Comune di Pieve Ligure

Regione Liguria

Opere di messa in sicurezza del versante posto a monte della S.S.1 Aurelia - Ripa di San Gaetano

Oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA

Progettisti:

Dott. Geol. Francesco Olivari
Via Cavour n. 15/7B - Cap. 16038
Santa Margherita Ligure (GE)
Tel. 3497518188
Email: geofranz@libero.it
C.F. LVR FNC 65R14 B490O
P.IVA 01447370998

Dott. Ing. Giorgio Fassi
Via M. N. Dagnino n. 4 - Cap. 16156
Genova Pegli
Tel. 3337829268
Email: ing.giorgiofassi@gmail.com
C.F. FSS GRG 62D02 D969N
P.IVA 03196280105

Consulenze specialistiche:

Per la parte Geologica:
Prof. Geol. Francesco Faccini
Ricercatore Universitario Confermato Geografia Fisica e Geomorfologia
c/o Università degli Studi di Genova

Per la parte Idraulica:
Ing. Paolo Noce

Richiedente:	Data:	Revisione:
Comune di Pieve Ligure Via Roma n. 54, 16031(GE) - P.IVA 00770800100	Marzo 2020	rev. 01

Tavola:	Scala:
D02	

E' vietata a norma di legge la riproduzione anche parziale
non autorizzata di questo documento.

PROGETTO DEFINITIVO

SOMMARIO

	Pag.
0. Premessa	2
1. Studi e indagini pregresse sulla frana di San Gaetano	2
2. Profilo geologico e geomorfologico	4
3. Indagini geognostiche	6
4. Profilo geotecnico	7
5. Interventi previsti	10
Riferimenti bibliografici	12

0. Premessa

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Pieve Ligure è stata redatta la presente relazione geologica a supporto della progettazione definitiva-esecutiva finalizzata alla predisposizione degli *"Interventi di messa in sicurezza del versante a monte della S.S. 1 Aurelia Ripa di San Gaetano".*

L'area oggetto di studio è individuabile sulla Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 unione elementi n. 231023 *Sori* e n. 231024 *Pieve Ligure.* Per un migliore inquadramento si allega lo stralcio cartografico in scala 1:25.000 (Fig. 1), tavoletta 231.4 .

Le indagini per la predisposizione del presente elaborato sono state articolate come segue:

1) sopralluogo preliminare, necessario per prendere visione dello stato dei luoghi e raccogliere tutta la documentazione occorrente;
2) ricerca bibliografica e cartografica, sia di pubblicazioni sia di relazioni tecniche inerenti incarichi professionali in settori limitrofi a quello in esame;
3) rilevamento di dettaglio sul terreno al fine di accertarne le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche;
4) esame del Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico e degli studi geologici connessi al Piano Regolatore Generale del Comune di Pieve Ligure;
5) esecuzione di una nuova campagna geognostica articolata in sondaggi per la definizione stratigrafica del comparto e per l'allestimento di strumentazione geotecnica e idrogeologica;
6) rielaborazione di quanto emerso e redazione della relazione tecnica illustrativa.

Le indagini geologiche e geotecniche sono state condotte in conformità a quanto previsto dalle normative vigenti ed in particolare al D.Lgs. 163/2006 e s.m.i. e al regolamento di esecuzione ed attuazione d.P.R. n. 207/2010, oltre al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17.01.2018 "Norme tecniche per le costruzioni" e della relativa Circolare Applicativa n.7 del 21.01.2019.

1. Studi e indagini pregresse sulla frana di San Gaetano

Per quanto attiene al Piano Stralcio di Bacino per il Rischio Idrogeologico (Ambito 14), redatto ai sensi del D.L. 180/98 ("Decreto Sarno"), si può descrivere quanto segue:

a) la carta del reticolo idrografico (fig. 2a) individua i seguenti corsi d'acqua, descritti dal settore occidentale a quello orientale: Fosso Terrile, Fosso Sapelo e Fosso Camposanto;
b) per la zona d'intervento la carta della franosità reale (fig. 2b) individua una "*deformazione gravitativa profonda di versante* (FP)" che interessa l'intero settore e un'area, di estensione più limitata, a monte della via Aurelia, classificata come "*frana per scorrimento o scivolamento attiva* (SC)"; inoltre, il Fosso Terrile e il Fosso Sapelo presentano *"erosione concentrata di fondo";*

c) la carta della suscettività al dissesto (fig. 3a) classifica il territorio oggetto d'intervento come **Pg3b** (suscettività al dissesto elevata) e **Pg4** (suscettività al dissesto molto elevata);

d) la carta del rischio geomorfologico (fig. 3b) indica che il terreno oggetto d'intervento è classificato da **R1** (rischio moderato) a **R4** (rischio molto elevato).

La relazione generale del Piano di Bacino individua la frana San Gaetano come caso più evidente ed importate riconducibile a frane attive o comunque caratterizzate da un'attività ricorrente.

Per tale fenomeno esistono una serie di fonti documentali che evidenziano una elevata ricorrenza dei movimenti dal 1926 ad oggi, in particolare sono segnalati dissesti negli anni 1926, 1952, 1953, 1985 e 1992 (Catalogo AVI, reperibile all'indirizzo: http://avi.gndci.cnr.it/).

Per quanto riguarda agli studi geologici a supporto del P.R.G. di Pieve Ligure, si osserva che il sito d'intervento rientra in **classe 1** "aree instabili" e **classe 2** "aree al limite dell'instabilità".

Lo "Studio dell'Ambito Costiero, tratto tra Punta Vagno ed il Golfo Paradiso", elaborato dalla Provincia di Genova nel 2004, nella scheda n. 20 ricostruisce l'evoluzione storica del versante, delimitato dai promontori di Castello Cirla (a ponente) e del cimitero di Sori (a levante). Si segnalano dissesti avvenuti nel 1969 a valle dell'Aurelia e nel 1993 nella parte soprastante. Si ricordano gli interventi da parte di A.N.A.S. nella scarpata inferiore con la realizzazione di alcuni contrafforti in c.a. (anni '70 e 1983) e interventi di paratie di micropali tirantate e reti armate a seguito degli eventi alluvionali del 1993.

Il "progetto inventario dei fenomeni franosi in Italia – IFFI" riporta in cartografia una frana da scivolamento rotazionale/traslativo che coincide sostanzialmente con l'area Pg4 del Piano di Bacino.

La frana di San Gaetano è stata oggetto di studio di una sottotesi di laurea in Scienze Geologiche (De Naro, 1964); in tale elaborato vengono descritti due movimenti franosi; il primo sul settore O ad una quota di 60 m s.l.m., con il coinvolgimento di case diroccate, a monte della sede stradale. La seconda frana, situata da una quota di 40 m s.l.m. fino al livello del mare, non visibile in quanto diventata sede di una discarica e soggetta all'azione erosiva del moto ondoso.

Per quanto riguarda studi geognostici svolti nel settore in oggetto si segnalano le seguenti campagne di indagine: a) due sondaggi di tipo meccanico a carotaggio continuo, realizzati a supporto del progetto di ampliamento del cimitero comunale (Sebastiani, 1996). I due sondaggi sono stati spinti fino a una profondità rispettivamente di 19.5 m (S1) e 15 m (S2) dal p.c. Nel sondaggio S1 il substrato roccioso, seppur fratturato, è stato individuato alla profondità di 16.5 m, mentre nel S2 non è stato intercettato il basamento roccioso; b) un sondaggio di tipo meccanico a carotaggio continuo spinto fino ad una profondità di 35 m dal p.c., realizzato all'interno dell'attività di monitoraggio del versante a monte della S.S.1 via Aurelia (Sebastiani, 2013). Il sondaggio, realizzato a valle degli impianti sportivi, a monte di via Besso, è stato condizionato con una verticale inclinometrica automatizzata della lunghezza di 30 m. Tale sondaggio ha evidenziato il tetto del substrato roccioso ad una quota di 30.4 m dal p.c.; c) si segnalano altri due sondaggi, uno nel piazzale antistante la Chiesa di Pieve Alta spinto fino alla profondità di 19.5 m dal p.c. e l'altro in corrispondenza della strada

di accesso agli impianti sportivi, spinto fino alla profondità di 21 m dal p.c. Entrambi i sondaggi non hanno intercettato il substrato roccioso; d) Altri sondaggi sono stati eseguiti nei terreni a levante della Chiesa di Pieve Alta, ma ad una profondità di 15 m dal p.c. non è stato intercettato il substrato roccioso.

2. Profilo geologico e geomorfologico

Il substrato roccioso è ascrivibile alla formazione dei Calcari del M. Antola, un flysch costituito da calcari marnosi e marne calcaree, arenarie e argilliti, disposti in strati di potenza variabile, anche nell'ordine del metro, di colore grigio scuro se non alterati, fino a grigio chiaro-marrone nelle condizioni di alterazione superficiale più o meno marcata.

L'assetto strutturale alla scala territoriale è piuttosto complesso, in funzione delle numerose fasi deformative duttili e fragili subìte dalla formazione rocciosa (Marini, 1981; Corsi et al., 2001). In Fig. 5 è riportato uno stralcio della carta geologica inedita relativa al progetto CARG regionale, foglio Chiavari-Recco. Nell'area esaminata, stante il peculiare assetto geomorfologico condizionato da una deformazione tettonico-gravitativa e delle modificazioni antropiche che coinvolgono tutto il versante, gli affioramenti del substrato sono estremamente localizzati: significativi spaccati naturali si rilevano lungo la fascia costiera, tra la foce del T. Sori a E e quella del Fosso Ponte di Legno a O, e lungo il crinale che dalla vetta del M. di Santa Croce declina in direzione SE verso Sori.

Lungo l'alta falesia costiera la superficie di stratificazione presenta immersione verso NNE e inclinazione di 55° sul piano orizzontale, mentre alcune superficie di clivaggio osservabili nei livelli più duttili e alcuni assi di pieghe testimoniano le numerose fasi deformative rilevabili almeno alla mesoscala.

In corrispondenza del crinale spartiacque, soprattutto in prossimità della Chiesa di Santa Croce, si osservano altri affioramenti del basamento roccioso: la superficie di strato presenta immersione verso NE e media inclinazione sull'orizzontale. Anche in questo caso si rilevano significative superficie di clivaggio, con giaciture variabili, e tracce di superfici assiali di strutture plicative, sia sinformi sia antiformi. Altri affioramenti del substrato di ridottissima estensione si rilevano in corrispondenza del rio San Gaetano, a valle della strada pedonale San Gaetano.

Alla scala territoriale, tra il Monte di S. Croce e la fascia costiera, il substrato roccioso si può quindi ritenere caratterizzato da strutture plicative mediamente aperte con piano assiale prevalentemente orientato NE-SO, interrotte da dislocazioni tettoniche, di cui la famiglia principale presenta un orientamento parallelo alla linea di costa, mentre un set subordinato mostra direzione circa ortogonale alla precedente.

L'assetto geomorfologico è condizionato dall'attività neotettonica che si è manifestata con un sollevamento assoluto, tuttora in corso, e numerose lineazioni riconducibili per lo più a faglie dirette. Sono state rilevate per rilevamento sul terreno e attraverso una foto-interpretazione facendo ricorso anche a immagini lidar, forme, processi e depositi legati all'azione della gravità, delle acque correnti, del moto ondoso e delle attività antropiche (Fig. 7). Come già accennato, il comparto esaminato è interessato da lineazioni tettoniche, su cui

risulta impostato sia il reticolo idrografico, principale e minore, sia la linea di costa. Nel complesso si possono individuare due famiglie principali, orientate grossomodo NE-SO e NO-SE, e altre subordinate con orientamento medio sia N-S sia E-O.

L'azione della gravità presenta forme di erosione e di accumulo, fenomeni profondi di tipo complesso (Fig. 8). Nella porzione di versante a S del Monte di S. Croce si osservano estese scarpate di frana inattive, mentre nella porzione sottostante i campi sportivi comunali una scarpata attiva evidenzia la "Ripa di San Gaetano": si tratta di un'area a marcata acclività (Fig. 9) caratterizzata da movimenti franosi con basso tempo di ritorno e classificata a pericolosità geomorfologica molto elevata nel vigente Piano di Bacino stralcio (ambito 14).

Lungo il versante compreso tra la via Aurelia e quota 350 m (Fig. 5) è presente con uniformità una frana relitta che presenta spessori accertati di 30 m in corrispondenza dei campi sportivi, e inferiore a 15 nel tratto sottostante fino alla Via Aurelia; nel settore compreso tra l'abitato di Pieve Alta e la zona degli impianti sportivi la potenza significativa della frana in terra è compresa tra 20 e 30 m. Il corpo di frana è limitato a O dal Fosso Terrile e a E dal Fosso del Camposanto, prossimo al Cimitero di Sori.

Per quanto attiene lo stato di attività il settore compreso tra la sommità della frana e il limite inferiore dei campi sportivi non presenta indicatori cinematici indiretti, e può considerarsi inattivo. Nel settore a quote inferiori a 130 m si osserva una evidente rottura di pendio che delimita a monte la già citata *Ripa di San Gaetano* caratterizzata da una pendenza medio-elevata (Figg. 10, 11, 12); in questo tratto, soprattutto fino a 100 m di quota, alcuni indicatori cinematici suggeriscono lo stato di attività della frana, con cinematismi tra molto lenti e lenti. Frane rapide, di crollo, ad elevata propagazione, si verificano unicamente nella porzione inferiore del versante lungo la alta falesia rocciosa, già soggetta in passato a importanti fenomeni che hanno determinano massicci interventi di consolidamento della sede stradale.

Tutta l'area, come ben evidenziato nella "*shaded relief map*" ottenuta dall'immagine Lidar (Figg. 8, 13) con risoluzione a 1 m, è caratterizzata da una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante che presenta una forma grossolanamente trapezoidale, con vertice a circa 300 m e limitata a O da un ramo del Fosso di Terrile e a E dal Rio del Cimitero di Sori. Vi sono pertanto alcune lievi differenze con la perimetrazione della DGPV riportata nel Piano di Bacino stralcio: la forma tettonica gravitativa si estende fino a mare (non è identificabile la sua estensione nella parte sommersa) e comprenderebbe anche il cimitero di Sori. Il profilo del versante presenta alcuni gradini alle quote 250 m, 155 m, 130 m e 100 m, che marcano altrettante rotture di pendio riconducibile a possibili scorrimenti di megascaglie profonde.

Il reticolo idrografico nel comparto interessato dall'intervento è caratterizzato da brevi aste fluviali, per lo più appartenenti al 1° ordine gerarchico: da E verso O si riconoscono il Fosso del Camposanto, il rio San Gaetano, il Rio Sapelo e il Rio Terrile, unico corso d'acqua più sviluppato e caratterizzato dal 3° ordine. L'azione delle acque correnti si manifesta attraverso una marcata erosione del fondo degli alvei descritti, evidenziata sia durante il rilevamento diretto sia attraverso la restituzione della superficie topografica con l'immagine Lidar del 2008: le incisioni sono particolarmente marcate per il Rio San Gaetano e per il ramo di levante del Rio Sapelo.

L'azione del moto ondoso si evidenzia innanzitutto con una alta falesia rocciosa grossomodo marcata dal margine di valle della Via Aurelia, mentre più antiche superficie di stazionamento del livello marino sono ipotizzabili a quota 24-34 m, con scarsa conservazione sia del margine esterno sia dell'orlo interno, mascherato dai processi continentali di versante (Biagioni et al., 2007).

Tutto il territorio è infine interessato da modellamento antropico risalente a tempi storici: il versante, dalle pendici del Monte S. Croce fino al mare è riprofilato a terrazzamenti sorretti da muri a secco, le cui condizioni di conservazione sono variabili, da buone a scadenti.

Tra le opere di consolidamento si segnalano lungo la falesia due grossi contrafforti realizzati all'inizio degli anni '60 a seguito di eventi franosi lungo la Ripa di San Gaetano

L'assetto idrogeologico è legato dalla stratigrafia del comparto: le coperture di frana sono terreni piuttosto eterogenei il cui coefficiente di conducibilità idraulica è funzione della granulometria media del materiale. Stante la significativa presenza di frazione fine limoso-argillosa è ragionevole ipotizzare un grado di permeabilità relativa da medio a basso.

Il substrato roccioso di natura calcareo-marnosa, in funzione del livello di fratturazione acquisito, presenta anch'esso un grado di permeabilità relativa da medio a basso.

I piezometri installati presso i campi sportivi e a monte del cimitero comunale hanno fornito indicazioni sulla presenza di una tavola d'acqua permanente, compatibile col modello idrogeologico che prevede la formazione di un acquifero nel terreno di frana, permeabile per porosità. Il limite superiore della falda oscilla tra 20 e 25 m di profondità ed è strettamente legato al regime di pioggia. In prossimità del Rio di San Gaetano è stata riscontrata una sorgente perenne che rappresenta l'intersezione tra la superficie topografica e la circolazione idrica sotterranea.

Il profilo termo-pluviometrico di questo territorio presenta una pioggia media annua cumulata di 1300 mm e una temperatura media dell'aria di 14,5 °C: si può pertanto ipotizzare una pioggia efficace di circa 650 mm/anno e una altezza di infiltrazione di almeno 300 mm/anno. Stimando una superficie di frana a monte della sorgente di circa 30 ha e utilizzando la relazione di Meinzer (1923) tra ricarica annua e ampiezza del bacino della sorgente si ottiene una portata di 1-3 l/s, compatibile con quanto rilevato direttamente per via sperimentale.

Presso il DiSTAV dell'Università di Genova è stato consultato il catalogo terremoti relativo ai dati dal 1982 ad oggi: non sono stati registrati sismi nel territorio di Pieve Ligure e nella antistante parte a mare (Fig. 14). Gli eventi sismici più vicini si sono verificati lungo il settore occidentale del Monte di Portofino e le magnitudo registrate sono molto basse, percepite soltanto dai sismografi.

3. Indagini geognostiche

Come accennato in premessa, è stata progettata e realizzata una campagna di indagini geognostiche, articolata come segue (Fig. 16):

- zona campi sportivi: n. 2 sondaggi ad asse verticale, di cui uno a distruzione di nucleo fino a 30 m e a carotaggio continuo da 30 a 40 m, condizionato con tubo inclinometrico (I1), e uno affiancato al precedente, ma eseguito interamente a distruzione di nucleo fino a una profondità di 30 m dal p.c. e condizionato con tubo piezometrico (Pz1).
- zona cimitero comunale: zona n. 2 sondaggi ad asse verticale, di cui uno a carotaggio continuo fino a 30 m, condizionato con tubo inclinometrico (I2), e uno affiancato al precedente ma eseguito interamente a distruzione di nucleo fino a una profondità di 30 m dal p.c. e condizionato con tubo piezometrico (Pz2).

Le perforazioni sono state condotte utilizzando sia un carotiere semplice con corona di widia, Ø = 140 mm, sia un carotiere doppio T6 con corona diamantata Ø = 116 mm. L'acquisizione della lettura sul tubo inclinometrico avviene tramite operazione manuale a cadenza stagionale: la prima lettura di taratura è avvenuta il 24 ottobre 2019 e la prima di esercizio il 24 gennaio 2020. Il rilievo della falda avviene tramite la misura in continuo con centralina di acquisizione dati del tipo Minilog.

Le prospezioni hanno permesso di constatare direttamente la stratigrafia dei terreni, costituita da coperture sciolte rimaneggiate, rappresentate da sabbia debolmente limosa con ghiaia e frammenti lapidei eterometrici, calcari marnosi molto alterati e degradati da moderatamente a molto fratturati.

Per la stratigrafia di dettaglio di ogni sondaggio, si rimanda alle schede riassuntive che rappresentano l'ALLEGATO 2.

Utilizzando economie residue della campagna geognostica realizzata e il ribasso d'asta legato alla gara d'appalto, è stata proposta la realizzazione di una terza coppia di sondaggi da attrezzare sempre con tubo inclinometrico (perforazione a carotaggio continuo) e tubo piezometrico (perforazione a distruzione di nucleo), la cui ubicazione dovrebbe essere prevista nella parte inferiore del versante, tra i campi sportivi a la strada n. 1 Aurelia.

4. Profilo geotecnico

Le informazioni geotecniche sono ottenute attraverso le indagini geognostiche eseguite con la campagna geologica sopra descritta integrata da quelle svolte per altri studi geologici e che forniscono soprattutto l'assetto stratigrafico della zona tra i campi sportivi e l'area del cimitero (Pieve Alta).

Tra queste ultime sono disponibili i risultati delle seguenti campagne geognostiche: 1) in corrispondenza del piazzale antistante la chiesa di Pieve Alta un sondaggio meccanico perforato fino a 19,5 m di profondità non ha intercettato il substrato roccioso; 2) nei terreni a levante della chiesa di Pieve Alta, i sondaggi meccanici disponibili individuano uno spessore della coltre detritica di almeno 15 m; 3) nella zona di Pieve Alta, dati riferiti a sondaggi meccanici eseguiti durante il progetto di ampliamento del cimitero, evidenziano uno spessore della coltre detritica di almeno 15 m; 4) in corrispondenza della strada di accesso agli impianti sportivi, un sondaggio meccanico perforato fino a 21 m di profondità non ha

intercettato il substrato roccioso; 5) il sondaggio meccanico realizzato nel 2013 in corrispondenza degli impianti sportivi è stato spinto fino a 35 m di profondità dal p.c. e ha intercettato il substrato roccioso a 30,5 m: la stratigrafia è rappresentata da blocchi e trovanti lapidei (soprattutto tra 11 e 26 m di profondità) in matrice limoso-argillosa con sabbia e breccia. Il substrato roccioso, attraversato per meno di 5 m, presenta fratture piuttosto alterate e mostra una fratturazione più o meno marcata: l'indice RQD varia tra meno di 25% a 100%.

Per quanto attiene la nuova campagna geognostica il sondaggio I1, ubicato presso i campi sportivi, eseguito a distruzione di nucleo fino a 30 m dal p.c., ha intercettato il basamento roccioso alla profondità di 30.95 m dal p.c., molto fratturato e degradato fino alla quota di 33.25 m e da fratturato a poco fratturato alle profondità maggiori. Il secondo sondaggio, a carotaggio continuo, ubicato presso il cimitero mostra una stratigrafia rappresentata da sabbia debolmente limosa con ghiaia con potenza di 21 m, sovrapposta al basamento roccioso di natura calcarea marnosa, molto fratturato nel suo livello superiore per circa 1 m, e da fratturato a poco fratturato nell'orizzonte inferiore.

L'indice RQD nel primo sondaggio varia tra meno di 20% e 90%, mentre nel secondo tra varia tra 0% e 55%.

E' pertanto possibile distinguere due materiali aventi caratteristiche di resistenza e deformabilità molto differenti: 1) la copertura detritica di frana e 2) il substrato roccioso appartenente alla formazione del Flysch del Monte Antola.

La coltre detritica, tipicamente di natura limo-argillosa-sabbiosa e, come già accennato, di notevole spessore, si presenta eterogenea, con clasti in matrice limo-sabbiosa e, talvolta, trovanti lapidei. Nella parte più superficiale, per spessori non significativi, è presente uno strato di terreno vegetale.

Come è tipico dei rilievi liguri, è presente uno strato di cappellaccio di alterazione di spessore anche significativo (normalmente dell'ordine di 1-2 m), al passaggio tra la coltre ed il substrato calcareo.

Data la natura estremamente eterogenea e variabile da zona a zona, e in assenza di prove sperimentali stante il tipo di materiale, è difficile allo stato attuale definire con precisione valori dei parametri meccanici (resistenza e deformabilità) da attribuire a tale livello. In situazioni analoghe, è ragionevole ipotizzare valori dell'angolo di resistenza al taglio ϕ' variabili nell'intervallo 32°-35°, anche in relazione delle proprietà indice della frazione fine e ai probabili movimenti gravitativi che hanno già coinvolto la coltre detritica.

Per la coesione efficace, nonostante la presenza di una non trascurabile frazione fine, può essere ragionevolmente ipotizzato un valore di c'=0, almeno in condizioni di totale o nulla saturazione. Effetti ascrivibili al contributo resistente, ma apparente, della parziale saturazione della coltre sono, al momento, non considerabili.

Per quanto riguarda gli aspetti riguardanti la circolazione idrica sotterranea, l'infiltrazione e la presenza di falda, si ritiene la coltre permeabile per porosità anche se, data la componente fine presente, la permeabilità della coltre è da ipotizzare medio-bassa.

Il substrato lapideo, appartenente alla formazione del Flysch del Monte Antola, è un ammasso roccioso relativamente eterogeneo, caratterizzato dall'alternanza di rocce resistenti e meno deformabili e materiali argillitico/marnosi più deboli.

Una sintesi dei principali parametri fisico-meccanici, desunti sia da esperienze dirette degli scriventi in contesti analoghi, sia dal rilevamento diretto sugli affioramenti descritti in precedenza, nonché da indicazioni bibliografiche e sperimentali (e.g. Lucchetti, 2013; Lucchetti et al., 2015) è riportata in Tab. 1.

Tabella 1 – 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
Peso specifico (kN/m^3)	25.5	27.5	26.5
Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	25	70	40
Resistenza a trazione (MPa)	3	8	5
Modulo di deformabilità $E_{,t50}$ (GPa)	20	60	40
Angolo di attrito (°)	28	46	35
Coesione (kPa)	50	250	150
	Giunti (in funzione JRC, JCS, mat. riempimento, ecc.)		
	minimo	massimo	medio
Angolo di attrito di base (°)	28	35	29
Angolo di attrito di picco (°)	38	43	39
Angolo di attrito residuo (°)	22	30	27

Al fine di ottenere l'indice di qualità, l'ammasso roccioso può essere classificato valutando l'indice RMR (Bieniawski, 1989) e/o il Geological Strength Index (GSI) nella soluzione proposta da Marinos e Hoek (2000) per ammassi eterogenei come i Flysch: si ritiene che la classe B sia quella più aderente al mezzo lapideo esaminato, cui corrisponde un indice tra 40 e 50 (Fig. 15).

In relazione ad aspetti legati alla circolazione idrica profonda, i calcari marnosi sono caratterizzati da una bassa permeabilità primaria (per porosità) ma da una possibile permeabilità secondaria da media a localmente elevata dovuta alla fratturazione dell'ammasso.

Per quanto attiene ai primi risultati del monitoraggio, si evidenzia quanto segue.

Il tubo inclinometrico I1 sembra presentare una prima deformazione a 30 m di profondità, con uno spostamento in testa per sommatoria di 4 mm (in 3 mesi), la cui entità dovrà essere tuttavia confermata con le successive letture di esercizio.

Il tubo inclinometrico I2 non presenta allo stato attuale deformazioni e gli spostamenti individuati rispetto alla misura di taratura rientrano nel campo dell'errore strumentale.

Il piezometro P1 mostra la presenza permanente di una tavola d'acqua, il cui limite superiore oscilla tra 17 e 21 m di profondità dal p.c., in funzione delle intensità e durata di pioggia (Fig. 17), mentre nel piezometro P2 la tavola d'acqua non presenza oscillazioni significative ed è presente ad una quota di circa 27 m dal p.c. (Fig. 18). Ad una prima analisi si può giustificare il differente comportamento tra le due falde con la stratigrafia associata alla singola verticale piezometrica: il piezometro P1 è infatti installato esclusivamente nella coltre sciolta di frana e pertanto risente delle variazioni pluviometriche con risposte rapide della falda superficiale, libera e in mezzo poroso; il piezometro P2 è inserito sia in copertura di frana (per circa 21 m) sia in ammasso roccioso (9 m), e pertanto potrebbe misurare la pressione neutra di due falde, di cui quella inferiore, in mezzo fratturato, facente riferimento a un bacino di alimentazione più ampio. Le successive misure consentiranno di ottenere informazioni più dettagliate sulle oscillazioni della tavola d'acqua nel tempo.

5. Interventi previsti

I corsi d'acqua interessati dalle opere a progetto sono il rio San Gaetano, nel tratto compreso tra i campi sportivi e la strada comunale (per circa 75 m) e il rio Camposanto, a monte dell'attraversamento di via Solimano (per circa 52 m).

Gli interventi previsti a progetto sono tutti di natura idraulica e possono essere suddivisi in tre categorie:

- **opere puntuali:** sono interventi concentrati su alcuni punti singoli ove sono presenti manufatti di attraversamento e interferenze dei corsi d'acqua con la viabilità; si tratta di adeguare le sezioni di sottopasso di alcuni ponticelli o creare opere di trattenuta di materiale solido e flottante a monte di tratti tombinati.
- **opere longitudinali:** sono interventi più distribuiti lungo le aste, finalizzate alla pulizia delle sezioni di deflusso dal materiale vegetale e dai rifiuti, anche al fine di verificare lo stato

di consistenza delle difese spondali, oggi spesso non visibili; verranno inoltre consolidate le sponde con nuovi muri d'argine nei tratti dove questi sono crollati o fortemente ammalorati.

- **opere trasversali:** in molte situazioni le aste torrentizie presentano forti problemi di erosione al fondo, dovuti alla elevata cinematicità della corrente e alla natura del fondo alveo, non in roccia. Trattasi quindi di rallentare la corrente con realizzazione di opere di regimazione trasversale, quali briglie ravvicinate, realizzate utilizzando il materiale litoide presente in alveo.

Il rio San Gaetano sarà oggetto di sistemazione attraverso la realizzazione di una serie di salti di fondo (briglie in pietrame), in modo da ridurre l'accentuata pendenza media del torrente, e il consolidamento degli argini con muratura in pietrame avente altezza fuori terra dell'ordine di 2.0-2.5 m. Verrà inoltre ricostruito il ponticello sulla via San Gaetano superiore, previo innalzamento delle sponde, per garantire il franco della piena duecentennale e realizzata una vasca di decantazione a monte della strada pedonale di via San Gaetano inferiore.

Nel rio Camposanto la criticità è rappresentata dal forte trasporto solido (rami e sterpaglie) e pertanto è prevista la realizzazione di una vasca di decantazione che funziona da bacino di raccolta del materiale.

Si ritiene che gli interventi previsti a progetto possano contribuire alla mitigazione del rischio idrogeologico attraverso riduzione della pericolosità: il miglioramento delle condizioni di deflusso infatti rappresenta un significativo contributo in termini di condizioni generali di stabilità del versante.

Ulteriori indicazioni potranno essere fornite dopo almeno 1 ciclo annuale di monitoraggio geotecnico e idrogeologico, le cui prime indicazioni sembrano già orientare eventuali opere di mitigazione del rischio a interventi di drenaggio delle acque sotterranee.

La strumentazione di monitoraggio installata, inclusa quella programmata con gli avanzi di economie, potrà essere utilizzata anche a fini di protezione civile attraverso la definizione di soglie critiche cui associare stadi di attenzione, pre-allerta e allarme.

dott. geol. Francesco Olivari



Riferimenti bibliografici

Biagioni F. Federici P.R., Pappalardo M. (2007) - Contributo alla conoscenza dei terrazzi marini della Liguria fra Genova Nervi e Camogli. Bollettino della Società Geologica Italiana, 126, 581-586.

Bieniawski Z.T. (1989) – Engineering Rock Mass Classification. John Wiley, New York, 251 pgs.

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

Cortemiglia G.C. (1982) - Indizi geomorfologici significativi quale contributo alla stesura di una carta neotettonica della Liguria. Contributi conclusivi per la realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, pubbl. n. 513 del Progetto Finalizzato Geodinamica, 397-404.

De Naro F. (1964) – Casistica di zone costiere franose nella riviera ligure orientale. Sottotesi di laurea inedita in Scienze Geologiche, Università di Genova, a.a. 1964/65, 40 pp.

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, pubbl. n. 356 del Progetto Finalizzato Geodinamica, CNR Roma, 1305-1327.

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, 22, 137-149.

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.

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. Geo-Eng2000 Int. Conf. on Geotech. and Geol. Engineering. Melbourne, Technomic publishers, Lancaster, 1422–1446.

Meinzer O.E. (1923) - Outline of Ground Water Hydrology. US Geol. Survey, Water Supply Paper 494, Washington.

Nosengo S., Tedeschi D. (1980) - Linee di costa e terrazzi marini dei fogli 83-94 Rapallo-Chiavari. Contributi conclusivi per la realizzazione della carta neotettonica d'Italia, pubbl. n. 506 del Progetto Finalizzato Geodinamica

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.

Sebastiani C. (1996) - Relazione geologica a supporto del progetto di ampliamento del cimitero comunale di Pieve Ligure. Rapporto tecnico preparato per il Comune di Pieve Ligure, 16 pp.

Sebastiani C. (2013) - Relazione geologica consuntiva dei risultati ottenuti dalla campagna geognostica ed elaborazione del modello geologico-stratigrafico della zona compresa tra l'abitato di Pieve Alta e la strada S.S. N° 1 Aurelia. Rapporto tecnico preparato per il Comune di Pieve Ligure, 69 pp.

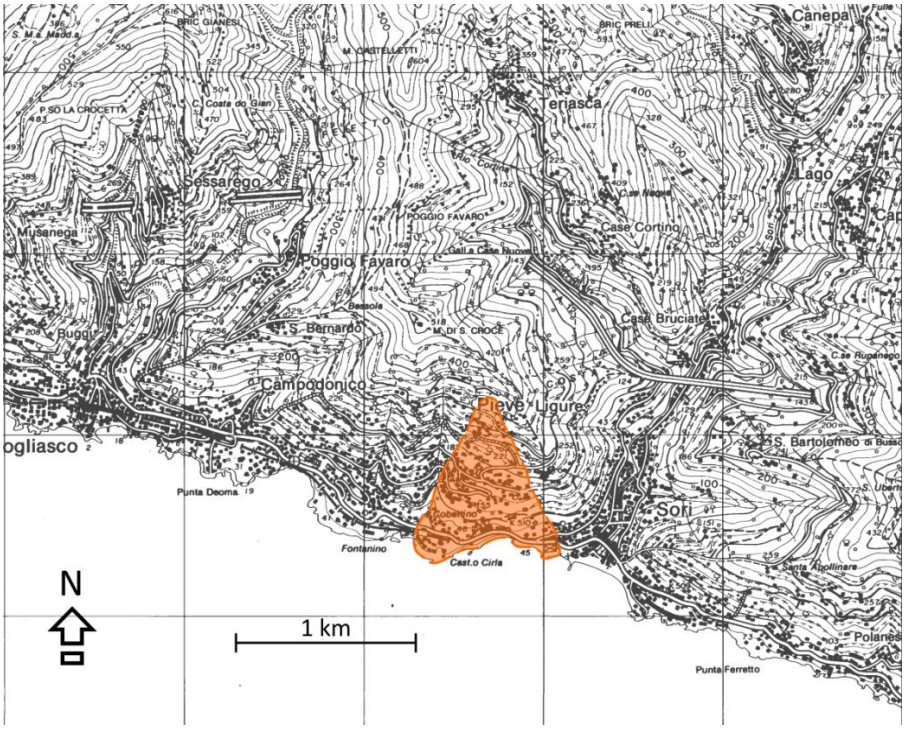
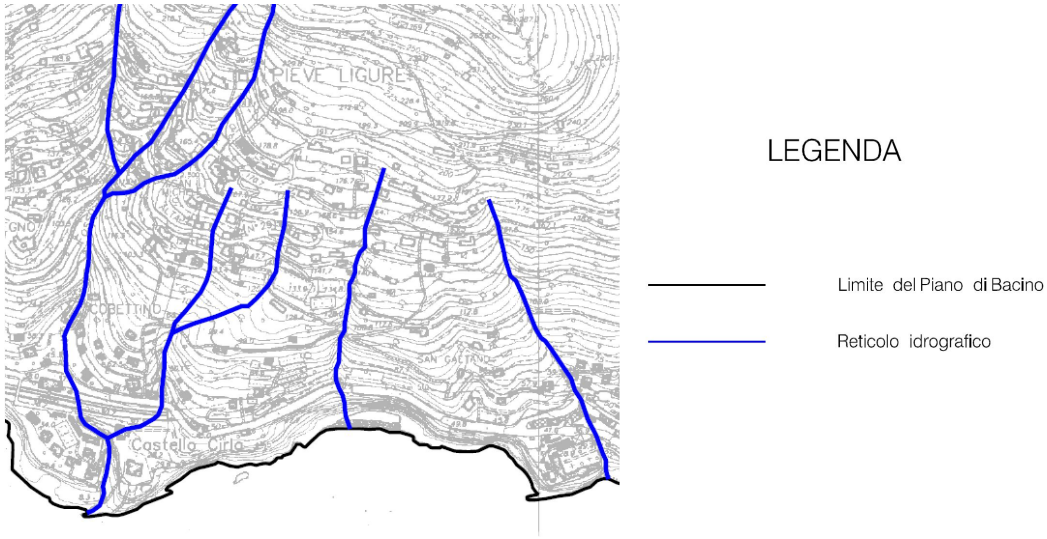


Fig. 1: Inquadramento cartografico dell’area (Carta Regionale scala 1:25.000)



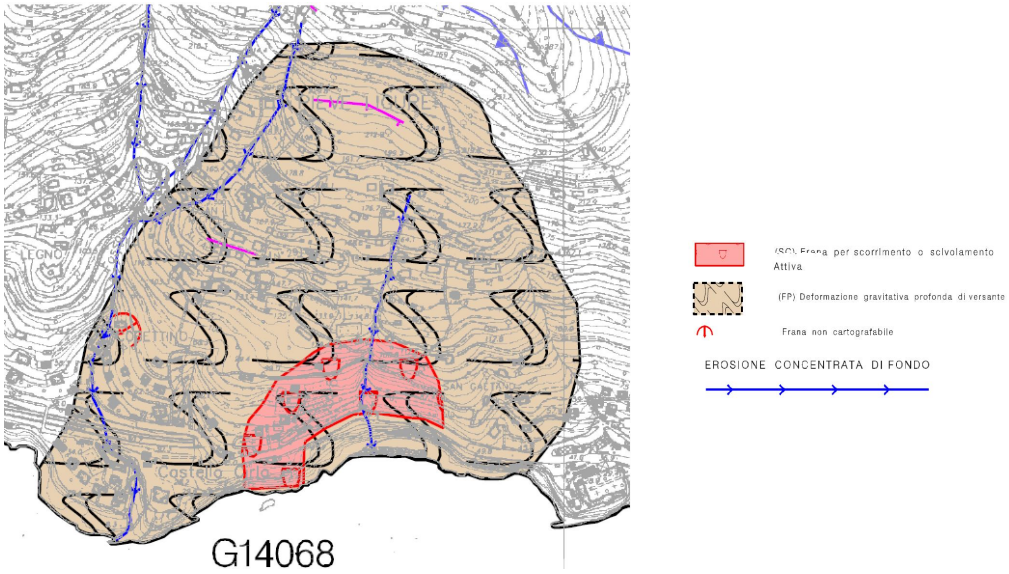


Fig. 2: stralcio Piano di Bacino, a) carta del reticolo idrografico; b) carta della franosità reale.

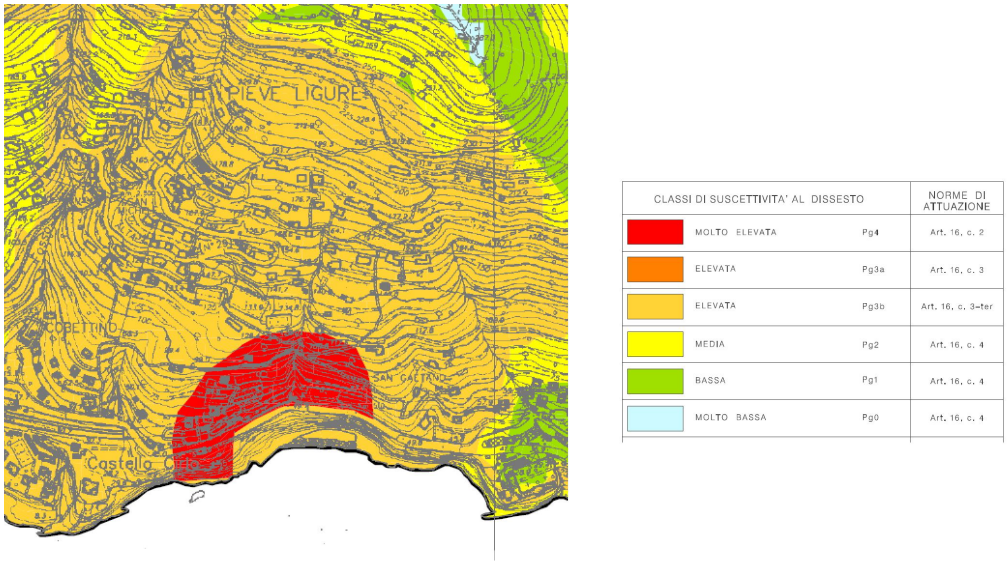
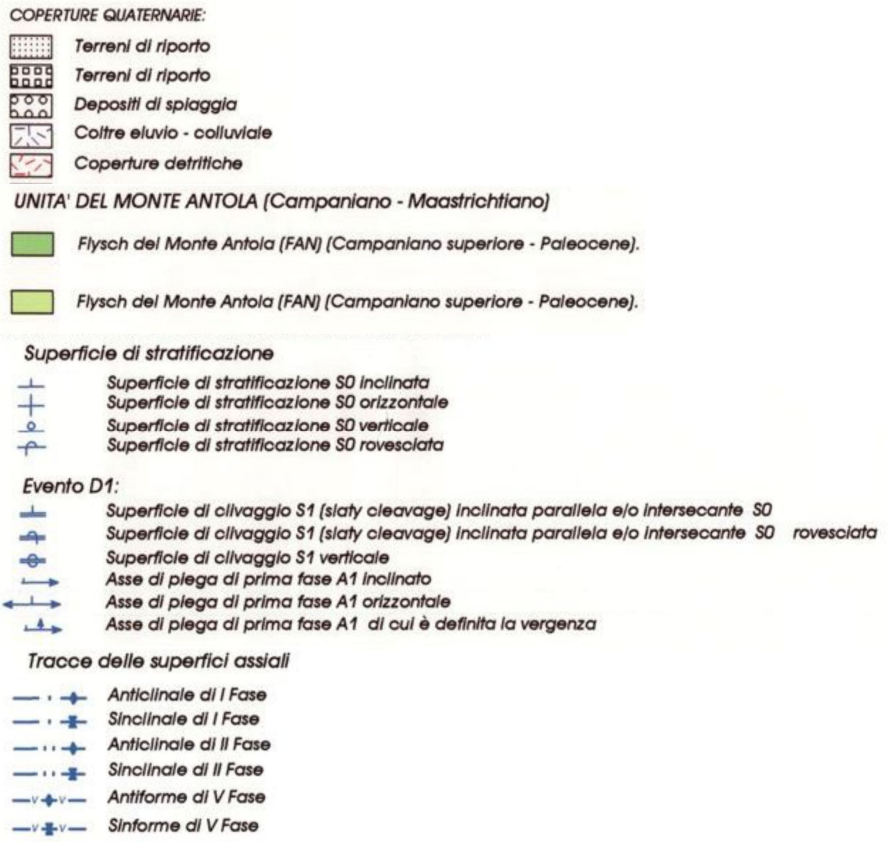

PIEVE LIGURE
COSTA
COSTA
COSTA



Fig. 5: Stralcio della carta geologica CARG regionale Chiavari-Recco.



Legenda di Fig. 5 (Carta geologica, stralcio CARG Chiavari-Recco)

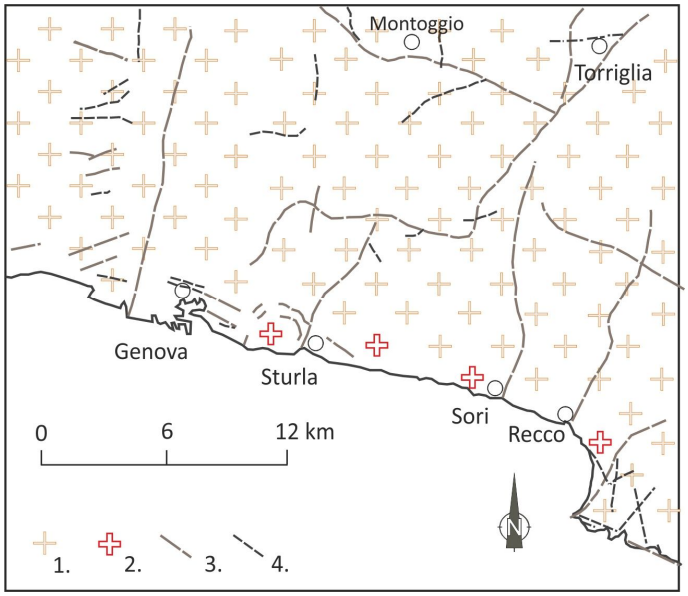


Fig. 6: Schema neotettonico (modificato da Fanucci et al., 1980). Legenda: 1. Zona interessata da sollevamento relativo; 2. Zona interessata da sollevamento assoluto; 3. Faglia; 4. Linea di faglia e di frattura.

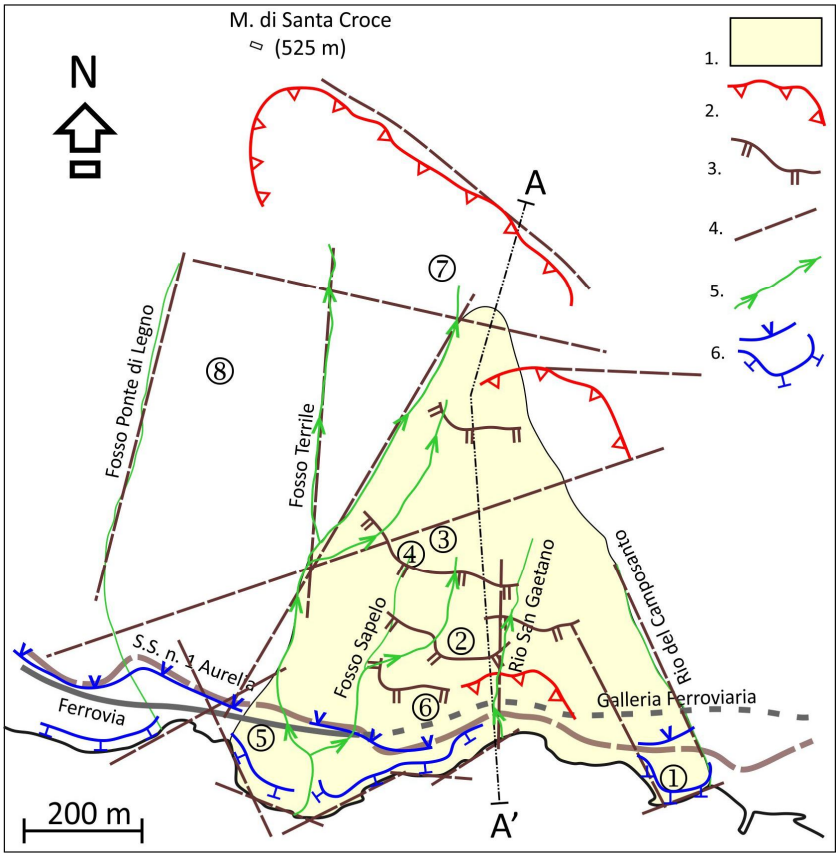


Fig. 7: Schema geomorfologico. Legenda: 1. Area affetta da DGPV; 2. Scarpata di origine gravitativa; 3. Gradino di frana; 4. Lineazione tettonica; 5. Alveo in approfondimento; 6. Margine interno e scarpata esterna di terrazzo marino. A-A' è la traccia di sezione geomorfologica interpretativa. Località: 1) Cimitero di Sori; 2) Impianti sportivi comunali; 3) Cimitero di Pieve alta; 4) Chiesa di Pieve alta; 5) stazione FFSS di Pieve ligure; 6) serre di San Gaetano; 7) Chiappe; 8) Contrada.

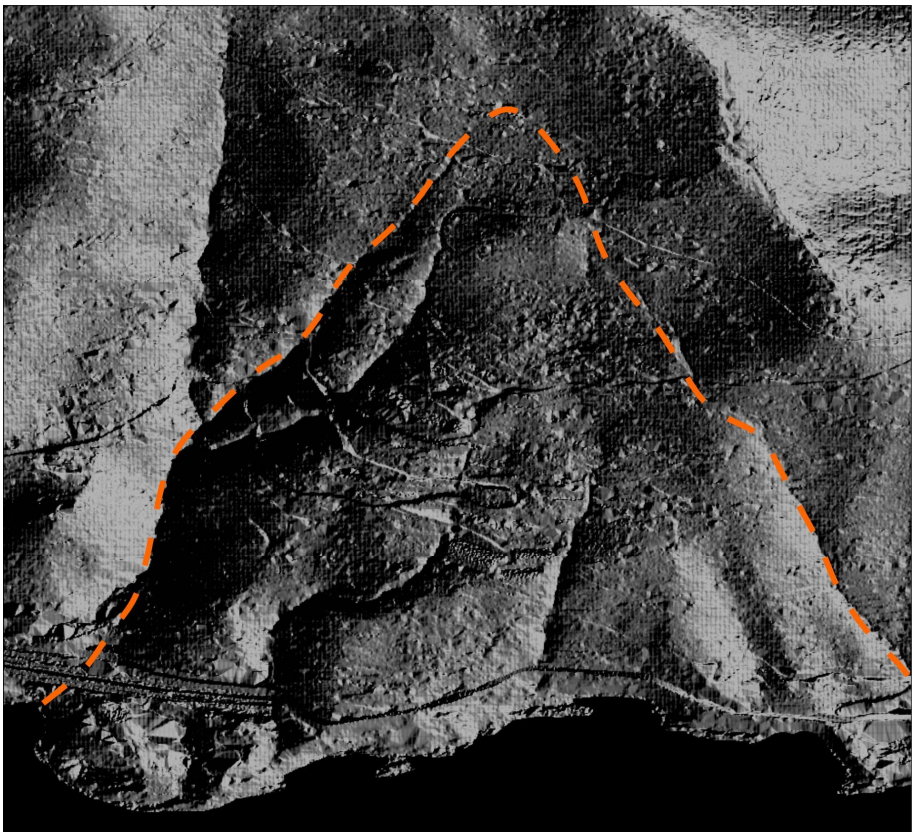


Fig. 8: *shaded relief map* ottenuta da immagine Lidar con risoluzione a 1 m (dati: Portale Cartografico Nazionale, 2008; elaborazione G. Paliaga); la linea tratteggiata sottende l'area interessata dalla DGPV.

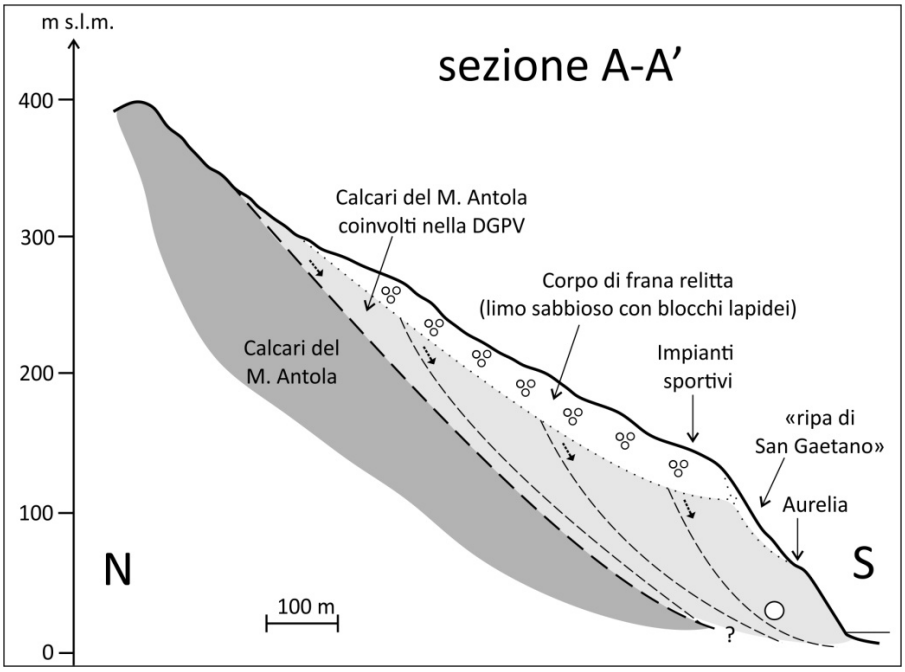


Fig. 9: Sezione geomorfologica interpretativa A-A'.

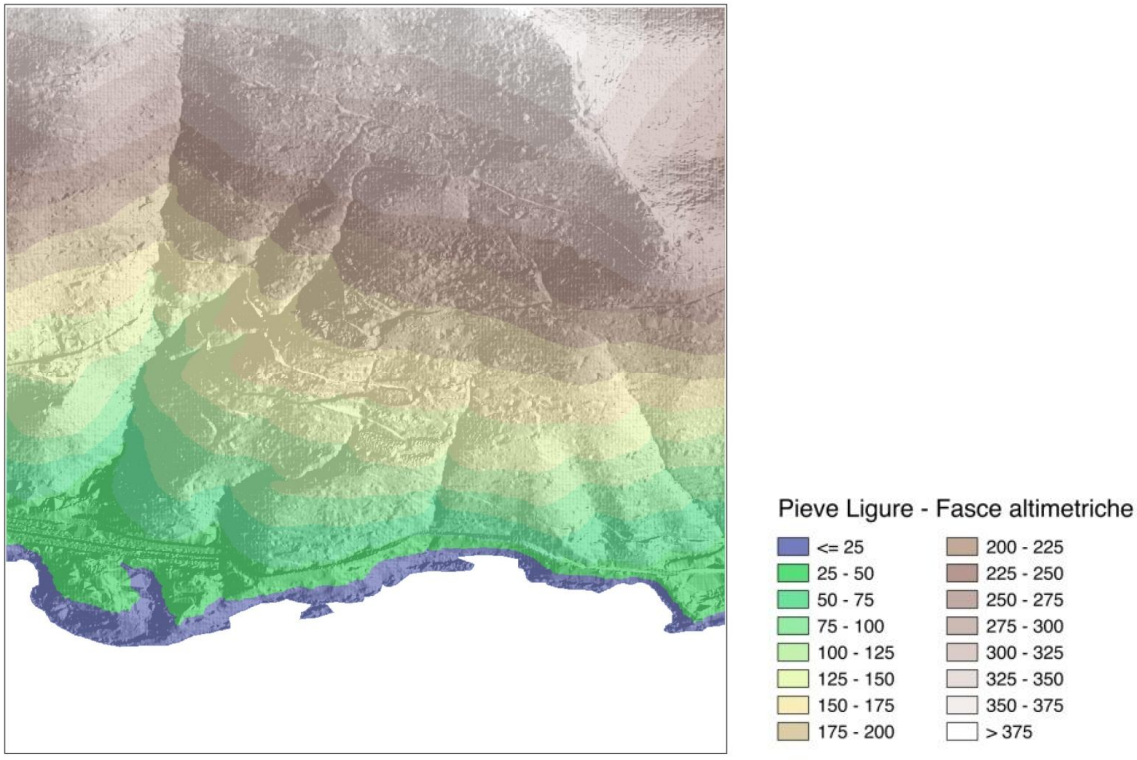


Fig. 10: carta delle fasce altimetriche (elaborazione G. Paliaga)

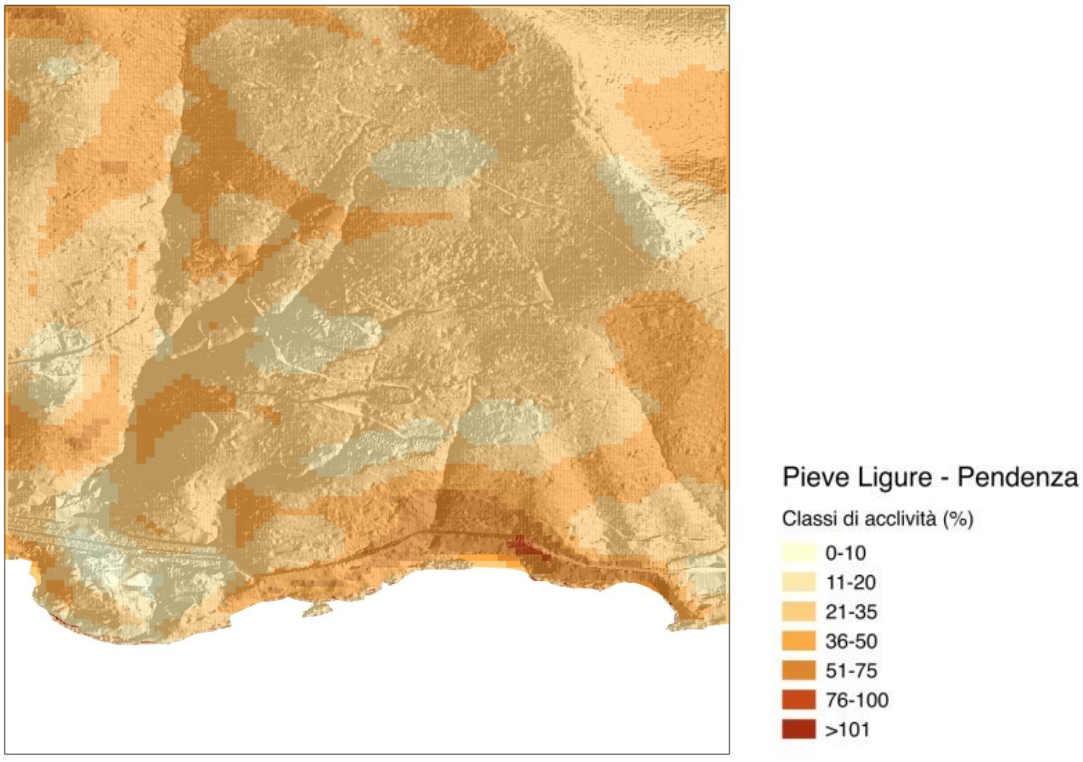


Fig. 11: carta delle classi di acclività (elaborazione G. Paliaga)

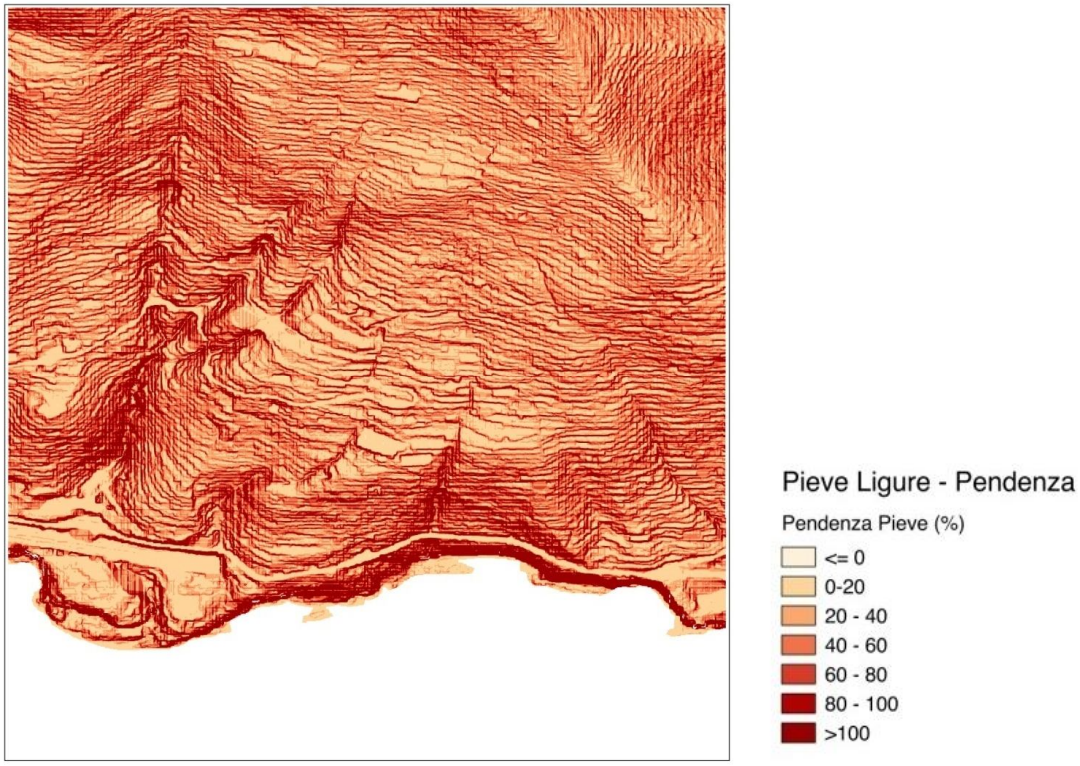


Fig. 12: carta delle pendenze (elaborazione G. Paliaga)

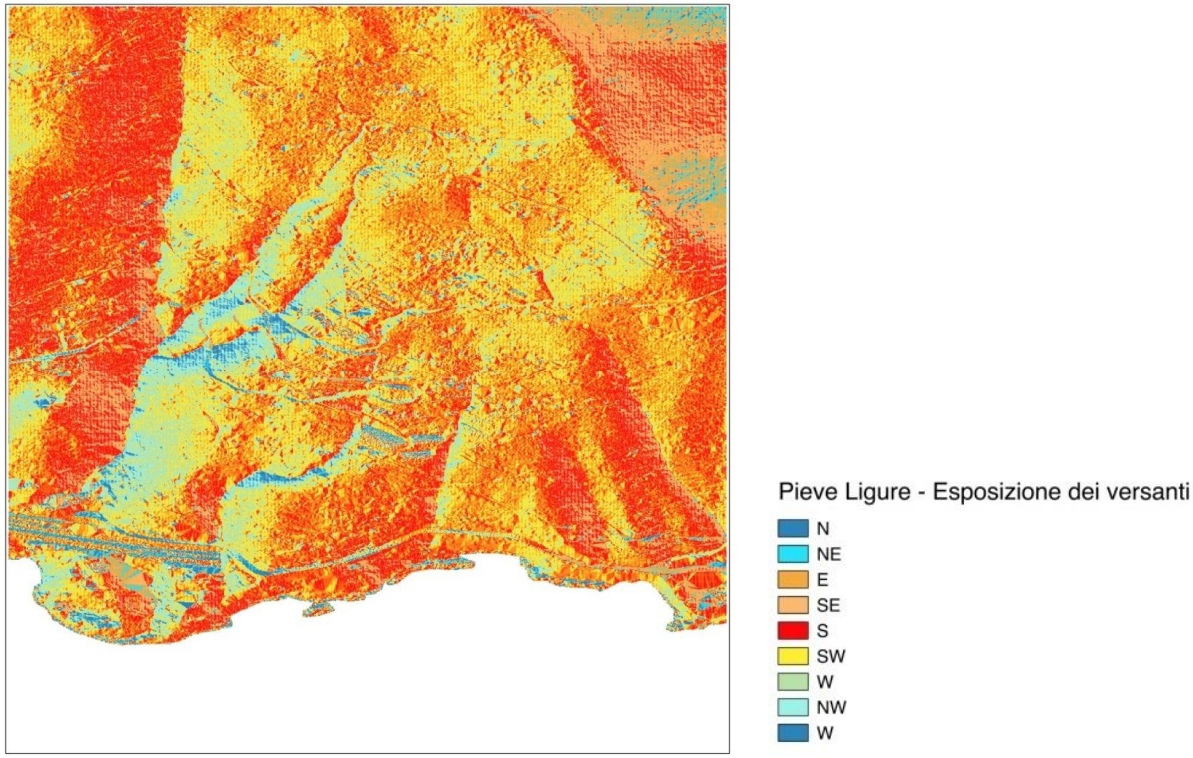


Fig . 13: carta delle esposizione dei versanti (elaborazione G. Paliaga)

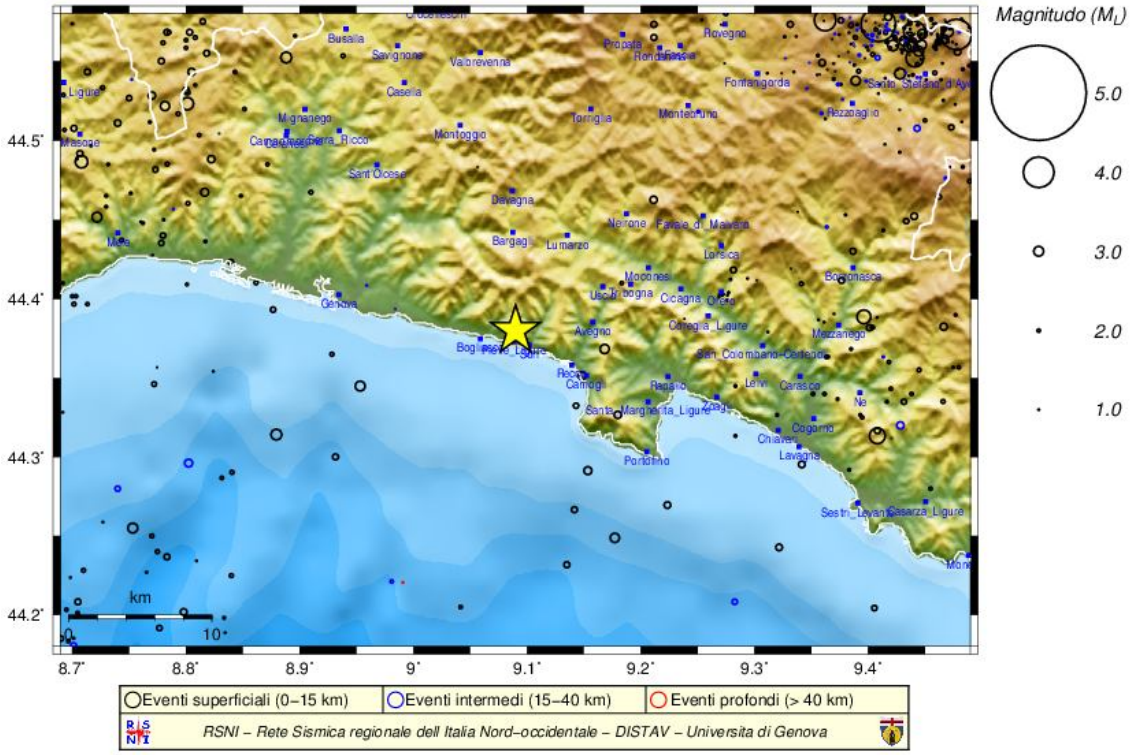


Fig. 14 – carta dei terremoti verificatisi dal 1982 a oggi (elaborazione G. Ferretti, DiSTAV)

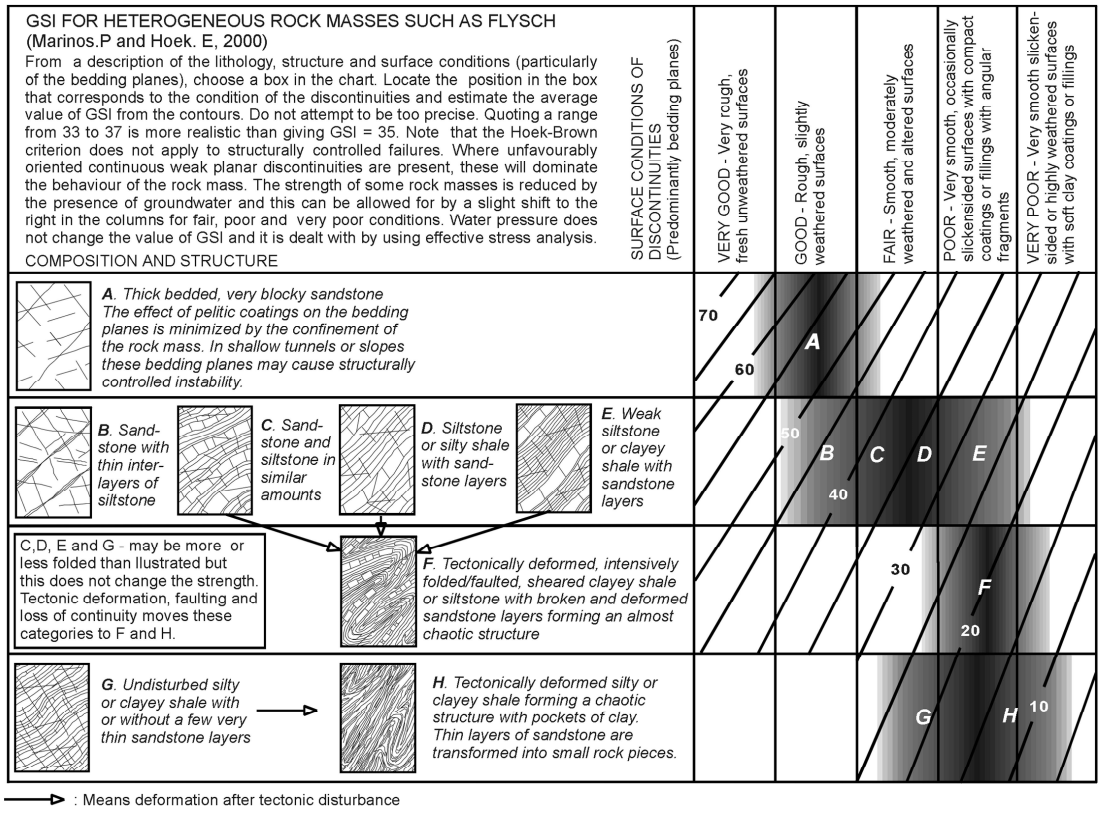
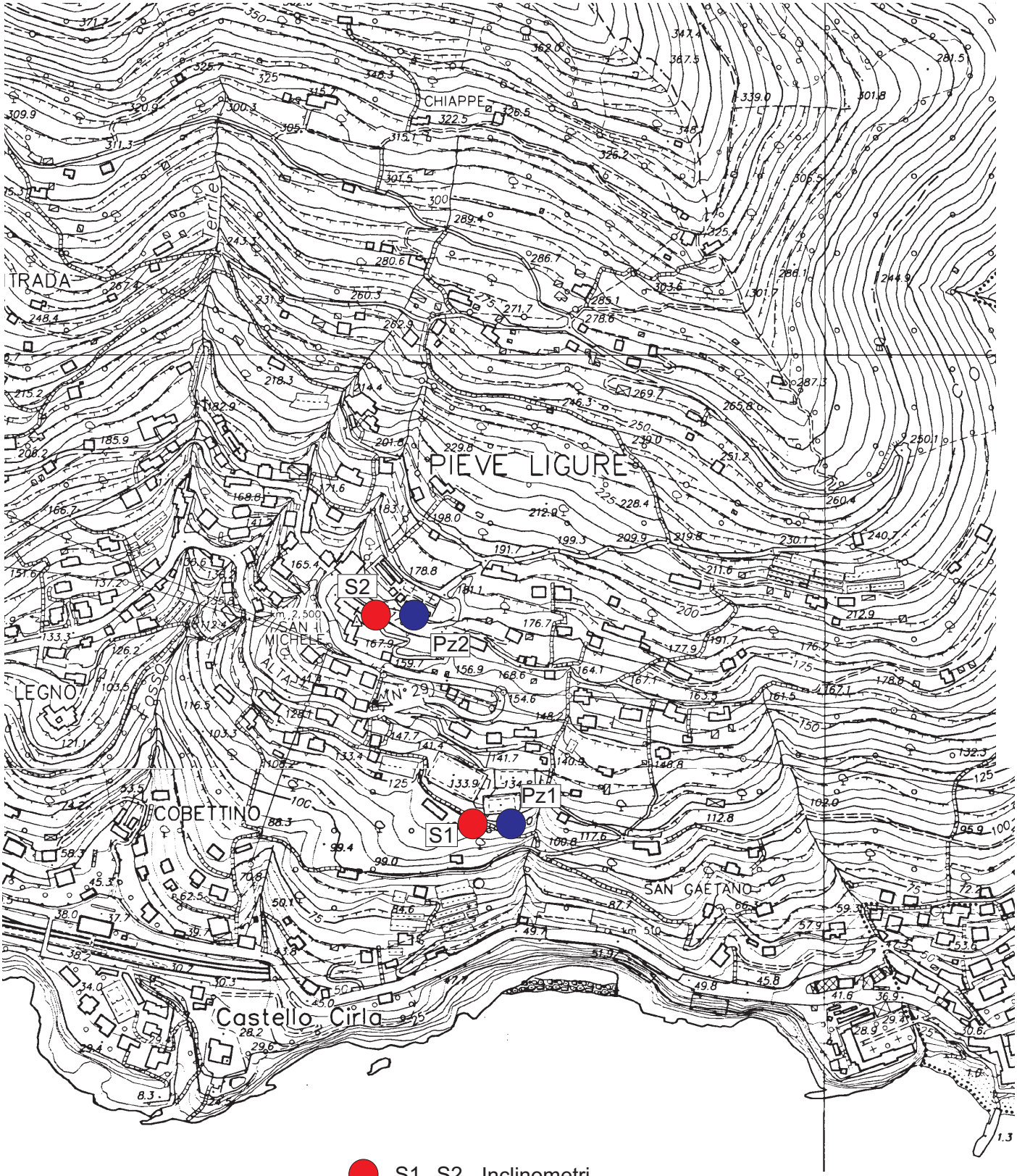


Fig. 15 – Valori indicativi del GSI per ammassi rocciosi eterogenei (da Marinos & Hoek, 2000)

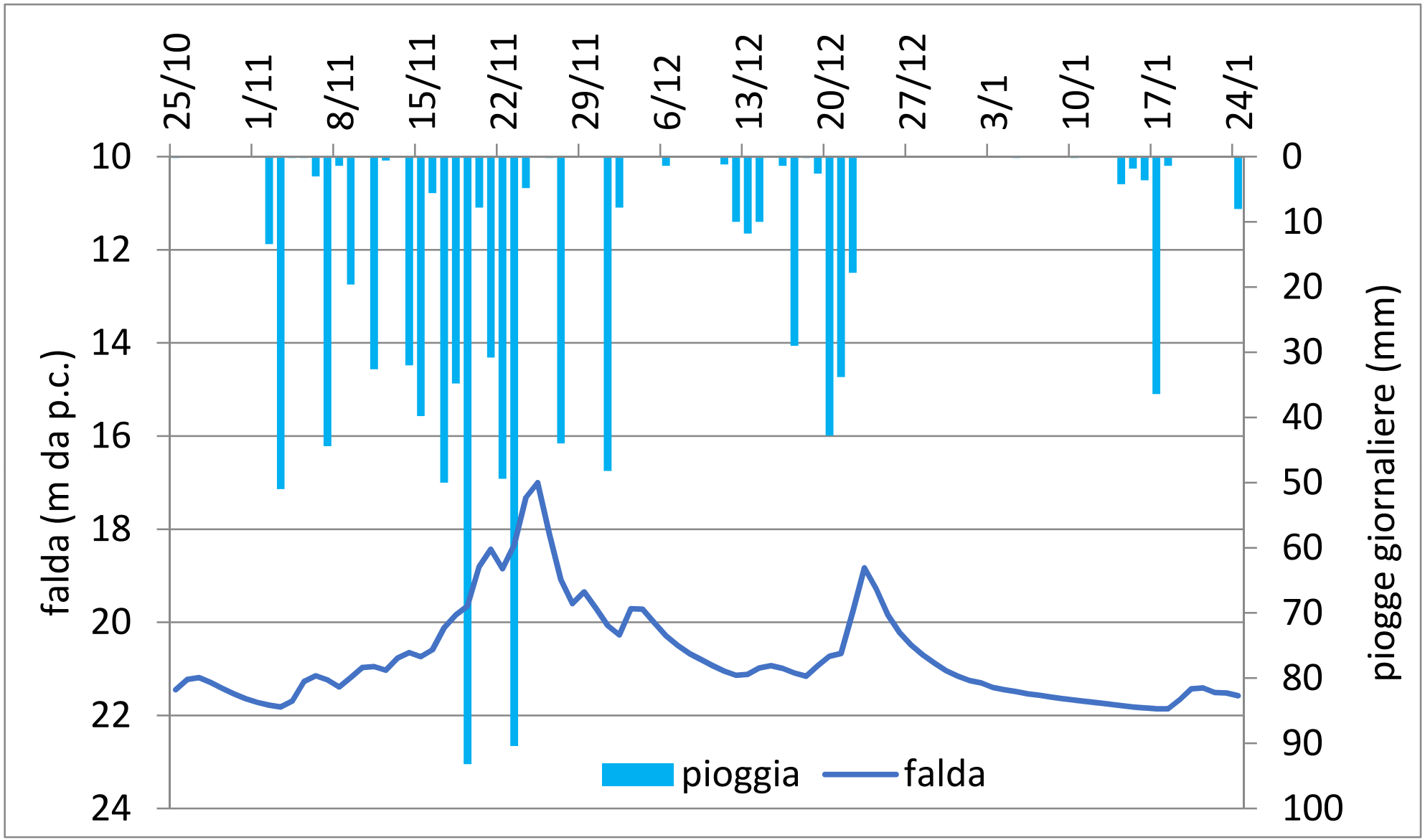


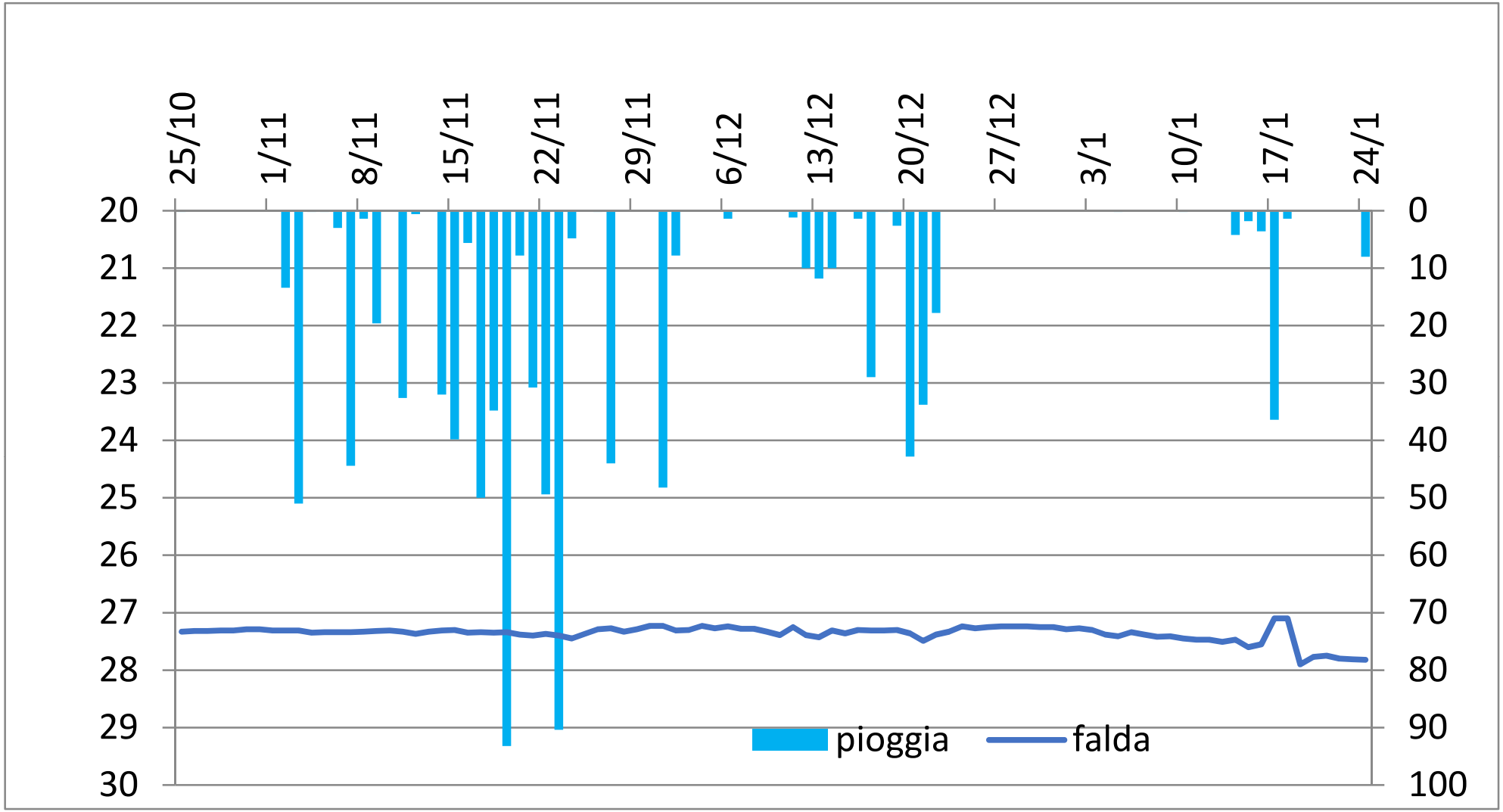
S1 S2 Inclinometri

Pz1 Pz2 Piezometri

CARTA DELLE PROSPEZIONI

COMMITTENTE:
AMMINISTRAZIONE COMUNALE
DI PIEVE LIGURE


25/10
1/11
8/11
15/11
22/11
29/11
6/12
13/12
20/12
27/12
3/1
10/1
17/1
24/1
falda (m da p.c.)
10
12
14
16
18
20
22
24
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
piogge giornaliere (mm)
pioggia
falda


25/10
1/11
8/11
15/11
22/11
29/11
6/12
13/12
20/12
27/12
3/1
10/1
17/1
24/1
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
pioggia
falda