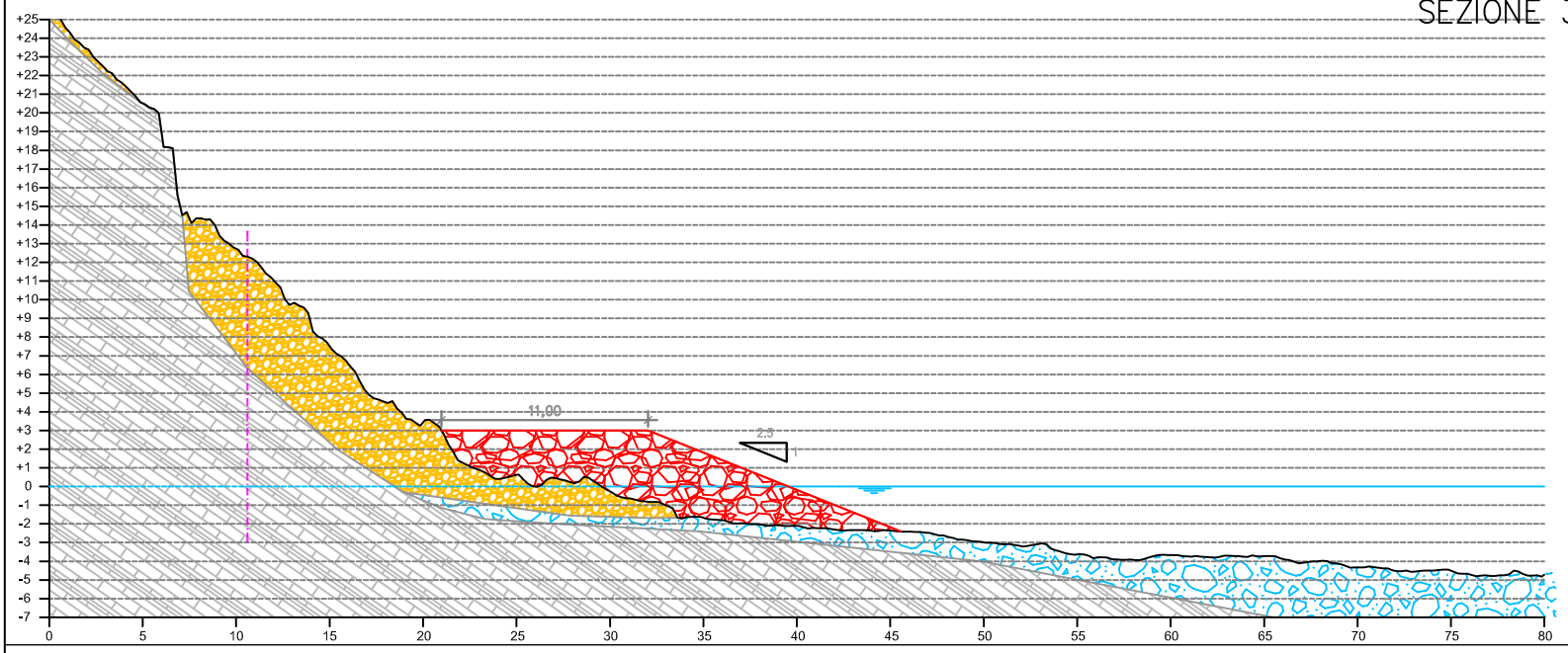
Dott. geol. ing. J. Alessandra FANTINI
Corso Italia 14/1, 16145 GENOVA
Tel/Fax 010.3198881 - Cell 339.3335866

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

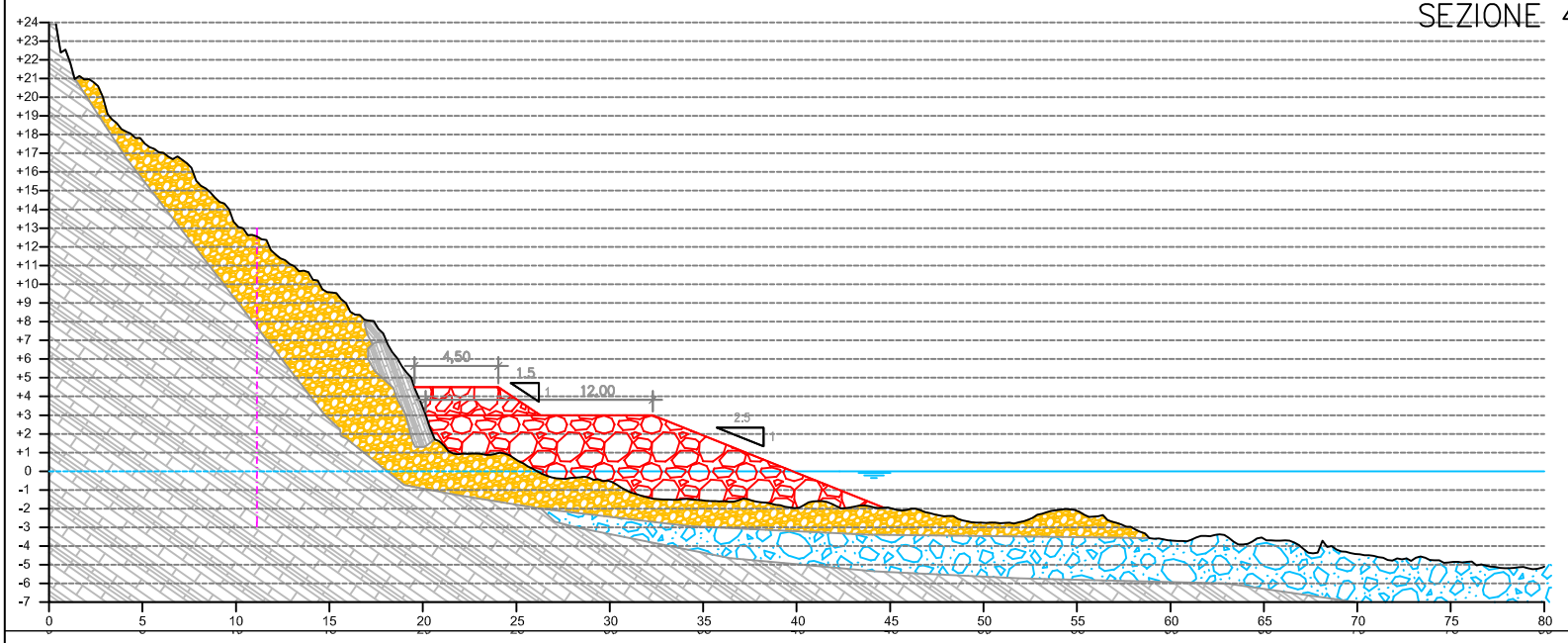
SEZIONE 1



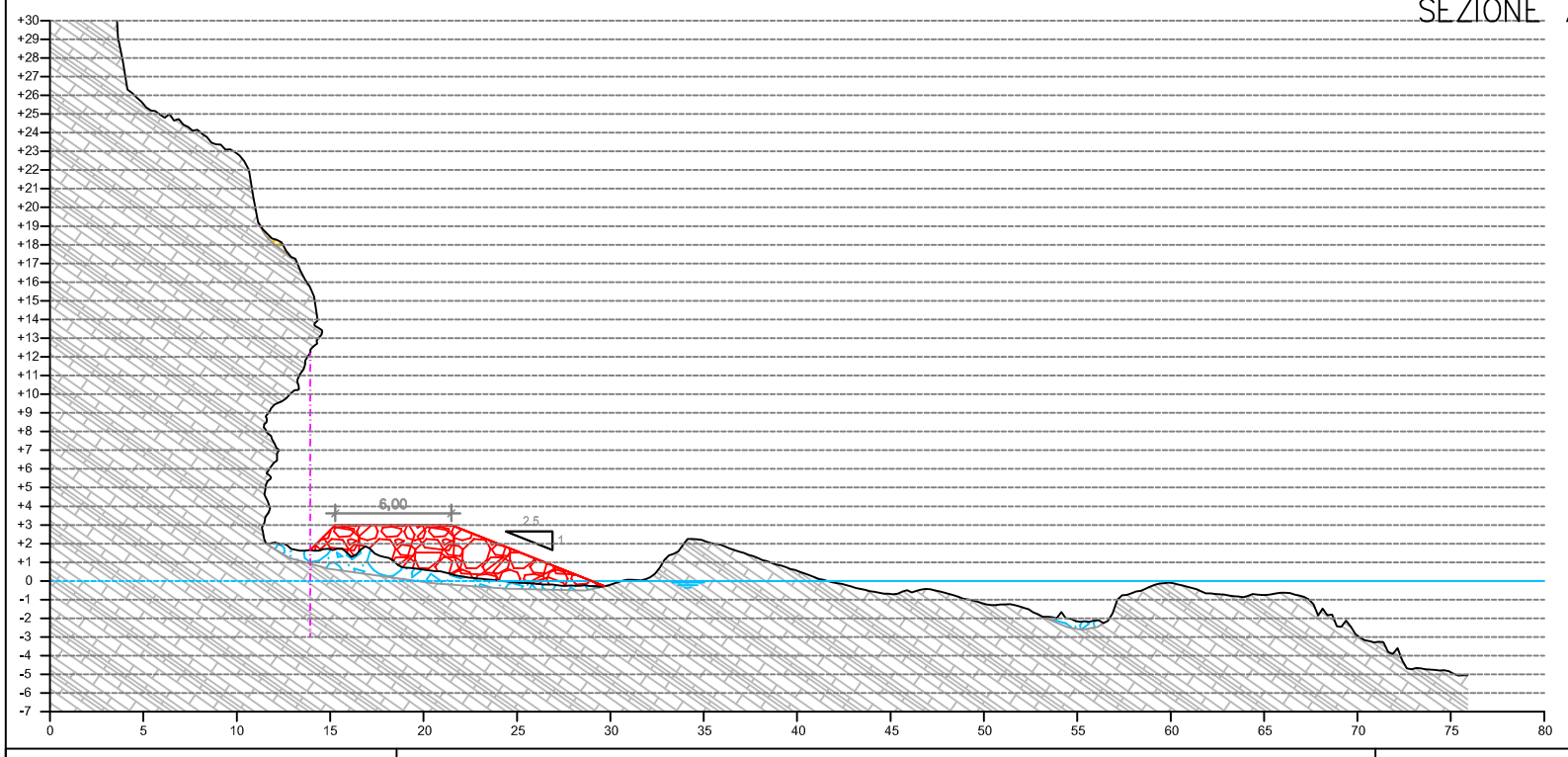
SEZIONE 3



SEZIONE 4



SEZIONE 7



LEGENDA:

- Deposito di frana
- Coltre detritica eluvio colluviale
- Depositi marini
- Substrato roccioso
- Opera a progetto
- Dividente demaniale

TAVOLA F

SCALA 1:400

SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE

Dott. geol. ing. J. Alessandra FANTINI
Corso Italia 14/1, 16145 GENOVA
Tel/Fax 010.3198881 - Cell 339.3335866

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

Proposta di valutazione della stabilità delle coste rocciose (SCMR – Sea Cliff Mass Rating): il caso studio delle falesie tra Genova e Camogli (Liguria orientale)

Ada Lucchetti[1], Pierluigi Brandolini[2], Francesco Faccini[2], Marco Firpo[2]

[1] Geologo (Ph.D.), Libero professionista
[2] Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Università degli Studi di Genova

Riassunto
Le coste rocciose sono forme soggette a un'evoluzione morfologica connessa principalmente a fenomeni di instabilità improvvisi e rapidi, quali crolli, ribaltamenti e scivolamenti. Lo studio delle loro condizioni è fondamentale per determinare la suscettività al dissesto costiera, che dovrà essere valutata tenendo in considerazione, oltre ai cinematismi di rottura attivi, le caratteristiche della roccia costituente le falesie e tutti gli agenti esterni che contribuiscono alla sua evoluzione, con particolare riguardo all'azione ciclica e costante del moto ondoso. In questo lavoro, tenendo conto dei vari aspetti e dei fattori che concorrono alla stabilità delle falesie, si presenta un metodo di studio per elaborare carte di pericolosità e di rischio geomorfologico delle coste rocciose. Si propone quindi in particolare una nuova classificazione, Sea Cliff Mass Rating (SCMR), che modifica l'indice Slope Mass Rating (SMR) di Romana, tenendo in considerazione l'azione del moto ondoso e la presenza di interventi antropici di consolidamento. L'applicazione di questa classificazione (SCMR) ha consentito la realizzazione di specifiche carte di suscettività al dissesto e di rischio geomorfologico nell'area costiera campione compresa tra Genova Nervi e Camogli.

Parole Chiave: coste rocciose, stabilità, pericolosità geomorfologica, Sea Cliff Mass Rating, moto ondoso.

Abstract
Rocky coasts are landforms mainly related to sudden and rapid processes, such as rock falls, topples and slidings. The study of their conditions is crucial to determine the susceptibility to coastal instability, which will be assessed through a deep analysis of the actual displacement mechanisms, the sea cliff rock mass features and of the exogenous agents that contribute to their evolution, with particular regard to the cyclic and permanent sea wave action. A new study method to elaborate geomorphological hazard and risk mapping of rocky coasts is therefore presented also considering the different factors contributing to the stability of sea cliff. The new classification system - Sea Cliff Mass Rating (SCMR) – proposed in this paper is a modification of the Slope Mass Rating index (SMR) by Romana, enforced through the integration of additional parameters such as wave action and rock mass improvement works. The SCMR index application has allowed the implementation of specific maps of susceptibility to coastal instability and of geomorphological risk in the Genova-Nervi and Camogli study area.

Keywords: *rocky coast, stability, geomorphological hazard, Sea Cliff Mass Rating, wave action.*

Premessa

Le falesie sono una forma costiera in continua evoluzione, la cui stabilità dipende da molteplici fattori: le caratteristiche e la resistenza della roccia che le costituisce, la presenza di discontinuità nell'ammasso roccioso

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

e le loro caratteristiche, i rapporti geometrici tra giunti e pendio, gli agenti subaerei che concorrono all'alterazione delle pareti rocciose, l'azione del moto ondoso e le modificazioni antropiche subite. Tutti questi elementi devono essere valutati nello studio di una falesia, che può essere considerata come un pendio alla cui base agisce l'azione del moto ondoso.
Le caratteristiche della roccia e dei giunti possono essere valutate attraverso classificazioni geomeccaniche di ampio utilizzo; dopo aver esaminato ed utilizzato la classificazione Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski, 1989), l'indice Slope Mass Rating (SMR) (Romana, 1985, 1993), la classificazione Rock Mass Strenght (RMS) (Selby, 1980) e l'indice Geological Strenght Index (GSI) (Marinos e Hoek, 2000), si è ritenuto che l'indice SMR sia quello che meglio rappresenta la dinamica delle falesie dal punto di vista statico, in quanto prende in considerazione anche i rapporti geometrici tra discontinuità e pendio.
L'azione del moto ondoso agente alla base delle falesie dipende dall'energia che l'onda scarica sulla parete rocciosa, determinata dalla direzione di provenienza del moto ondoso, dalle caratteristiche delle onde e dalla profondità del fondale (Coastal Engineering Research Center, 2002); a questo 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).
La presenza antropica lungo le falesie costiere è dovuta a edifici, costruzioni e infrastrutture alla sommità delle pareti rocciose e a stabilimenti balneari o altri manufatti alla base.
Tra i fattori che determinano l'evoluzione di una costa rocciosa, le caratteristiche della roccia ed il moto ondoso sono gli aspetti fondamentali da considerare per definire la qualità di una falesia; pertanto è stata studiata una nuova classificazione, Sea Cliff Mass Rating (SCMR), a partire dall'indice SMR di Romana, che permetta di valutare sia gli aspetti statici sia quelli dinamici delle pareti rocciose (Lucchetti et al., 2013): nella classificazione SMR leggermente modificata è stato introdotto un nuovo parametro che tiene conto dell'azione del moto ondoso.
In questo lavoro, tenendo conto dei vari aspetti e dei fattori che concorrono alla stabilità delle falesie, attraverso l'incrocio tra la zonizzazione delle falesie sulla base della classificazione SCMR ed i dati geomorfologici si propone un metodo di studio per elaborare carte di pericolosità e di rischio geomorfologico specifico per le coste rocciose.
Lo studio è stato effettuato nel tratto costiero tra il torrente Nervi e il porticciolo di Camogli (Riviera Ligure di Levante), costituito da falesie intensamente urbanizzate, la cui evoluzione potrebbe mettere a rischio numerose infrastrutture pubbliche e private inserite in un contesto paesaggistico di notevole interesse, come recentemente avvenuto con l'evento geo-idrologico di gennaio 2014.

Inquadramento dell'area di studio

Il settore costiero oggetto di studio interessa i Comuni di Genova, Bogliasco, Pieve Ligure, Sori, Recco e Camogli, nel Golfo Paradiso, ed è costituito quasi interamente da falesie, intervallate da piccole spiagge alla foce dei principali torrenti e da alcune pocket beach (Fig. 1).
Le falesie sono modellate nel Flysch di Monte Antola, costituito da calcari marnosi, marne, calcareniti, arenarie ed argilliti. 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 (Fig. 1); inoltre i corsi d'acqua principali sono impostati su lineazioni a scala regionale (torrenti Sori, Recco, Sturla, ecc.) orientate grossomodo NNE-SSW (Fanucci et al, 1980; Cortemiglia, 1982).

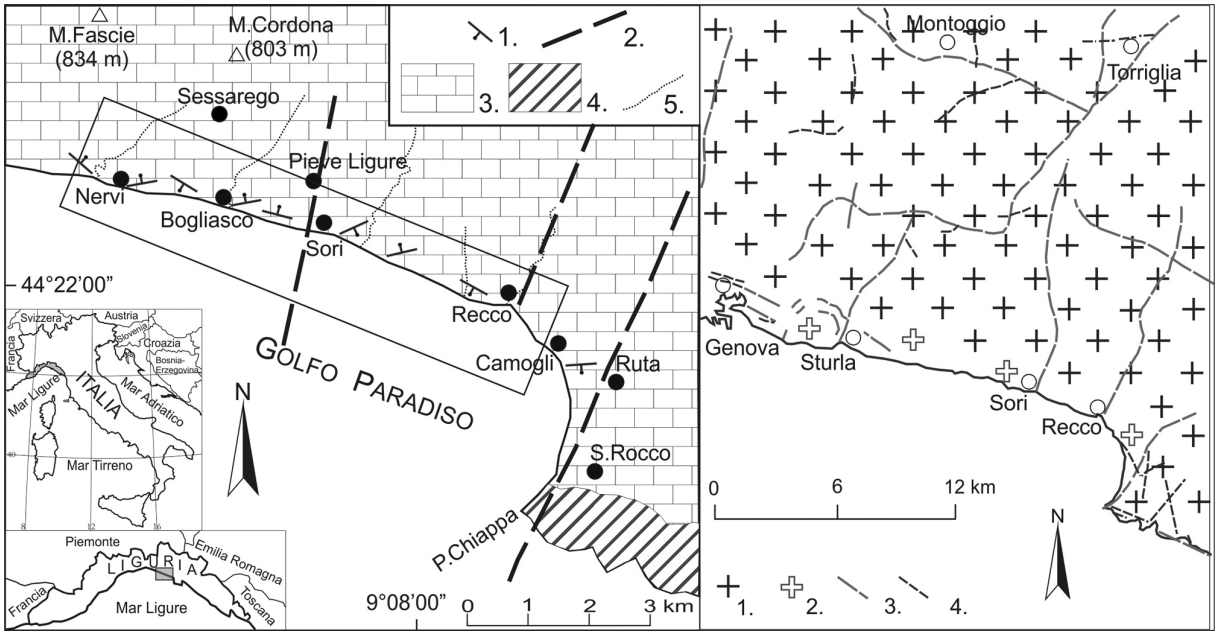


Figura 1 – Localizzazione dell'area di studio e schema geologico: 1. Giacitura di strato; 2. Lineazioni tettoniche; 3. Flysch di Monte Antola; 4. Conglomerato di Portofino; 5. Corsi d'acqua principali; Schema neotettonico (modificato da Fanucci et al, 1980): 1. Zona interessata da sollevamento relativo; 2. Zone interessate da sollevamento assoluto; 3. Faglia; 4. Linea di faglia e di frattura.

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; in corrispondenza della frazione San Gaetano a Pieve Ligure si rileva una deformazione gravitativa profonda di versante che comprende una grande frana relitta: la porzione superiore del corpo franoso sembra attualmente inattiva, mentre la porzione al piede, che interessa anche la sommità della falesia, è attiva.
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.
L'area costiera in esame è intensamente urbanizzata: oltre ai centri abitati maggiori in corrispondenza dei principali corsi d'acqua, alla sommità delle falesie si osservano numerosi edifici ed abitazioni, complessi condominiali, villette e numerose infrastrutture pubbliche e private, quali strade carrabili e pedonali, la via Aurelia, la linea ferroviaria Genova-La Spezia e parchi. In particolare, la linea ferroviaria si trova frequentemente a strapiombo sul mare sostenuta da muraglioni che superano i 30 m di altezza; in molti tratti, invece, scorre in gallerie, le quali hanno alterato la situazione naturale dei pendii, modificando le tensioni all'interno degli ammassi rocciosi. La Via Aurelia scorre lungo tutto il tratto costiero in esame ed in numerosi punti si trova anch'essa a strapiombo sul mare o poco distante da esso, protetta e sostenuta da muraglioni e pilastri.
Alla base delle pareti rocciose, nelle zone in cui la falesia è conformata in modo da permettere un accesso al mare, sono presenti stabilimenti balneari, mentre nei settori di costa elevati, dove non era possibile l'accesso diretto, alcune strutture di difesa sono state modificate per permettere ai privati di raggiungere la base della scogliera.
Nell'area in esame il settore di traversia è compreso tra 150° e 230°, quindi i venti che interessano la zona e

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.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.

La classificazione SCMR per la valutazione della stabilità della costa rocciosa

Lo studio della costa rocciosa è stato effettuato in diverse fasi, che in seguito sono state raggruppate nella nuova classificazione Sea Cliff Mass Rating (SCMR), che fornisce una metodologia generale per valutare la stabilità della costa rocciosa con parametri semplici e facilmente misurabili.
Dopo aver esaminato e confrontato cartografie, foto aeree e rilievi di diversi periodi a partire dall'Ottocento ad oggi, al fine di determinare l'arretramento delle falesie costiere, in rapporto alla situazione attuale, sono state valutate le condizioni della costa rocciosa attraverso un rilevamento geologico-geomorfologico e geologico-tecnico lungo la costa e da mare, che ha permesso di ricavare i dati necessari per utilizzare le classificazioni geomeccaniche di più ampio utilizzo.
Tali classificazioni sono state applicate in oltre 50 stazioni geomeccaniche lungo il tratto costiero oggetto di studio; per ogni punto stazione è stato ricavato il profilo emerso e sommerso della falesia, al fine di individuare la pendenza della parete rocciosa e la morfologia del fondale (Fig. 2).

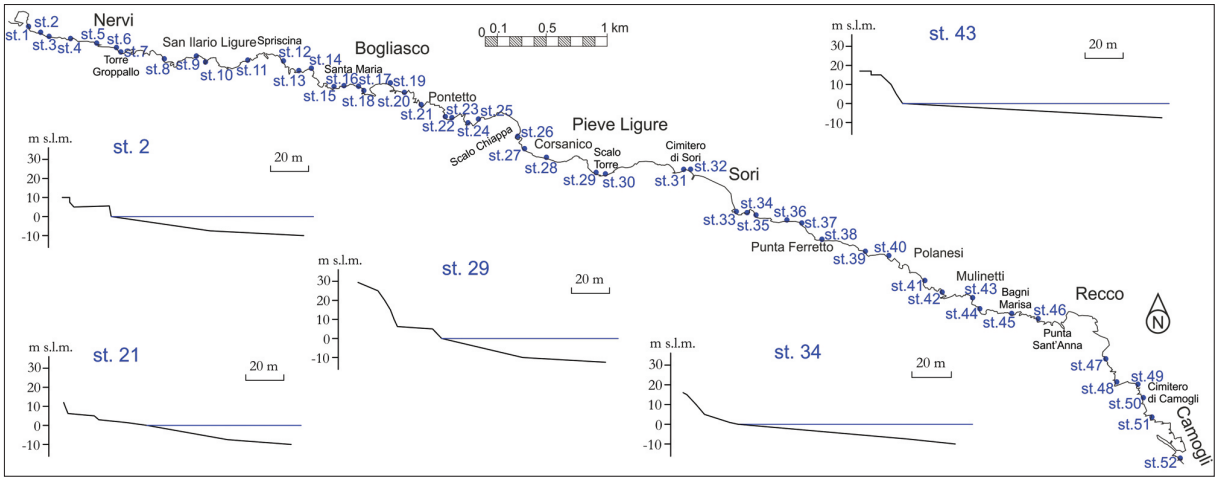


Figura 2 – Ubicazione delle stazioni geomeccaniche e alcuni profili topografici tipo rappresentativi delle caratteristiche morfologiche della costa rocciosa emersa e sommersa.

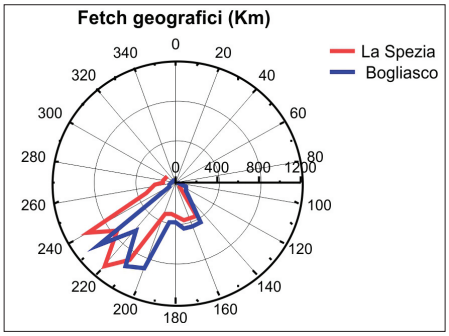
I dati del rilevamento sono stati integrati con i risultati di prove di laboratorio, eseguite in alcune località del territorio esaminato a supporto di interventi di ingegneria civile o ambientale: Point Load Test, resistenza a compressione monoassiale semplice e con controllo di deformazione, resistenza a trazione, prove triassiali e peso specifico.
Nelle falesie analizzate tramite rilevamento geomeccanico e nelle zone in cui è stato possibile effettuare il ri-

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

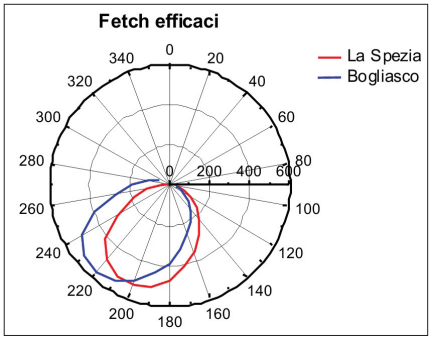
levamento della giacitura delle discontinuità è stata effettuata un'analisi dei potenziali cinematismi di rottura lungo le pareti rocciose attraverso l'utilizzo del programma di calcolo DIPS (Rocscience Inc., 2010).
I parametri fondamentali del moto ondoso sono stati valutati esaminando i dati ondametrici della stazione posizionata al largo della Spezia e la situazione dei venti registrata dal sensore anemometrico, posto presso la stazione mareografica di Genova; inoltre è stato possibile ottenere i parametri dell'onda in un punto a sud dell'abitato di Bogliasco, in corrispondenza della batimetrica dei -100 m. Trasponendo i dati della Spezia dal sito della boa al sito davanti a Bogliasco e riscalando i valori delle altezze d'onda con i valori dei fetch efficaci dei due siti si osserva che le differenze relative all'esposizione marittima nei confronti dei mari di Libeccio e di Scirocco sono minime, pertanto sono stati utilizzati i dati provenienti da entrambe le stazioni di misura, ritenendo che quelli di Bogliasco possano essere estesi a tutto il litorale in oggetto (Tab. 1).

Tabella 1 – 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

L'altezza d'onda significativa, la lunghezza d'onda e il periodo dell'onda al largo, unitamente alla pendenza del fondale hanno permesso di ricavare l'altezza d'onda alla frangenza e l'energia dell'onda per diversi periodi di ritorno, utilizzando le più comuni formulazioni (Sunamura, 1992); dall'altezza d'onda è stato possibile ricavare la profondità di frangenza (Coastal Engineering Research Center, 2002).

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

Per lo studio delle falesie è stato scelto un tempo di ritorno di 10 anni perché ritenuto il più adeguato in rapporto alla loro evoluzione geomorfologica.
La nuova classificazione Sea Cliff Mass Rating (SCMR) considera la falesia sia dal punto di vista statico sia da quello dinamico ed è rappresentata dalla seguente formulazione:

$$SCMR = R1+R2+R3+R4+R5 + (F1*F2*F3) + F4_m - M$$

I parametri R1, R2, R3, R4, R5 sono ripresi dalla classificazione RMR di Bieniawski e si riferiscono rispettivamente alla resistenza a compressione monoassiale, all'RQD, alla spaziatura delle discontinuità, alle caratteristiche delle discontinuità (persistenza, apertura, rugosità, tipo di riempimento e alterazione) ed alle condizioni idrauliche.
F1, F2 e F3 sono i parametri ripresi dall'SMR di Romana: parallelismo fra l'immersione del fronte e quella delle discontinuità (F1), inclinazione dei giunti nell'ipotesi di scivolamento planare (F2), relazioni proposte da Bieniawski per l'inclinazione fra fronte e discontinuità (F3).
Il parametro F4 di Romana, riferito al metodo di scavo, è stato sostituito dal parametro $F4_m$, che prende in considerazione gli eventuali interventi eseguiti sulla falesia, secondo il seguente principio: all'aumentare degli interventi il punteggio diminuisce, in quanto senza tali opere la falesia non sarebbe stabile. Sono stati definiti cinque intervalli: pendio naturale, con punteggio massimo, interventi minimi, interventi di media entità, interventi di grande entità, parete tagliata artificialmente o cava, di punteggio nullo.
Il fattore M, da sottrarre al risultato così ottenuto, introduce l'azione dinamica alla base della falesia, dovuta all'azione del moto ondoso; è dato dalla somma di tre parametri M = M1+M2+M3.
M1 prende in considerazione la modalità con cui le onde raggiungono la parete rocciosa (onde frante o frangenti) e l'energia dell'onda (kPa), valutata in base all'altezza d'onda significativa al largo Hs con la relazione $E = (1/8)*\square gHs^2$; si ottengono cinque classi con punteggio crescente: onde frante con E < 30, onde frante con E > 30, onde frangenti con E < 15, onde frangenti con 15 < E < 30, onde frangenti con E > 30. Le onde frangenti e con energia maggiore hanno il punteggio più elevato, in quanto sono quelle che scaricano la pressione maggiore sulla falesia.
M2 è funzione dell'inclinazione $\square$ della parete rocciosa rispetto all'orizzontale: se la parete è verticale le onde trasmettono l'energia massima alla falesia, pertanto la pressione esercitata dalle onde è direttamente proporzionale all'angolo $\square$. Anche in questo caso si suddivide l'inclinazione della parete rocciosa in cinque classi a punteggio crescente: 0-30°, 30°-55°, 55°-70°, 70°-90°, 90°.
M3 è definito in base all'angolo $\square$ formato tra i raggi d'onda e la linea costa, considerando che quando i raggi giungono perpendicolari alla riva scaricano la pressione maggiore sulla parete rocciosa: l'energia riversata sulla falesia è direttamente proporzionale all'angolo $\square$. Come per gli altri parametri sono state individuate 5 classi a punteggio crescente: 0-25°, 25°-50°, 50°-70°, 70°-90°, 90°.
I valori attribuiti ai vari parametri inseriti nella classificazione sono riportati in Tabella 2.
La classificazione SCMR deve essere applicata a tutte le famiglie di giunti e per tutti i tipi di moto ondoso agenti alla base della falesia; il punteggio minore ottenuto è quello rappresentativo della falesia.
Come risultato si ottiene un intervallo di valori che permette di identificare la classe di appartenenza della falesia; sono state mantenute le cinque classi di qualità della classificazione SMR di Romana (Tab. 3): classe I, molto buona; classe II, buona; classe III, discreta; classe IV, scadente; classe V, molto scadente.

Risultati

Nell'area di studio l'arretramento delle falesie costiere è risultato non constante nel tempo e connesso ai cinematismi di rottura lungo le pareti rocciose; è compreso tra 0.5 m e 5 m in 100 anni, mediamente 2 cm/anno. Tale valutazione unita al confronto temporale di foto e cartografie ha permesso di ipotizzare in alcuni settori il profilo della falesia a inizio secolo, almeno per quanto riguarda l'orlo di falesia (Figg. 3 e 4).
Dal rilevamento geomeccanico di dettaglio è emerso che l'ammasso roccioso risulta generalmente di qualità discreta e caratterizzato da due famiglie di discontinuità principali; i giunti presentano una persistenza compresa tra 3 m e 20 m, sono caratterizzati da superfici lisce o leggermente rugose, da leggermente a molto alterate; la spaziatura è compresa tra 20 cm e 60 cm. I giunti possono essere chiusi o aperti, fino a beanti, con prevalenza di apertura tra 0.1 mm e 5 mm; il riempimento di tali superfici di discontinuità, quando presente, è solitamente inferiore a 5 mm e costituito da calcite o argilla.
Le prove di laboratorio sulla roccia intatta e sui giunti hanno fornito i risultati riassunti in Tabella 4.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

La valutazione dei potenziali cinematismi di rottura in roccia ha evidenziato la possibilità di scivolamenti planari e a cuneo e, secondariamente, ribaltamenti. Da quanto osservato negli ultimi anni e da ricerche storiche (Provincia Genova, 2004; Gallino et al., 2012; Lucchetti, 2013) è emerso che i principali cinematismi di rottura si verificano a seguito di violente mareggiate. In particolare la mareggiata del 30 ottobre 2008 provocò lo scivolamento di un cuneo roccioso di grosse dimensioni e il crollo di vari frammenti di roccia nella falesia sottostante il cimitero di Camogli; a Sori lungo la parete rocciosa del fronte a mare del Condominio "La Scogliera" si verificò il distacco di una porzione della falesia, causando la distruzione dei sovrastanti percorsi pedonali e delle sistemazioni che garantivano l'accessibilità al mare e la fruibilità della scogliera. Durante la mareggiata del 26 febbraio 1989 una grande porzione di roccia sottostante Corso Mazzini, a Camogli, franò in mare per scivolamento compromettendo le fondamenta del ristorante soprastante; per tale ragione fu eseguito un intervento di chiodatura nella porzione di parete restante, ancora esistente.

Tabella 2 – Classificazione Sea Cliff Mass Rating (SCMR)

PARAMETRI	**INTERVALLI VALORI**				
resist. compress.	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa
R1: valori parametro	15	12	7	4	2
R.Q.D. (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
R2: valori parametro	20	17	13	8	3
spaziatura discontinuità	> 2 m	0,6-2,0 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m
R3: valori parametro	20	15	10	8	5
persistenza/continuità	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
R4: valori parametro	6	4	2	1	0
apertura delle discontinuità	nessuna	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm
R4: valori parametro	6	5	4	1	0
rugosità del giunto	molto rugoso	rugoso	leggerm.rugoso	liscio	levigato
R4: valori parametro	6	5	3	1	0
tipo di riempimento	nessuno	duro < 5 mm	duro > 5 mm	mollo < 5 mm	mollo > 5 mm
R4: valori parametro	6	4	2	2	0
alterazione del giunto	non alterato	legger. alterato	moderat.alterato	molto alterato	degradato
R4: valori parametro	6	5	3	1	0
condizioni idrauliche	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	venute d'acqua
R5: valori parametro	15	10	7	4	0
FATTORI PER GIUNTI	**INTERVALLI VALORI**				
rottura planare/cuneo (□ j-□ f)	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
ribaltamento (□ j-□ f-180)					
F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
rottura planare/cuneo (□)	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
F2 piano/cuneo	0,15	0,4	0,7	0,85	1
F2 ribaltamento			1		
rottura planare/cuneo (□ j-□ f)	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
ribaltamento (□ j+ □ f)	< 110°	110° - 120°	> 120°	#	#
F3	0	-6	-25	-50	-60
condizioni falesia	pendio naturale	interventi minimi	interventi di media entità	interventi di grande entità	tagliato artificialmente/cave
$F4_m$	15	10	8	5	0
energia dell'onda (M1)	onde frante E<30	onde frante E>30	onde frangenti E<15	onde frangenti 15<E<30	onde frangenti E>30
punteggio	1	2	4	6	8
□ parete (M2)	0-30	30-55	55-70	70-90	90
punteggio	0	1	3	5	7
□ moto ondoso (M3)	0-25	25-50	50-70	70-90	90
punteggio	0	3	5	8	10
Totale (M)	**1**	**6**	**12**	**19**	**25**

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

Tabella 3 – Classi di qualità delle falesie in base alla classificazione SCMR

SCMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
classe	I	II	III	IV	V
descrizione	molto buona	buona	discreta	scadente	molto scadente
stabilità	sicuramente stabile	stabile	parzialmente stabile	instabile	sicuramente instabile
modo di rottura	assente	possibili blocchi	lungo piani o per cunei	lungo piani o su grandi cunei	su grandi piani o rototraslazionale
stabilizzazione	nessuna	occasionale	sistematica	estesa	riprofilare la scarpata

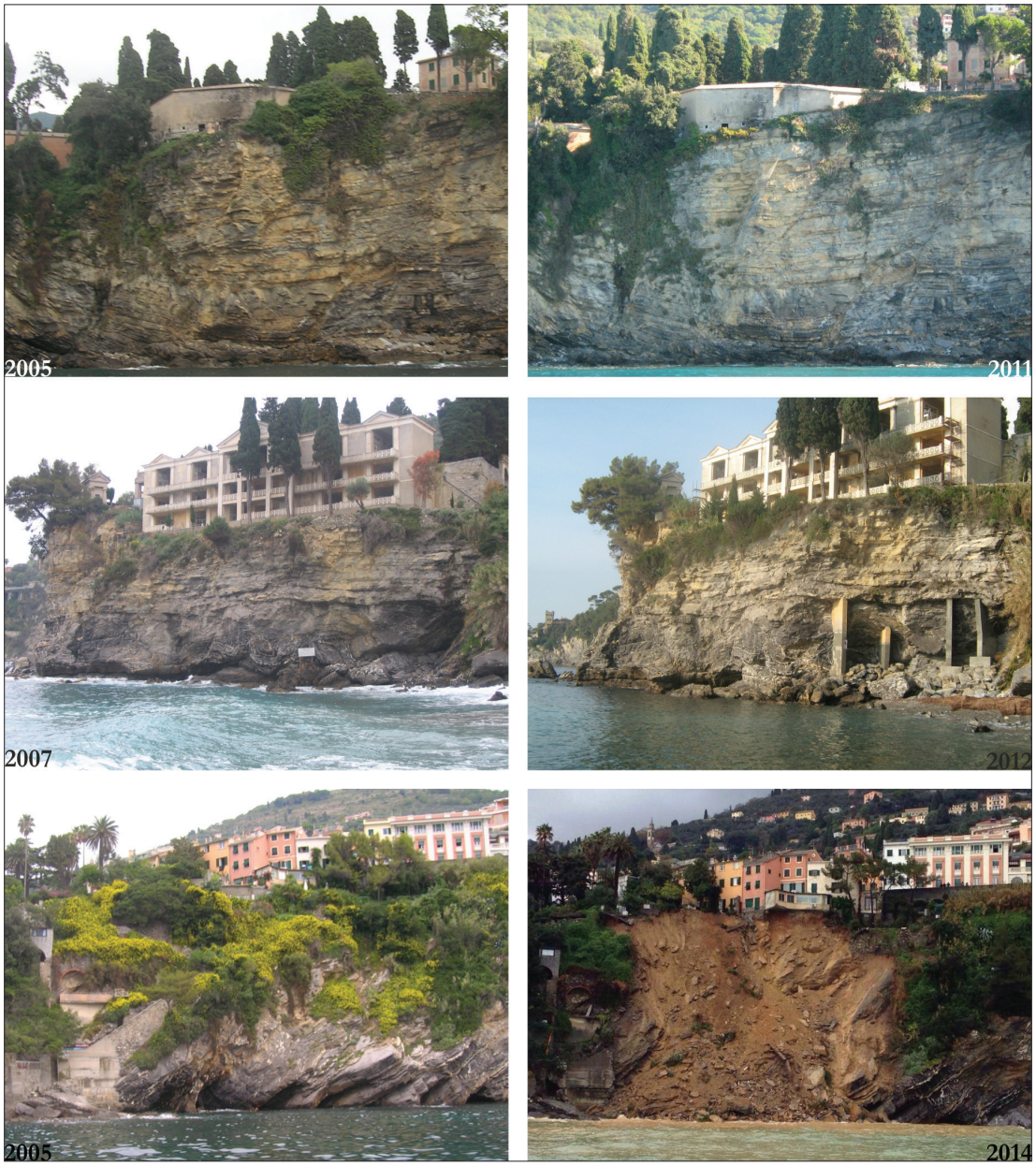


Figura 3 – Confronto temporale relativo all'evoluzione della costa tra Genova Nervi e Camogli: in alto falesia sottostante il cimitero di Camogli; al centro falesia sottostante il cimitero di Sori; in basso falesia in Località Spriscina a Genova Nervi.

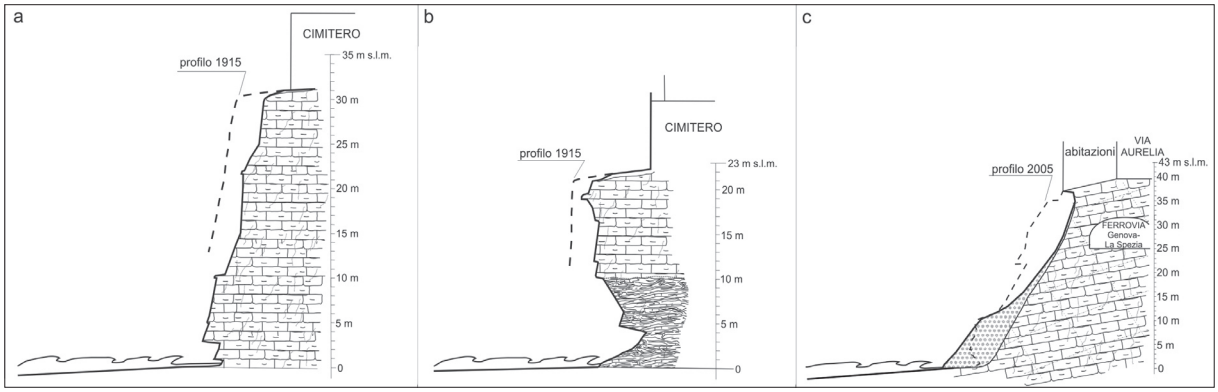


Figura 4 – Sezioni delle falesie nei pressi del cimitero di Camogli (a), del cimitero di Sori (b) e di Spriscina (c).

Tabella 4 – Principali parametri fisico-meccanici del Flysch di Monte Antola

Parametri	**Ammasso Roccioso**		
	condizioni più sfavorevoli	condizioni più favorevoli	prevalente
Spaziatura (m)	0.06 - 0.2	0.6 - 2	0.2 – 0.6
Persistenza (m)	20	3	maggiore 20
Apertura (mm)	maggiore 5	nessuna	0.1 - 5
Rugosità (superfici)	lisce	rugose	leggermente rugose
Riempimento	minore 5 mm	assente	assente
Alterazione	molto alterato	leggermente alterato	leggermente alterato
RQD (%)	25-50	75-90	25-50
Condizioni idrauliche	umido	asciutto	asciutto
	Roccia intatta		
	minimo	**massimo**	**medio**
Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	25	70	40
Resistenza a trazione (MPa)	3	8	5
Peso specifico (kN/m^3)	25	27	26
Angolo di attrito efficiace (°)	28	46	30
Coesione efficace (kPa)	50	275	190
	Giunti		
	minimo	**massimo**	**medio**
Angolo di attrito di base (°)	27	35	30
Angolo di attrito di picco (°)	38	45	39
Angolo di attrito residuo (°)	22	30	27
Coesione (kPa)	100	300	175
Coesione di picco (kPa)	110	310	220
Coesione residua (kPa)	75	210	100

L'analisi di dettaglio del moto ondoso ha permesso di evidenziare che nella costa da Nervi alla spiaggia di Recco i tratti orientati circa E-W sono interessati sia da moto ondoso di Libeccio sia da onde di Scirocco, mentre i promontori sono raggiunti da onde di Libeccio sul lato W e da onde di Scirocco sulla parete E. Il tratto costiero compreso tra la spiaggia di Recco e il porticciolo di Camogli è interessato principalmente da moto ondoso di Libeccio, in quanto è orientato NW-SE. Considerando che la pendenza del fondale è risultata compresa tra 1°, solitamente nelle falesie in corrispondenza delle baie, e 13°, per tempo di ritorno di 10 anni le onde giungono quasi sempre frante alla parete rocciosa; solo nella frazione Corsanico a Pieve Ligure e nella zona di Punta Ferretto a Sori, le onde frangono contro la scarpata rocciosa.
Confrontando i risultati delle classificazioni geomeccaniche applicate, si evidenzia che l'indice RMS fornisce in tutti i punti stazione valori confrontabili: ammasso roccioso di resistenza moderata. Considerando la gia-

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

citura delle discontinuità in rapporto all'orientazione del pendio si ottengono delle differenziazioni lungo la costa rocciosa; secondo l'RMR, di tutte le stazioni esaminate 10 risultano con ammasso roccioso di qualità pessima e 17 di qualità scadente; in base all'indice SMR le falesie esaminate sono risultate per la maggior parte in condizioni discrete, 11 in condizioni buone, 4 in condizioni scadenti e 2 in condizioni molto scadenti. I risultati della classificazione RMR e dell'indice SMR non sono pienamente confrontabili, ma è opportuno sottolineare che i valori del parametro R6 della classificazione di Bieniawski sono molto penalizzanti, tanto che alcuni autori ritengono che nel caso dei versanti il parametro R6 non sia applicabile e rimandano direttamente alla classificazione di Romana.
La classificazione SMR di Romana è risultata, pertanto, la più adatta per rappresentare le caratteristiche delle falesie costiere in condizioni statiche, in quanto prende in considerazione la geometria tra giunti e pendio, utilizzando parametri adeguati; inoltre fornisce indicazioni sul possibile cinematismo di rottura che potrebbe verificarsi lungo la parete rocciosa e le eventuali opere di sistemazione. Per questo è stata utilizzata come base per la nuova classificazione Sea Cliff Mass Rating.
Inserendo tutti i dati ottenuti dallo studio delle pareti rocciose nella formulazione dell'indice SCMR si ottengono 14 falesie di qualità discreta, 13 di qualità scadente, 10 di qualità da scadente a discreta, 6 di qualità da discreta a scadente, 4 di qualità molto scadente, 3 di qualità da discreta a buona e 2 di qualità da molto scadente a scadente (Fig. 5).

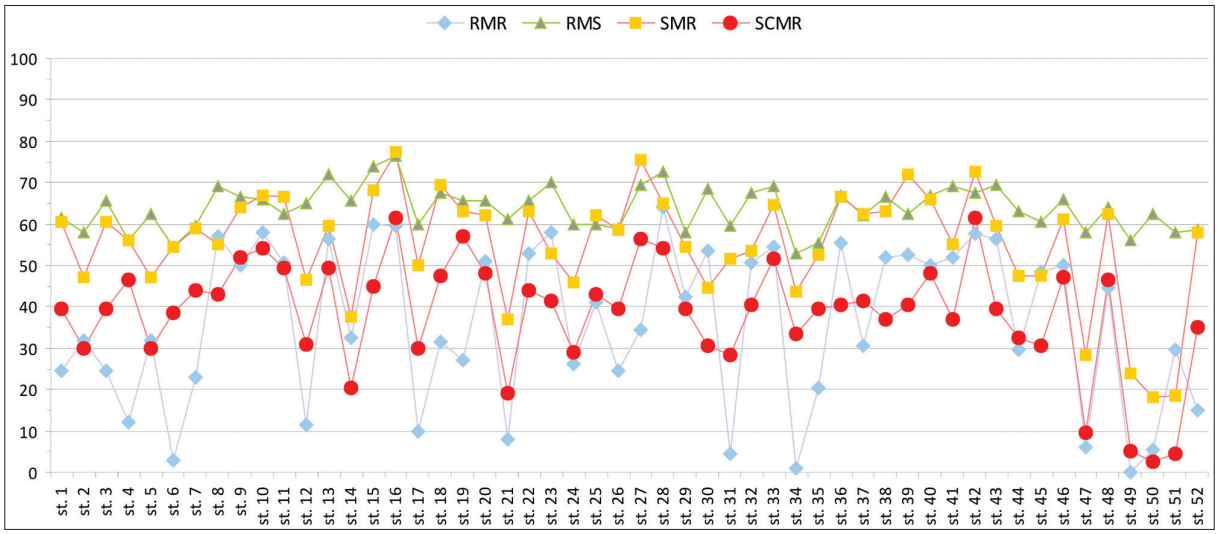


Figura 5 – Comparazione dei valori medi delle classificazioni RMR, RMS, SMR ed SCMR.

Discussioni e conclusioni

I risultati ottenuti con la classificazione SCMR permettono una maggiore differenziazione delle falesie costiere anche rispetto all'indice SMR di Romana e sono coerenti con quanto osservato sul terreno; pertanto l'azione del moto ondoso è fondamentale per la dinamica delle falesie e va analizzata per effettuare uno studio completo delle coste rocciose.
Tali risultati, data la corrispondenza con la realtà, sono stati utilizzati per elaborare una carta di pericolosità geomorfologica costiera (Fig. 6), in cui le classi di suscettività al dissesto costiera ricalcano le classi della classificazione SCMR:
a) Pg_c4: suscettività molto elevata, comprende le frane attive e le falesie con valore di SCMR = 0-20;
b) Pg_c3: suscettività elevata, comprende le Deformazioni Gravitative Profonde di Versante e le falesie con valore di SCMR = 21-40;
c) Pg_c2: suscettività media, comprende le falesie con valore di SCMR = 41-60;
d) Pg_c1: suscettività bassa, comprendente le falesie con valore di SCMR = 61-80;
e) Pg_c0: suscettività molto bassa, comprendente le spiagge e le falesie con valore di SCMR = 81-100.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

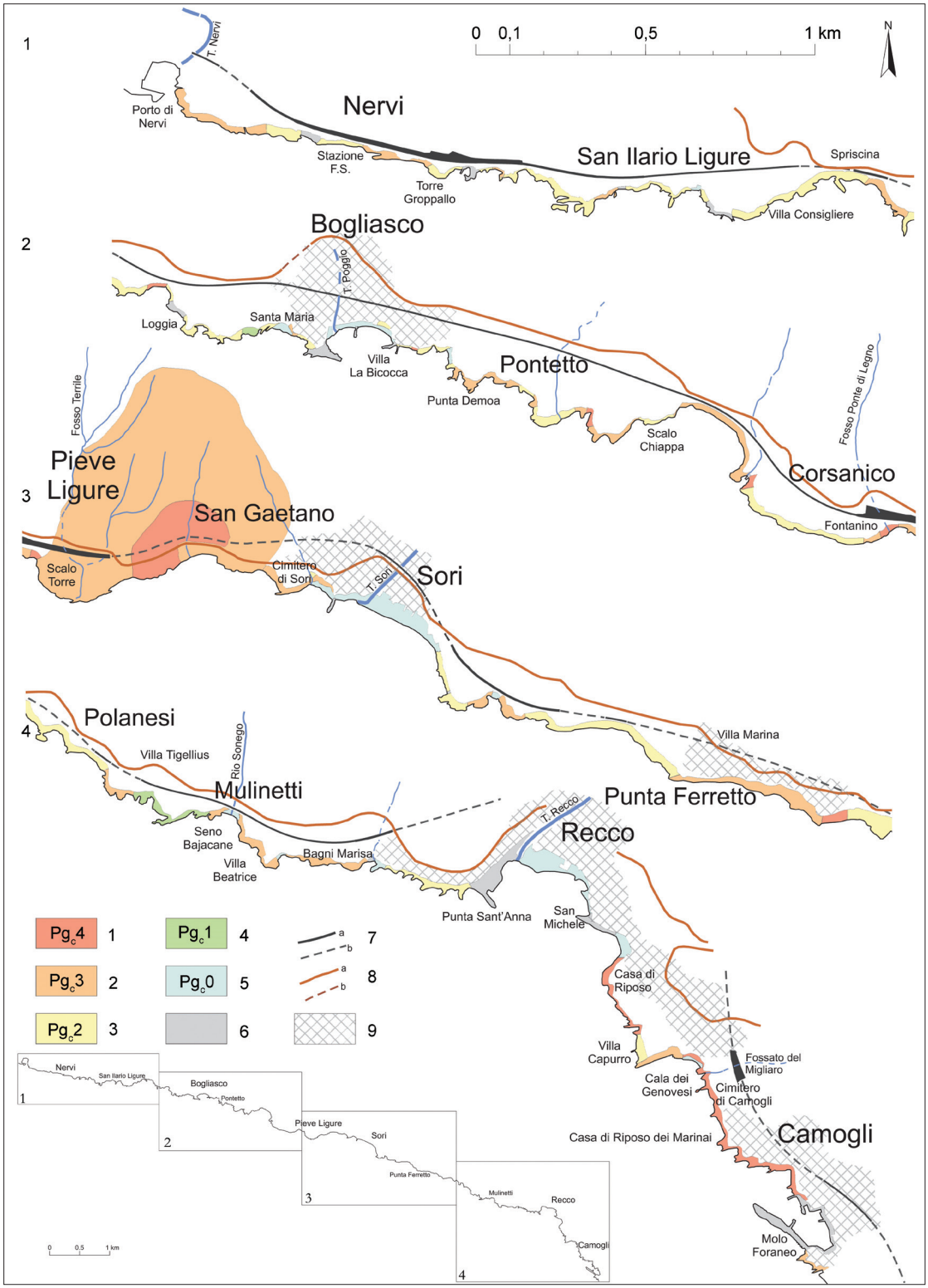


Figura 6 – Carta di pericolosità geomorfologica costiera (suscettività al dissesto costiera). Legenda: 1.Pg_c4, suscettività al dissesto molto elevata; 2. Pg_c3, suscettività al dissesto elevata; 3. Pg_c2, suscettività al dissesto media; 4. Pg_c1, suscettività al dissesto bassa; 5. Pg_c0, suscettività al dissesto molto bassa; 6. costa armata o artificiale; 7. linea ferroviaria (a) con tratti in galleria (b); 8. via Aurelia (a) con tratti in galleria (b); 9. aree con elevata urbanizzazione.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E

E' stata inserita la sesta classe "costa armata o artificiale", per rappresentare le opere portuali e marittime e le opere di origine antropica che hanno completamente obliterato la falesia.
Quando l'intervallo di valori dell'indice SCMR rappresentante la falesia è compreso all'interno di due classi contigue di suscettività si è eseguita la media matematica tra i due estremi dell'intervallo e si è assegnata la classe corrispondente al valore medio.
In generale prevalgono le aree a suscettività media ed elevata; le aree a pericolosità molto elevata corrispondono principalmente con le zone in cui si sono riscontrate frane attive; risultano solo due falesie a suscettività bassa.
Dalla carta di pericolosità geomorfologica è stata derivata una carta di rischio costiero, considerando gli elementi a rischio presenti in una fascia di 30 m a partire dall'orlo della scarpata della falesia. Gli elementi a rischio sono stati definiti in base a 4 classi: E0, ossia aree disabitate o improduttive; E1, in cui sono compresi edifici isolati e zone agricole; E2, comprendente nuclei urbani, insediamenti industriali e commerciali minori; E3, costituita da centri urbani, grandi insediamenti industriali e commerciali, principali infrastrutture e servizi. Nella fascia costiera considerata sono presenti principalmente elementi a rischio di classe E2 ed E3.
Incrociando in una matrice le classi di suscettività con quelle degli elementi a rischio, si sono individuate cinque classi di rischio costiero: Rc4 molto elevato, Rc3 elevato, Rc2 medio, Rc1 basso e Rc0 molto basso.
Le zone a rischio molto elevato coincidono principalmente con le aree a suscettività molto elevata e con le falesie a pericolosità geomorfologica elevata alla cui sommità sono presenti la strada provinciale Aurelia e/o la linea ferroviaria Genova-La Spezia. Le aree a rischio molto basso corrispondono alle spiagge o ad aree antropizzate a livello del mare, prive di falesia.
Le fasi di studio adottate sono risultate efficaci per differenziare le problematiche delle falesie del tratto costiero esaminato e tenuto conto che la classificazione proposta prende in considerazione parametri del moto ondoso di facile reperibilità ed applicazione, potrebbero essere adottate come indirizzo generale per la pianificazione territoriale in ambito costiero, attualmente affrontata in modo parziale nei Piani di Bacino vigenti in Liguria.
Il metodo e la classificazione proposti sono comunque suscettibili di approfondimenti ed eventuali modifiche e sarà indispensabile testare tale approccio in altri territori costieri, liguri e nazionali, al fine di tarare la classificazione SCMR alle falesie modellate in altri ammassi rocciosi, interessate da moto ondoso in differenti condizioni meteomarine e caratterizzate da interventi antropici diversi.

Bibliografia

Bieniawski Z.T. (1989) - *Engineering Rock Mass Classifications.* Wiley Ed., New York. 257 pp.

Coastal Engineering Research Center (2002) - *Coastal Engineering Manual.* EM 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Internet Publishing Group.

Corsi B., Elter F.M., Giammarino S. (2001) - *Structural fabric of the Antola Unit (Riviera di Levante, Italy) and implications for its alpine versus apennine origin.* Ofioliti, 26 (1): 1-8.

Corsi B. (2003) - *Eventi tettonico-sedimentari del settore tra Chiavari e Genova Nervi nel quadro dell'evoluzione geodinamica del sistema Ligure Balearico e Tirrenico.* Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, Università degli Studi di Genova.

Cortemiglia G.C. (1982) - I*ndizi Geomorfologici significativi quale contributo alla stesura di una carta neotettonica della Liguria* - Contributi conlusivi per la realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, pubblicazione n. 513 del Progetto Finalizzato Geodinamica. CNR Roma: 397-404.

Fanucci F., Pintus S., Tedeschi D. & Vignolo A. (1980) - *Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 83-94 Rapallo, Chiavari* - Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, pubblicazione n. 356 del Progetto Finalizzato Geodinamica. CNR Roma, 1305-1327.

Gallino S., Benedetti A., Onorato L. (2012) - *Wave Watching. Lo spettacolo delle mareggiate in Liguria.* Ulrico Hoepli Editore S.p.A., Milano, 224 pp.

Lucchetti A. (2013) - *Evoluzione recente e rischio geomorfologico delle coste alte rocciose tra Genova Nervi e Camogli (Liguria orientale).* Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, Università degli Studi di Genova, 127 pp.

Lucchetti A., Brandolini P., Robbiano A., Firpo M. e Faccini F. (2013) - *The Sea Cliff Mass Rating geomechanical classification for the rocky coastal management plan.* 12th European Geoparks Conference National

Park of Cilento, Vallo di Diano and Alburni Geopark- Italy, 4th-6th September 2013, 158-161.
Marini M. (1981) - *Analisi geologico-strutturale ed interpretazione paleogeografica e tettogenetica dei Calcari del M. Antola (Appennino Ligure).* Ofioliti, 6: 119-150
Marinos P., Hoek E. (2000) - *GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation,* Proc. GeoEng2000 Int. Conf. on Geotech. and Geol. Engineering. Melbourne, Technomic publishers, Lancaster. pp. 1422–1446
Provincia di Genova (2004) - *Studio dell'Ambito Costiero tratto tra Punta Vagno ed il Golfo Paradiso.* Area 06 Difesa del Suolo, Opere Ambientali e Piani di Bacino. 256 pp.
Rocscience Inc., 2010. *DIPS 5.0 software*
Romana M. (1985) - *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes.* Proc. ISRM Int. Symp. on the Role of Rock Mech.. Zacatecas. pp. 49-53.
Romana M. (1993) - *A geomechanics classification for slopes: Slope Mass Rating.* Hudson, J. Ed., Comprehensive Rock Engineering, Pergamon 3: 575-600.
Selby M.J. (1980) - *A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antartica and New Zealand.* Z. Geomorph. N.F., 24-1: 31-51.
Sunamura T. (1992) - *Geomorphology of Rocky Coasts.* J. Wiley & Sons Ed., Chichester, U.K. 302 pp.

Ricevuto il 21/02/2014, accettato il 07/07/2014.

c_d969.Comune di Genova - Prot. 08/09/2022.0338008.E