

COMMITTENTE:



RETE FERROVIARIA ITALIANA S.p.A.
DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURA TERRITORIALE (DOIT)

PROGETTAZIONE:

PROGETTISTA

ETS S.r.l.

Via Benedetto Croce, 68
00142 Roma
email: info@etsingegneria.it

SOGGETTO TECNICO:

RFI - DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURA TERRITORIALE DI GENOVA
S.O. INGEGNERIA

PROGETTO ESECUTIVO

Aggiornamento della Progettazione Esecutiva della galleria artificiale di Mele
(compreso il relativo tracciato ferroviario, dal PL fino all'imbocco della galleria del Turchino),
comprensiva degli interventi propedeutici alla realizzazione della galleria artificiale, Linea Genova – Ovada – Acqui Terme

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

SCALA :

FOGLIO 1 di 40

PROGETTO/ANNO SOTTOPR. LIVELLO NOME DOC. PROGR.OP. FASE FUNZ. NUMERAZ.

3 5 3 7 2 3 0 0 0 P E T S P N 0 1 0 0 0 2 0 1

Rev.	Descrizione	Progettista	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
0	EMISSIONE	S.Pantaneschi	29/09/2023	M.G.Camuti	29/09/2023	M.Mattioli	29/09/2023		
1	REVISIONE	M.G.Camuti	29/01/2024	R.Giordano	29/01/2024	M.Mattioli	29/01/2024		



LINEA

L	4	4	1

SEDE TECNICA

L	O	0	2	8	2

INDICE

1	Introduzione	1
2	Normative e documentazione di riferimento.....	2
2.1	Normative.....	2
2.2	Bibliografia	2
2.3	Documenti di progetto di riferimento	2
2.4	Sitografia.....	3
3	Inquadramento geologico	4
3.1	Substrato prequaternario.....	4
3.2	Assetto strutturale	8
3.3	Formazioni superficiali quaternarie.....	9
3.4	Assetto litostratigrafico locale	10
4	Assetto idrogeologico.....	13
5	Assetto geomorfologico e dinamica del versante.....	15
5.1	Assetto geomorfologico.....	15
5.2	Dinamica di versante.....	16
6	Quadro del dissesto idrogeologico.....	20
6.1	Perimetrazione dei dissesti.....	20
6.2	Normativa regionale	21
7	Aspetti sismici	25
7.1	Inquadramento sismico	25
7.2	Aspetti normativi.....	28
7.3	Pericolosità sismica di base	29
7.4	Stabilità del sito alla liquefazione.....	33



Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica
Linea ferroviaria Genova – Ovada – Acqui Terme
Progettazione della Galleria artificiale (compreso il relativo
tracciato ferroviario) ed opere propedeutiche

1 Introduzione

La seguente relazione rientra nell'ambito della Progettazione Esecutiva con oggetto "Aggiornamento della Progettazione esecutiva della galleria artificiale di Mele (compreso il relativo tracciato ferroviario, dal PL fino all'imbocco della galleria del Turchino), comprensiva degli interventi propedeutici alla realizzazione della galleria artificiale - Linea Genova – Ovada – Acqui Terme" con Contratto Applicativo N. 5028000758-23-10-180 e Accordo Quadro n. 1388/2022 - FIRENZE - Lotto n. 5.

Nello specifico tale relazione è inerente alle problematiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche che interessano l'area in cui verranno realizzate le opere in progetto e di un suo intorno significativo.

L'area di intervento è ubicata nel Comune di Mele, provincia della città metropolitana di Genova in Liguria. Nel punto mediano del sito, le coordinate geografiche (sistema di riferimento WGS 84) sono le seguenti: *Latitudine* 44°28'25.00"N e *8°43'59.93"E*. Di seguito uno stralcio della cartografia Google Earth con indicata il sito oggetto di intervento.



Figura 1 – Ubicazione del sito di intervento.

2 Normative e documentazione di riferimento

2.1 Normative

- Decreto Ministeriale dei Lavori Pubblici n. 47 del 11/03/1988_Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" pubblicate sulla G.U. n. 8 del 20/02/2018
- Circolare esplicativa CSLLPP del 21/01/2019_Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018

2.2 Bibliografia

- ALLASINAZ A., GELATI R., GNACCOLINI M., MARTINIS B., OROMBELLI G., PASQUARÈ G. & ROSSI P. M. (1971) – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. Foglio n. 82 "Genova" – Roma, Nuova Tecnica Grafica
- AA. VV. (1971) – Foglio n. 82 "Genova" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 – Servizio Geologico d'Italia
- AA.VV., coord. Vanossi M. (1994) – Guide geologiche regionali. Alpi Liguri. – Società Geologica Italiana 293 pp
- CAPPONI G., GOSSO G., SCAMBELLURI M., SILETTO G. B., TALLONE S. (1994) - Carta geologico-strutturale del settore centro-meridionale del Gruppo di Voltri (Alpi Liguri) e note illustrative. - Bollettino Società Geologica Italiana, 113, 2, 383 - 394
- CASALE L., GIUFFRÈ A., TRAVERSO M., LOMBARDI M. (2002) - Provincia di Genova. Ambiti regionali di bacino 12 e 13. Piani di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico. Caratteristiche idrauliche e geologiche del territorio. Valutazione del rischio idraulico e geomorfologico
- CHIESA S., CORTESOGNO L., FORCELLA F., GALLI M., MESSIGA B., PASQUARÈ G. & PEDEMONTE G. M. (1975) – Assetto strutturale e interpretazione del Gruppo di Voltri. – Boll. Soc. Geol. It., 94, 555-581
- PROVINCIA DI GENOVA (2013) – Piano di Bacino. Ambiti 12 e 13. Piani stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico di cui all'art. 1 del D.L. 11/06/1998 n. 180 convertito in Legge 03/08/1998 n. 267 e s.m.i..
- REGIONE LIGURIA & AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE (2023) - Piani di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico (ai sensi dell'art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998). Ambiti regionali di bacino 12 e 13
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1971) – Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio n. 82 Genova. II Edizione, Roma
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2007) – Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio n. 213 Genova. Progetto CARG, Firenze

2.3 Documenti di progetto di riferimento

- Progetto esecutivo 2003 "Lavori urgenti, atti a mettere in sicurezza zone del muro di controripa al km 22+530 della linea Genova-Ovada in Stazione di Mele, danneggiato da cause di forza

maggiore nonché interventi vari di stimazione del versante sovrastante il muro resto” – Rete Ferroviaria Italiana

2.4 Sitografia

- <http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/ambiti12e13/ambiti12e13.html>
- <http://srvcarto.regione.liguria.it/geoviewer2/pages/apps/geoportale/index.html>
- https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/213_GENOVA/Foglio.html
- <http://www.pcn.minambiente.it>

3 Inquadramento geologico

3.1 Substrato prequaternario

Per il settore oggetto di studio la cartografia storica di riferimento è rappresentata dal Foglio n. 82 “Genova” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000, dalla quale si evince che il substrato roccioso pre-quaternario è rappresentato da rocce metamorfiche, di età mesozoica, riferibili al Complesso Ofiolitico del Gruppo di Voltri.

Il Gruppo di Voltri è un sistema composito di falde metamorfiche, situato in posizione interna rispetto all’arco alpino occidentale. In esso prevalgono litologie provenienti da diversi ambienti litosferici: mantello continentale, ofioliti mesozoiche e coperture sedimentarie. Le relazioni originarie tra le diverse litologie sono generalmente cancellate e trasposte a causa dell’intensa tettonica alpina.

Nell’area in esame le litologie prevalenti sono riferibili a frammenti di crosta oceanica (Unità Ofiolitiche: Unità M.te Beigua - Carta Geologica d’Italia, Foglio n° 82) ed a metasedimenti di fossa (Unità dei Calcescisti del Turchino - Carta Geologica d’Italia, Foglio n° 82).

Il Gruppo di Voltri comprende numerose unità tettoniche che, in prima approssimazione, si possono ricondurre a una originaria serie stratigrafica ascrivibile al Dominio Piemontese - Ligure che, procedendo dal basso verso l’alto, comprende: serpentinoscisti con lenti di eclogiti (meta-Fe-gabbri) e di gabbri eclogitici (Mg-gabbri), oficalciti (brecce di serpentiniti a cemento carbonatico), una successione di basalti prasinitizzati (metabasiti), quarzoscisti manganesiferi, marmi e calcescisti.

Calcescisti del Turchino

Sotto tale denominazione sono compresi le principali associazioni litologiche:

- Calcescisti a muscovite e paragonite; calcemicascisti a muscovite, paragonite ± fengite e clorite; argilloscisti seritici; filladi calcarifere a clorite e sericite ± grafite; micascisti e quarzomicascisti a clorite ± sericite, marmi micacei; calcescisti, calcemicascisti e micascisti albitici. Il contatto tra calcescisti l.s. e rocce basiche e/o ultrabasiche è talora sottolineato da livelli a epidoto, clorite e anfiboli;
- Quarzoscisti;
- Prasiniti, prasiniti ovarditiche ed epidotiche, prasiniti ad attinoto ± glaucofane, prasiniti a fuchsite, prasiniti granatifere e a biotite (Membro delle prasiniti di Campo Ligure).

Ofioliti di Monte Beigua

Nell’area di studio sono rappresentate essenzialmente da rocce ultrabasiche e basiche:

- Serpentiniti da massive a foliate, serpentiniti anfiboliche, serpentinoscisti, talcoscisti e scisti amiantiferi, filoni rodingitici e oficalciti;
- Scisti actinolitici e scisti cloritici-actinolitici, talora a epidoto, costituenti prodotti di laminazione tettonica localizzati entro i calcescisti e soprattutto in corrispondenza ai contatti tra questi ultimi e le masse ofiolitiche;
- Mg-gabbri a tessitura da occhiadina a listata, talora con relitti eclogitici.

Inoltre, a Est di Bric Aresci, vi sono importanti masse di quarziti massicce e/o listate riferibili dal punto di vista litostratigrafico al Dominio Pre-piemontese e/o Piemontese s.s. sensu Vanossi et alii – 1984 (in Capponi et alii, 1994).

Più recentemente è stato pubblicato il Foglio n. 213 Genova della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia, 2007) nel quale sono state modificate le denominazioni delle varie Formazioni indicate nella cartografia e nella Letteratura precedente.

È infine disponibile la Carta geolitologica del Piano di bacino (Regione Liguria & Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, 2023).

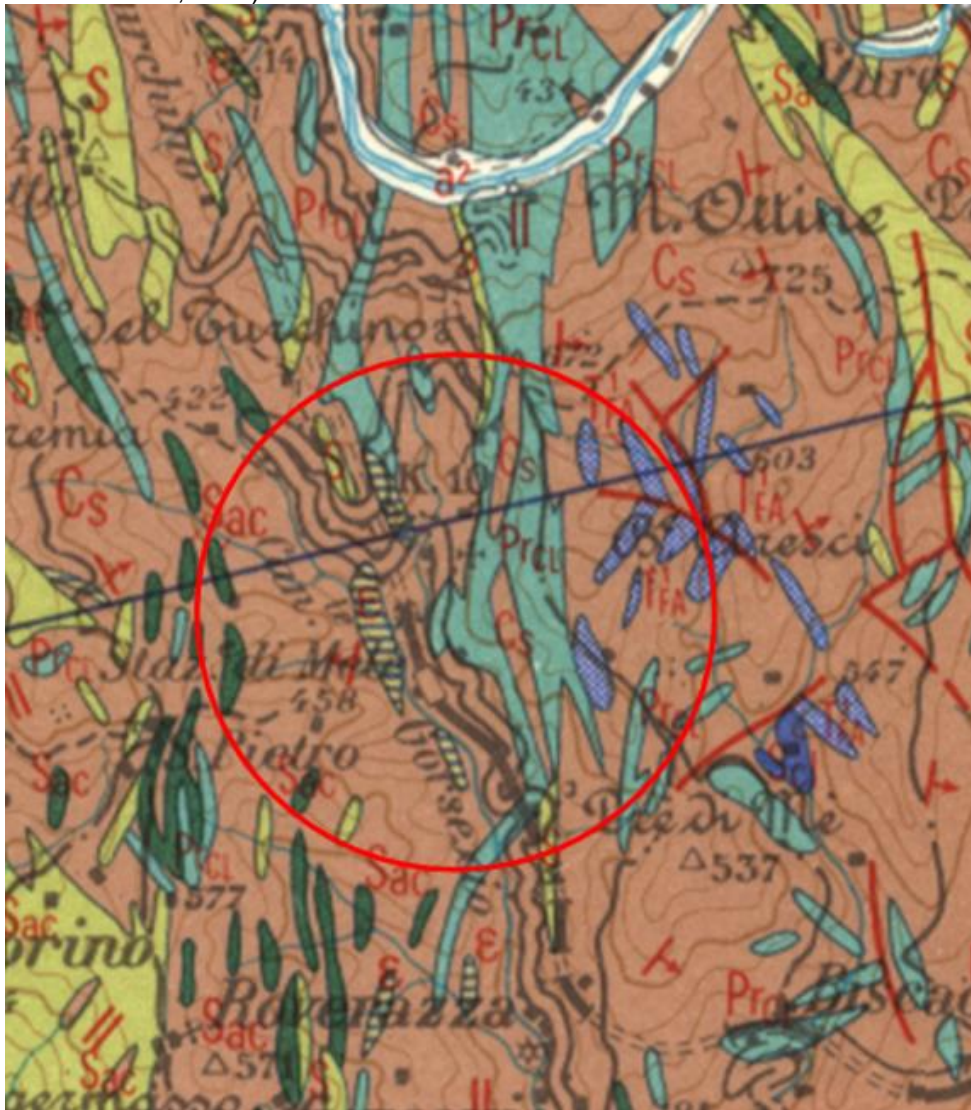


Figura 2 – Stralcio dal Foglio n. 82 “Genova” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Legenda: Cs) Calcescisti del Turchino; Pr_{CL}) Membro delle Prasinita di Campo Ligure; S) Ofioliti di M. Beigua (Membro delle serpentine di Capanne Marcarolo); S_{ac}) Scisti actinolitici e cloritico-actinolitici; ε) Metagabbri; T¹_{FA}) Quarziti di Fosso Angassino.

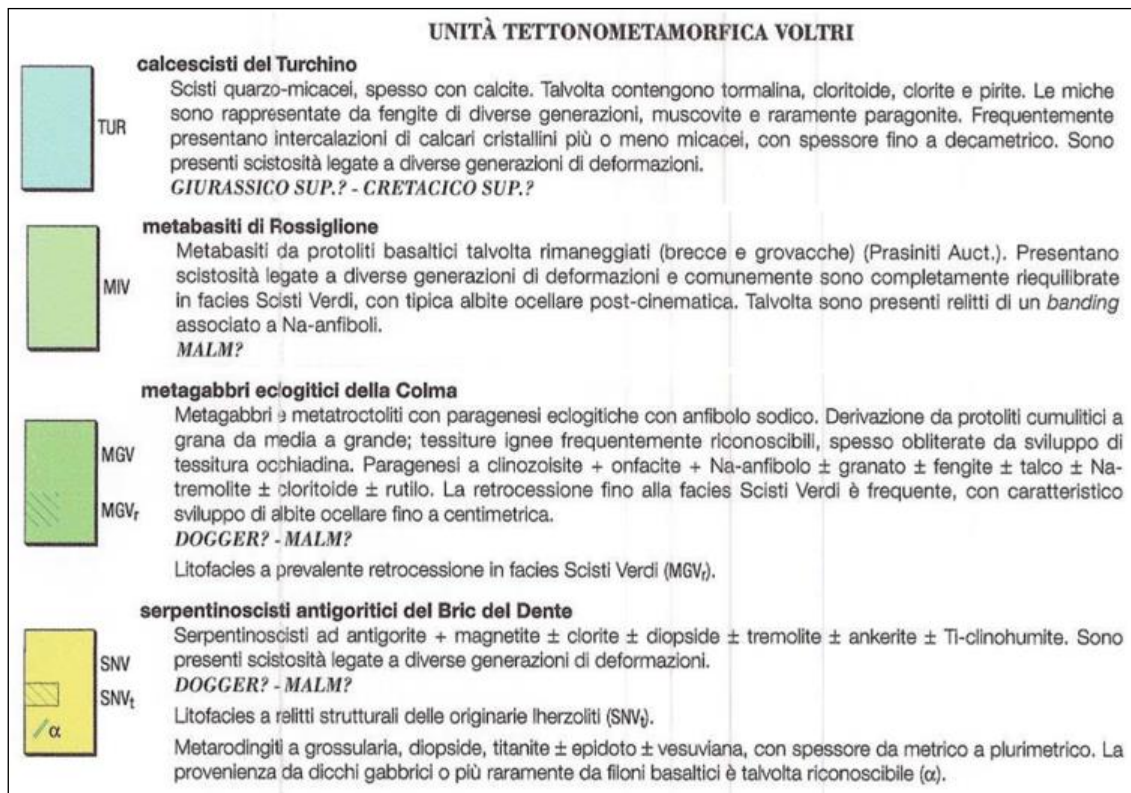
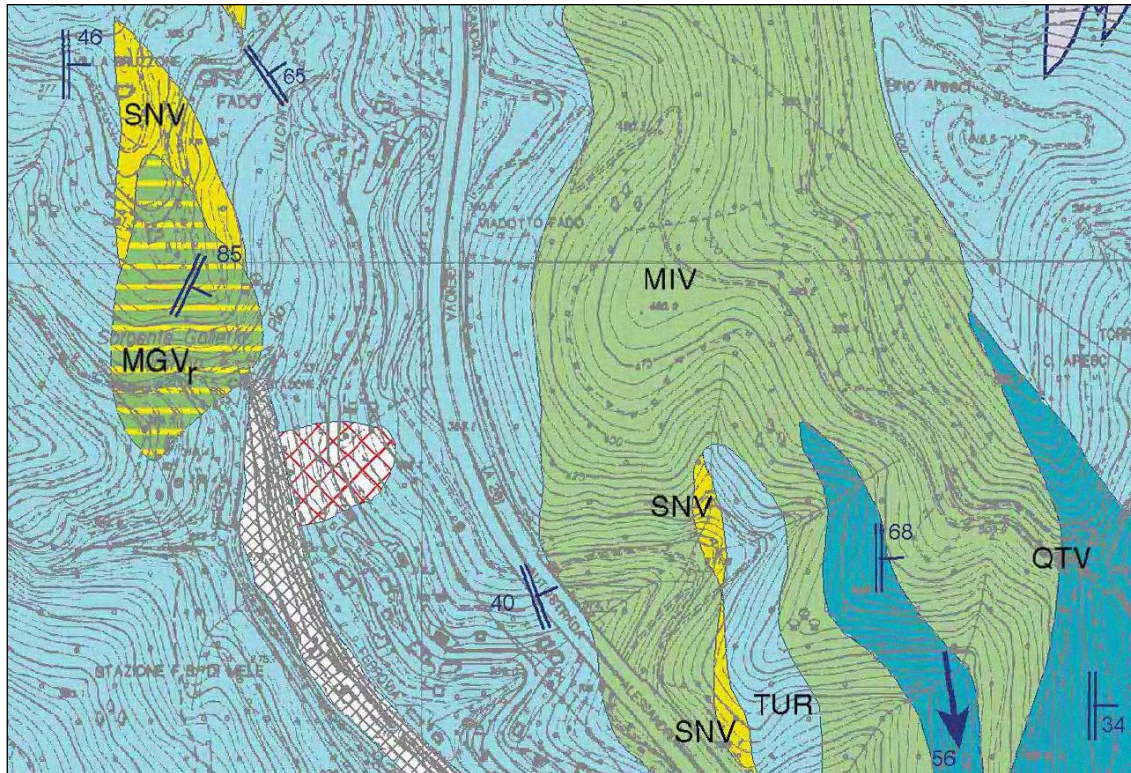


Figura 3 – Stralci dal Foglio n. 213 “Genova” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000.

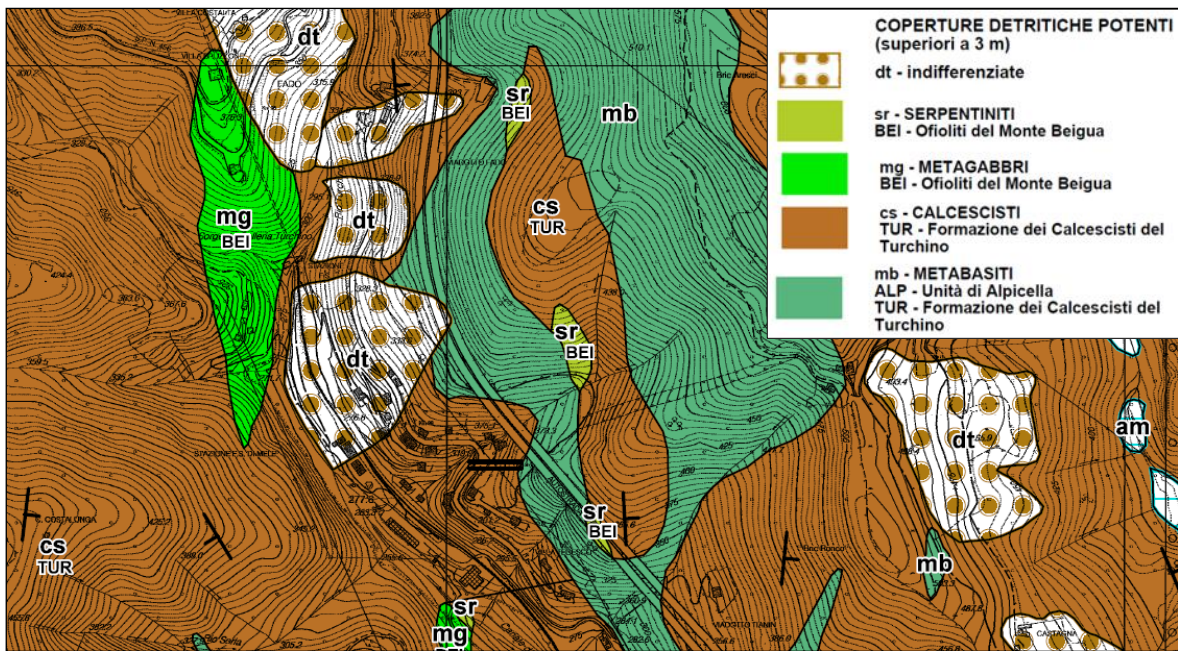


Figura 4 – Stralci dalla Tavola 213090 Carta geolitologica del Piano di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico - Ambiti 12 e 13 (Regione Liguria & Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, 2023).

STADI METAMORFICI
(definiti per rocce a chimismo basico)

	Eclogitico	Glaucofanico	Anfibolitico ad albite	Scisti Verdi
Micascisti	ph1+pg+grt+rt+Fe-Tiox	cld+ph2+ab+ttn		ms+bt+chl+ab+ttn+ox
Calcescisti	ph1+ pg+grt+zo+chl+ox	cld+ph2+ab+ttn		ms+bt+chl+ab+ttn+ox
Quarziti e Quarzoscisti	ph1+pg+Mn-ep+Mn-grt+ox±rt	cld+ph2+ab±ttn		ms+bt+chl+ab+ox±ttn
Metabasiti indifferenz.	come basalti e Fe-gabbri			
Basalti	Na-cpx+grt1+rt±Fe-Tiox±Na-anf	Na-anf±grt2±ep±ttn	bar+ab+ep+ttn±chl	act+ab+ep+chl+ttn+Fe-ox
Fe-gabbri	Na-cpx+grt1+rt±Fe-ox±Na-anf	Na-anf±grt2±ep±ttn	bar+ab+ep+ttn±chl	act+ab+ep+chl+ttn+Fe-ox
Mg-gabbri	Na-cpx+grt+zo+tc±Na-anf±pg	Na-anf	bar+ab+ep	tr+ab+ep+chl
Ultramafiti	ol+atg+di+Ti-chu±chl		atg+brc+chl±tr±ctl	

Abbreviazioni dei minerali tratte da KRETZ (1983). ab = albite; act = attinolite; anf = anfibolo; atg = antigorite; bar = barrosite; brc = brucite; bt = biotite; chl = clorite; cld = cloritoide; cpx = clinopirosseno; ctl = crisotilo; di = diopside; ep = epidoto; grt = granato; ms = muscovite; ol = olivina; ox = ossidi; pg = paragonite; ph = fengite; rt = rutilo; tc = talco; Ti-chu = titanclinohumite; ttn = titanite; tr = tremolite; zo = zoisite.

Figura 5 – Paragenesi metamorfiche nei litotipi del Gruppo di Voltri, figura tratta da Capponi et alii (1994).

3.2 Assetto strutturale

Le differenti Unità del Gruppo di Voltri possono essere raggruppate in due insiemi principali: quello delle Unità costituite prevalentemente da rocce gabbriche e serpentinitiche (che talora conservano resti delle originarie coperture sedimentarie) e quello delle Unità a prevalenti calcescisti e prasiniti (AA.VV., 1994).

Nella seguente tabella sono rappresentati i vari termini costituenti il Gruppo di Voltri. Le recenti suddivisioni in unità tettono-stratigrafiche rappresentate nella cartografia più recente (Servizio Geologico d'Italia, 2007; AA.VV., 1994; Chiesa et alii, 1975), vengono confrontate con quelle essenzialmente di tipo stratigrafico contenute nella Carta Geologica d'Italia.

	Foglio n. 213 "Genova" (2007)	Foglio n. 82 "Genova" (1971)	Foglio n. 82 "Genova" (1971)	Chiesa et alii (1975) / AA.VV. (1994)
LITOTIPO	FORMAZIONE	FORMAZIONE	MEMBRO	UNITÀ
Calcescisti I.s.	Calcescisti del Turchino	Calcescisti del Turchino		U. a calcescisti e prasiniti (Voltri - Rossiglione)
Prasiniti I.s.	Metabasiti di Rossiglione	Calcescisti del Turchino	Prasiniti di Campo Ligure	U. a calcescisti e prasiniti (Voltri - Rossiglione)
Serpentiniti	Serpentinoscisti antigoritici del Bric del Dente	Ofoliti di M. Beigua	Serpentine di Capanne Marcarolo	U. gabbro - serpentinitiche (Beigua e Ponzema)
Metagabbri	Metagabbri eclogitici della Colma	Ofoliti di M. Beigua	Serpentine di Capanne Marcarolo	U. gabbro - serpentinitiche (Beigua e Ponzema)

I contatti tra le associazioni di litotipi del Gruppo di Voltri e i rapporti strutturali tra le varie unità che lo costituiscono appaiono molto complessi, in quanto interessati dalle fasi deformative associate al metamorfismo alpino e dalle deformazioni fragili più recenti. I rapporti geometrici intercorrenti tra le Unità del Gruppo di Voltri sono schematizzati nella fig. 5.

I dati della letteratura (Capponi et alii, 1994) e i rilievi di terreno eseguiti indicano che in corrispondenza al versante oggetto di indagine, gli affioramenti del substrato roccioso, ascrivibile all'Unità Voltri – Rossiglione, presentano analogie nell'assetto giaciturale. La giacitura della foliazione è a reggipoggio e mostra un'immersione generalizzata verso Est, con inclinazione generalmente compresa tra 35° e 80°.

I tre principali sistemi di frattura mostrano rispettivamente le seguenti giaciture medie: 30/80, 180/80, 320/45; quest'ultimo è parallelo ad un sistema di faglie orientate NE-SW che interessano le unità tettoniche del Gruppo di Voltri.

Un quarto sistema, con direzione simile a quella del secondo, è inclinato di circa 70° verso Nord ed è responsabile talora di dislocazioni della massa rocciosa, desunte da marker strutturali quali fibre di minerali isorientate e strie.

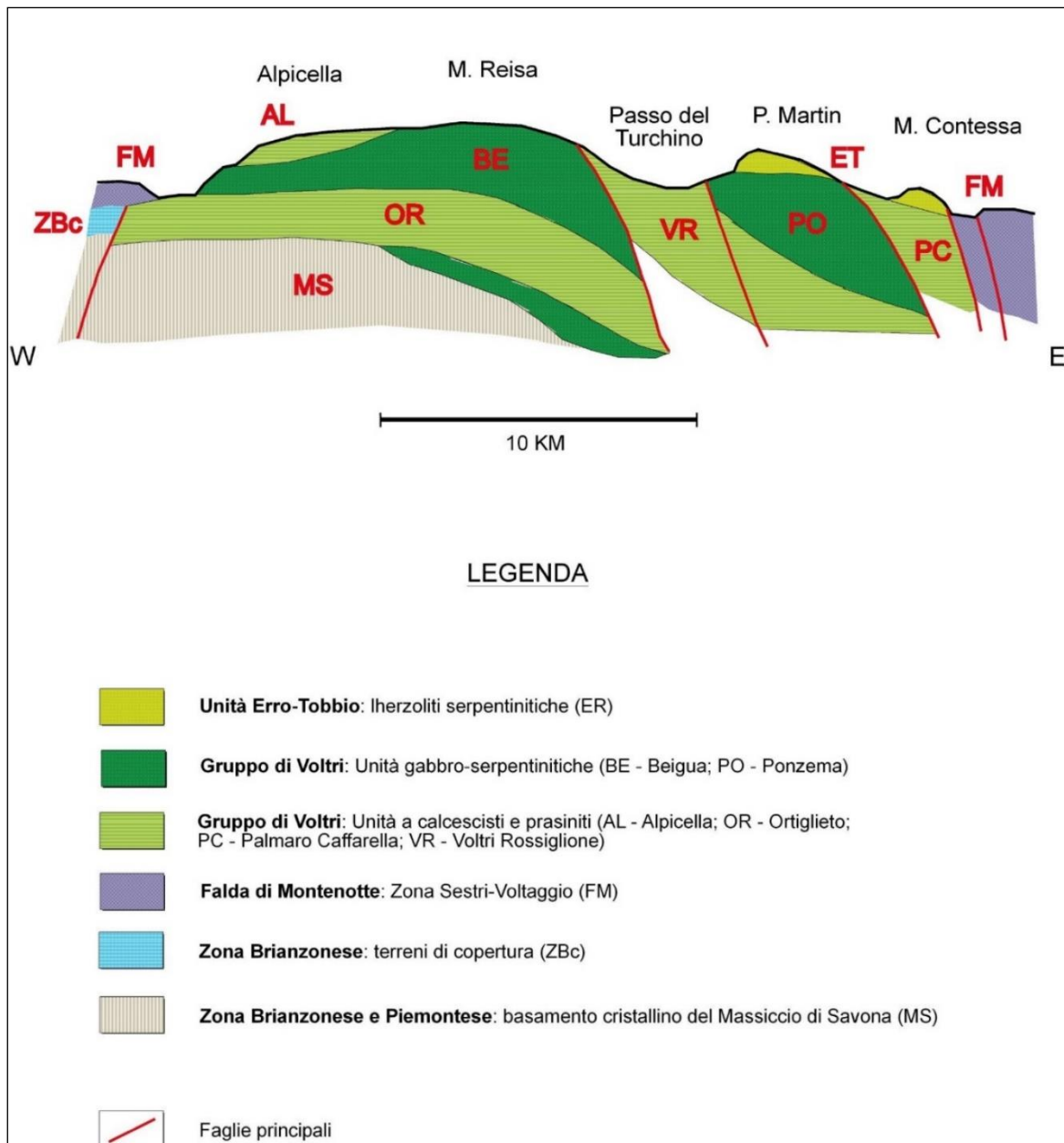


Figura 6 – Sezione schematica nel Gruppo di Voltri, figura ridisegnata e colorata tratta da Chiesa et alii, 1975 in AA.VV. (1994)

3.3 Formazioni superficiali quaternarie

Le formazioni superficiali sono rappresentate essenzialmente da una copertura eluvio-colluviale che presenta spessori estremamente variabili, sino ad alcuni metri. I depositi sono costituiti da elementi rocciosi eterometrici immersi in una matrice (struttura matrix supported) generalmente limoso-sabbiosa, presente in differenti quantità. In prossimità della roccia lapidea si osservano orizzonti costituiti da clasti alterati con scarsa frazione fine (struttura clast supported). I calcescisti, litotipi estremamente degradabili, è producono notoriamente potenti coltri di alterazione a prevalente matrice fine limoso argillosa.

Gli spessori risultano generalmente inferiori a 2 metri. Non si rilevano porzioni cartografabili di aree con potenza superiore, se non in corrispondenza degli accumuli di frana. Tuttavia, si ipotizza la presenza di spessori importanti presso fasce e zone fortemente tettonizzate, ai piedi dei versanti ed in zone caratterizzate da livelli elevati di alterazione del substrato roccioso.

Va sottolineato, inoltre, che l'elevata predisposizione alla disgregazione ed alterazione dei calcescisti e micascisti spesso non permette una distinzione netta tra il terreno di copertura ed il substrato roccioso resistente. Generalmente si riscontra, infatti, la presenza di uno strato intermedio di alterazione, talvolta di potenza elevata, le cui caratteristiche meccaniche risultano scadenti e paragonabili a quelle dei terreni di copertura.

Le coperture detritiche (dt) indicate nella Carta geolitologica del Piano di bacino costituiscono le coltri di alterazione eluviali-colluviali di potenza superiore ai 3 metri e comprendono anche gli accumuli di frane, frane antiche e/o paleofrane. In generale, rispetto alle coltri eluviali e colluviali, è presente una maggiore percentuale della componente grossolana e di blocchi, tenuto conto della dinamica del fenomeno generativo.

3.4 Assetto litostratigrafico locale

L'approfondita campagna di indagini geognostiche svolta finora e i rilievi di terreno hanno permesso di caratterizzare dal punto di vista litostratigrafico il versante oggetto di indagine.

Nell'ambito generale del settore dissestato è stato possibile osservare un marcato approfondimento del substrato, che passa da circa 19 – 25 m a circa 38 – 42 m spostandosi da N a S lungo la traccia della sede stradale ANAS; tale assetto è confermato a monte della sede stradale, con valori variabili da 17 – 34 m a circa 38 – 54 m in corrispondenza del piazzale a ridosso del viadotto autostradale. L'assetto stratigrafico emerso dalle indagini geognostiche è sostanzialmente confermato da precedenti campagne di prospezione geofisica e indica la presenza di una locale depressione del substrato in corrispondenza della parte centrale del dissesto, la cui natura è difficilmente interpretabile e che è stato probabilmente celato da successivi processi di deformazione a carico del versante e comunque ad essi connesso. È verosimile ipotizzare una risalita del substrato nel settore Sud, non confermata dai dati stratigrafici disponibili in questa fase.

Analoghe considerazioni valgono per il settore di versante di diretto interesse, compreso tra la sede stradale ANAS ed il sottostante piazzale RFI, ove tale assetto sembrerebbe confermato nella porzione mediana, con tendenza ad esaurimento lungo il profilo tracciabile immediatamente a monte del muro RFI. In particolare, lungo lo sviluppo della porzione mediana, il substrato litoide competente si individua rispettivamente alla profondità di 10,0 – 20,0 m dal piano di esecuzione delle indagini. Tale differenza deriva sostanzialmente dalla presenza di una significativa porzione di alterazione del substrato, in corrispondenza di S6 (2001), con potenza di 8 – 10 m. Tale livello si pone in corrispondenza della superficie di scorrimento o potrebbe esserne interessato. E' inoltre ragionevole ipotizzare che tali porzioni di alterazione rappresentino l'attuale stato di conservazione di livelli interessati da pregresse deformazioni gravitative su più larga scala; il grado di alterazione risulta verosimilmente più evidente nella porzione medio elevata del versante, a conferma di quanto esposto sopra.

I sondaggi S1 ed S7, eseguiti lungo il piazzale a circa 10 m dal muro esistente, ed i sondaggi S2, S3 ed S4, eseguiti lungo lo sviluppo della muratura crollata (durante la campagna del 2001), individuano la presenza del substrato a quota variabile tra -1,0 – -1,5 m dal p.f., con valori di RQD compresi tra 0 – 40%.

I sondaggi pregressi individuano il substrato ad una quota di circa 2,0 – 4,0 m al di sopra di p.f., indicando un rapido innalzamento del substrato verso monte, come peraltro indicato dalle risultanze storiche della contabilità ferroviaria successiva alla realizzazione dell'opera.

Vanno inoltre evidenziate le porzioni di muratura individuate durante l'esecuzione degli interventi, che hanno comportato uno spostamento a monte del manufatto di contenimento previsto in corrispondenza della muratura crollata. I primi pali di grande diametro eseguiti lungo lo sviluppo dell'opera crollata hanno infatti evidenziato porzioni del muro di sostegno ancora in discrete condizioni di conservazione, che hanno condizionato in modo significativo la realizzabilità degli interventi e, conseguentemente, la scelta delle tipologie dell'opera di sostegno

al piede e la posizione delle stesse, imponendo variazioni ed adeguamenti nel corso dell'esecuzione degli interventi realizzati.

L'assetto litostratigrafico lungo la traccia della galleria in progetto, in corrispondenza della sottostazione elettrica ed in corrispondenza del sottopasso viaggiatori, può essere delineato con sufficiente approssimazione sulla scorta delle indagini svolte nel 2004 e recentemente integrate con la terebrazione di ulteriori 2 sondaggi (2023). Relativamente alla galleria artificiale in progetto, i sondaggi disponibili lungo lo sviluppo del ritto di monte hanno evidenziato la presenza del substrato litoide, con diverso grado di alterazione, entro 1,0 – 1,5 m dal piano del ferro. Poco oltre l'imbocco sud della galleria, la stratigrafia relativa al sondaggio S4Pz recentemente realizzato evidenzia un significativo approfondimento del substrato litoide, che qui è individuabile alla profondità di circa 8,0 m celato da termini detritici e di riporto.

Le indagini disponibili lungo lo sviluppo del ritto di valle indicano invece un approfondimento del substrato in corrispondenza del settore centrale del profilo della galleria, ove si è manifestato il crollo del muro. Sono individuabili riporti di varia natura, in alcuni casi evidentemente connessi allo smarino di galleria, localmente sovrapposti, nella sopra citata porzione centrale del profilo, a detrito di versante. La natura dei riporti è mediamente sabbioso-ghiaioso-limosa, con scarsa percentuale argillosa ed è sostanzialmente paragonabile a quella del detrito di versante. Le profondità a cui è rilevabile il substrato litoide sono variabili da circa -6,0 m rispetto il p.f. (S4 - 2004), in corrispondenza dell'imbocco lato Ovada, a circa -8,5 m da p.f. (S6 - 2004), nel punto più depresso della porzione mediana, per tornare a circa -2,0 m da p.f. (S3 - 2004), in corrispondenza dell'imbocco lato Genova. Procedendo oltre l'andamento del substrato rispecchia quanto rilevato per la porzione più a monte caratterizzandosi per un significativo approfondimento; il sondaggio S1-DH (2023) individua il medesimo ad una profondità di circa 14,5 m, mentre il sondaggio S2 (2004) terebrato in prossimità del sottopasso viaggiatori in progetto non lo individua entro la profondità di 16 m (massima profondità raggiunta dal medesimo).

Risulta quindi evidente una spiccata variabilità in senso longitudinale e trasversale al manufatto, che comporta la necessità di ricorrere a fondazioni di tipo indiretto al fine di limitare possibili cedimenti differenziali ed impostare il manufatto entro i termini litoidi.

Relativamente alla sottostazione elettrica in progetto, è disponibile un sondaggio specifico finalizzato a caratterizzare l'assetto litostratigrafico e le caratteristiche geotecniche dei materiali per tale settore (S1 – 2004). Si rileva la presenza di riporti di diversa natura (verosimilmente connessi allo smarino di galleria a partire da circa -5,0 m da p.c.), litologicamente costituiti da termini sabbioso ghiaioso limosi, sino a circa -9,6 m da p.c.. Successivamente si individua il substrato litoide rappresentato da calcescisti, con discreto valore di RQD.

Relativamente al sottopasso viaggiatori in progetto, sono stati eseguiti due sondaggi a carotaggio continuo del terreno, ubicati sui limiti del manufatto (S2, S5 – 2004). I sondaggi hanno evidenziato la presenza di riporti di varia natura, essenzialmente costituiti da termini sabbioso ghiaioso limosi, sovrapposti a termini detritici di natura simile e quindi al substrato litoide costituito da calcescisti. In particolare, in corrispondenza del lato di monte del manufatto, i riporti sono presenti sino a circa -7,0 m da p.c., successivamente sono individuabili termini detritici sino a circa -11,3 m da p.c. e quindi il substrato litoide. In corrispondenza del lato di valle del manufatto sono invece presenti riporti sino a circa -11,0 m da p.c. e successivamente termini detritici di analoga natura sino alla massima profondità indagata (-16,0 m da p.c.). In corrispondenza del sondaggio S2 (lato valle) è stato installato un piezometro, che rilevato la presenza di acqua a partire da circa -15,0 m da p.c., e quindi non interferente con le opere in progetto; sarà peraltro opportuno un controllo del livello di falda durante il periodo della progettazione e successivamente allo stesso, al fine di valutare eventuali innalzamenti non prevedibili in questa fase.

L'assetto litostratigrafico individuato per il piazzale, estremamente variabile sia lungo lo sviluppo dei binari che in direzione ortogonale al torrente, deriva da una morfologia fortemente modificata in seguito all'antropizzazione dell'area (realizzazione della galleria e del piazzale stesso). Durante le fasi di realizzazione della galleria ferroviaria, il piazzale assunse infatti un'importanza strategica, ospitando i principali impianti di cantiere e baraccamenti. È quindi verosimile, e ve ne è traccia nei manufatti realizzati, che il settore sia stato oggetto di radicali cambiamenti morfologici, con spostamento dell'asse del rio, dislocato in prossimità del versante destro con opere idrauliche di rilievo, e con imponenti scavi a monte e conseguenti opere di contenimento (interessate

dal recente crollo). Ciò consentì di ottenere un importante piazzale di manovra, ricavato in parte proprio con il deposito dei materiali di risulta dagli scavi di monte e di smarino della galleria. L'andamento irregolare del substrato al di sotto del piazzale è quindi verosimilmente connesso alla presenza del paleoalveo celato del torrente, oltre che essere fortemente influenzato dall'interferenza con la paleofrana.

Per quanto riguarda i rapporti tra le varie unità litostratigrafiche e le loro caratteristiche litotecniche, si rimanda alla Relazione geotecnica e alle tavole relative alle sezioni e ai profili geologici e geotecnici.

4 Assetto idrogeologico

Per quanto concerne il substrato roccioso sono state individuate due classi fondamentali di permeabilità associate ai due complessi litologici principali presenti nell'area: le rocce ofiolitiche e i calcescisti l.s..

Il complesso delle ofioliti, caratterizzato da permeabilità medio-elevata per fratturazione, è sede di circuiti idrici, anche profondi, fortemente condizionati dall'andamento (orientazione e densità) e dalla persistenza delle diverse discontinuità presenti. In rapporto al tipo di circolazione (circolazione in mezzo non darcyano) è importante segnalare che il meccanismo e la dinamica d'infiltrazione influenzano la genesi di movimenti franosi in tali ammassi rocciosi. In particolare, mentre in condizioni di precipitazioni di normale entità si determina un'elevata infiltrazione d'acqua, in condizioni di piogge intense e concentrate la capacità di infiltrazione si riduce notevolmente e lungo le discontinuità si generano incrementi di pressione interstiziale che possono risultare causa scatenante di movimenti franosi.

Il complesso dei calcescisti l.s. è qui caratterizzato da permeabilità bassa per fratturazione. Il ridotto grado di permeabilità associato ad esso, in rapporto al comportamento delle rocce ofiolitiche, è fortemente connesso ai fenomeni di alterazione che interessano tali materiali. In generale, i prodotti d'alterazione di tali litotipi tendono ad intasare le discontinuità presenti rallentando e limitando i processi di circolazione idrica. Tuttavia, localmente possono presentare venute d'acqua significative.

Nell'ambito del bacino, quindi, l'infiltrazione in tale complesso va ad alimentare una circolazione idrica prevalentemente superficiale caratterizzata da una rete di flusso discontinua. Tuttavia, è presente una buona permeabilità secondaria per fratturazione in corrispondenza a sistemi di discontinuità subverticali beanti, associati a contatti tettonici importanti, come il sistema di faglie a direzione NE-SW precedentemente citato. Inoltre, la locale presenza di bancate a prevalente composizione carbonatica, favorisce l'instaurarsi di fenomeni carsici che conducono al progressivo allargamento delle fratture preesistenti.

Il complesso delle quarziti è caratterizzato da permeabilità medio-elevata per fratturazione e mostra un comportamento analogo a quello del complesso delle ofioliti.

Come osservato precedentemente ai calcescisti è associata una copertura detritica eluvio-colluviale a prevalente matrice fine argillosa, il cui spessore è generalmente inferiore a 2 m. In essa sono possibili ridotte circolazioni idriche che sono riconducibili ad uno schema di flusso limitato che si realizza lungo orizzonti ben determinati, discontinui e spesso isolati. In particolare, in prossimità del substrato roccioso, fenomeni di impregnazione idrica del terreno di copertura possono essere connessi con sorgenti poste nel substrato stesso, mentre, in corrispondenza del piano campagna, la circolazione idrica è in stretta connessione con gli apporti meteorici.

Al verificarsi di eventi intensi e concentrati gli strati più superficiali dei terreni di copertura vengono, generalmente, a trovarsi in condizioni di elevata saturazione. Tale condizione, oltre a ridurre l'infiltrazione verso orizzonti più profondi è la principale causa innescante di fenomeni franosi, tipici dei terreni di copertura, classificabili in colate rapide con elevato contenuto in acqua (Casale et alii, 2002).

Nella cartografia allegata è stato rappresentato un complesso superficiale, costituito da depositi detritici sciolti a matrice prevalentemente sabbiosa, rappresentati rispettivamente da depositi di frana, da terreni di riporto e localmente da depositi alluvionali. Tale complesso è caratterizzato da una permeabilità per porosità da media a elevata.

Sulla base di prove di permeabilità realizzate in materiali analoghi, è possibile fornire i seguenti intervalli di valori del coefficiente di conducibilità idraulica:

- depositi alluvionali e terreni di riporto - $1,00 \cdot 10^{-4} \leq k \leq 1,00 \cdot 10^{-3}$ m/s;
- depositi di frana - $1,00 \cdot 10^{-5} \leq k \leq 1,00 \cdot 10^{-4}$ m/s;
- calcescisti - $1,00 \cdot 10^{-8} \leq k \leq 1,00 \cdot 10^{-7}$ m/s;
- quarziti - $1,00 \cdot 10^{-8} \leq k \leq 1,00 \cdot 10^{-7}$ m/s
- metabasiti - $1,00 \cdot 10^{-8} \leq k \leq 1,00 \cdot 10^{-6}$ m/s
- serpentiniti - $1,00 \cdot 10^{-8} \leq k \leq 1,00 \cdot 10^{-7}$ m/s.

La variabilità dell'intervallo di valori di k nelle quarziti, metabasiti e serpentiniti è legata alla presenza di fratture con assente o scarso riempimento limoso-argilloso, al contrario abbondante nei calcescisti.

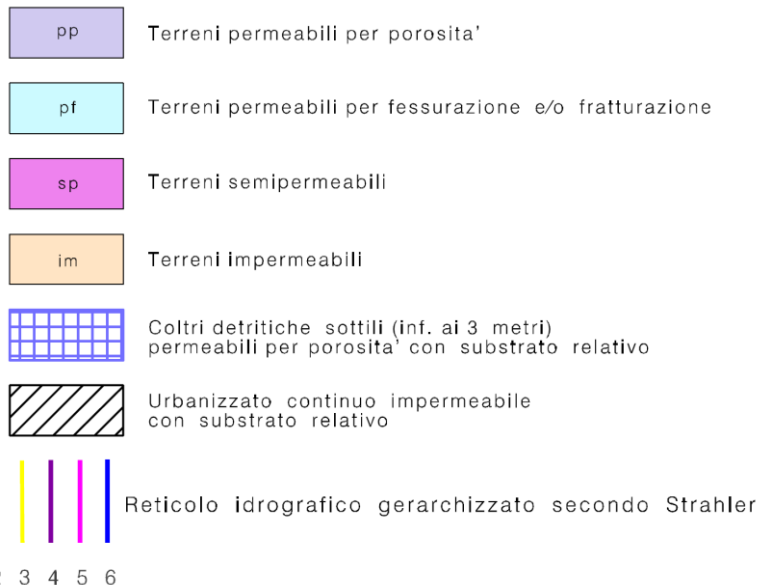
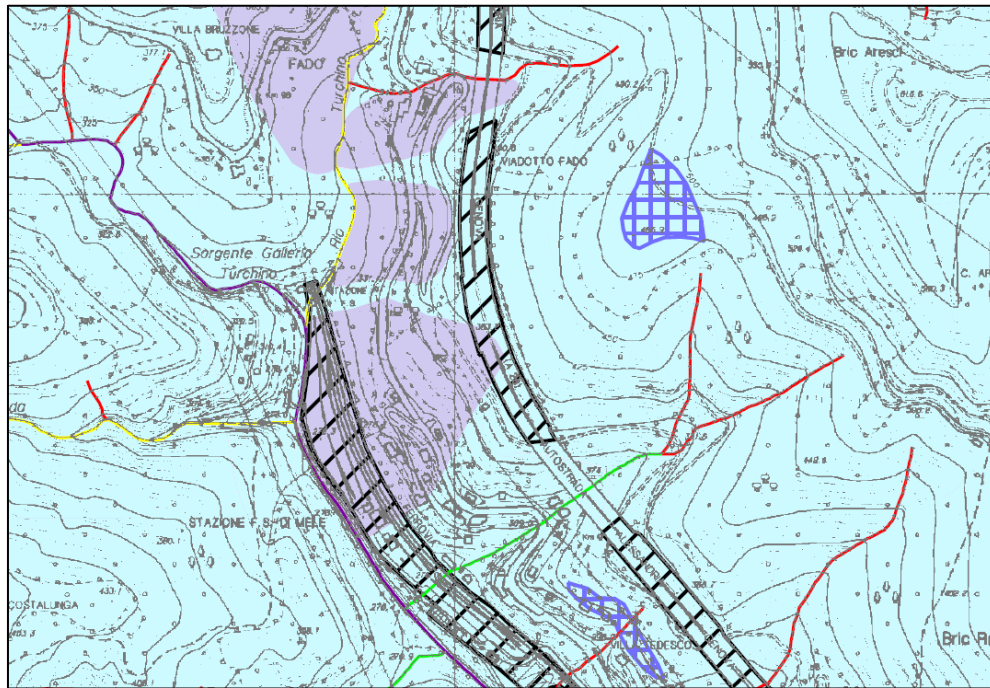


Figura 7 – Stralci dalla Carta idrogeologica (Provincia di Genova, 2013).

5 Assetto geomorfologico e dinamica del versante

5.1 Assetto geomorfologico

L'area oggetto del presente studio è localizzata nel bacino del T. Leiro, immediatamente a valle della confluenza del Rio Turchino nel Rio Gorsexio.

Il versante si presenta come una dorsale allungata in direzione NW-SE, interrotta localmente da selle in contropendenza, interpretabili come tracce di direttrici di un reticolato idrografico pregresso.

Un lembo di superficie pianeggiante modellato in roccia, di probabile origine fluviale, si osserva a valle di Bric Aresci a circa 490 m di altezza.

Il versante compreso tra Bric Aresci (616 m s.l.m.m.) e il fondovalle (quota media 275 m s.l.m.m., nei pressi della Stazione ferroviaria di Mele) si può suddividere in tre differenti settori:

- Il tratto superiore è caratterizzato un profilo concavo, con un'acclività media di circa 25° e tratti inclinati anche di 35°, interrotta da un ripiano compreso tra le quote 485 m e 500 m circa. Sul versante Sud-orientale di Bric Aresci, a si osserva una scarpata in contropendenza orientata N40W, avente le seguenti dimensioni: lunghezza = 30 m, larghezza = 20-25 m, profondità = 5-6 m;
- Il tratto mediano (a monte della A 26) mostra un profilo rettilineo ed un'inclinazione anch'esso di circa 25°;
- Il tratto inferiore (a valle della A 26) mostra una morfologia maggiormente complessa, caratterizzata dalla presenza di ondulazioni longitudinali e trasversali della superficie topografica nonché da un generalizzato rigonfiamento intuibile sulle basi cartografiche pubblicate precedentemente all'attivazione del fenomeno franoso. In corrispondenza al corpo di frana l'acclività può raggiungere i 35°-40°. In quest'ultimo settore si osservano fessure e scarpate aventi direzione parallela alle curve di livello, con altezza variabile compresa tra 1 m e 3-4 m, distribuite essenzialmente tra le quote 320 m e 300 m s.l.m.m..

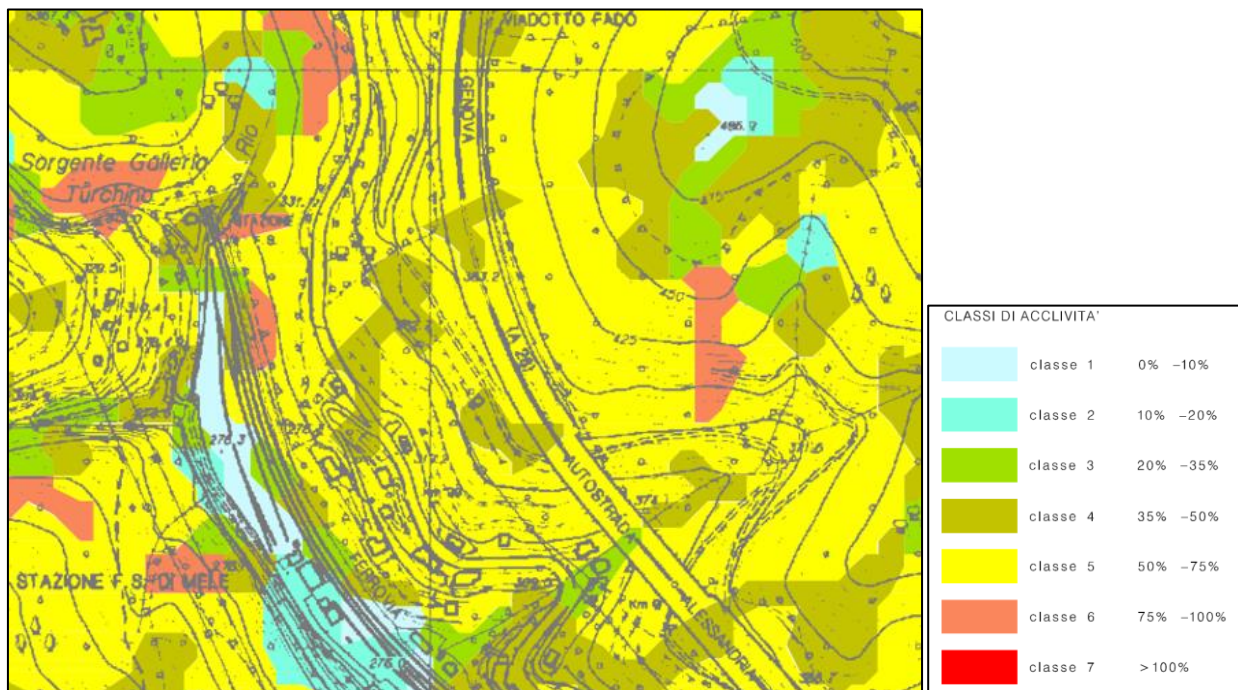


Figura 8 – Stralci dalla Carta dell'acclività (Provincia di Genova, 2013).

5.2 Dinamica di versante

In seguito alle eccezionali precipitazioni del mese di Novembre 2000 infatti, si attivò un esteso movimento franoso interessante il settore di versante a monte della Stazione FS nel Comune di Mele in sponda orografica sinistra del rio Turchino. Il movimento franoso si estese da poco a monte della S.S. 456 “del Turchino” alla linea ferroviaria e compromise notevolmente sia la viabilità stradale lungo la statale suddetta sia il movimento ferroviario lungo la linea Genova – Ovada. Gli interventi di sistemazione parziale del versante sono stati oggetto di progettazione esecutiva datata 2003.

Nel primo caso sono stati eseguiti dei lavori da parte dell'ANAS per ripristinare il tracciato stradale a mezzo di un viadotto con fondazioni profonde. Nel secondo caso, invece, è stata necessaria l'interruzione di entrambi i binari di esercizio, è stato realizzato un nuovo tracciato tramite il collegamento in galleria con il vecchio binario dispari, è stata costruita una scogliera di protezione in modo da contenere la frana ed infine è stata realizzata un'opera di consolidamento del versante (in fig. 9 presenti già la viabilità alternativa e la scogliera di protezione). L'intervento di consolidamento del versante che, ad oggi, risulta ultimato, consiste in diverse tipologie di opere e, in particolare, la consolidazione dei muri rimasti illesi dopo il movimento franoso, a mezzo di cordoli in testa con micropali e tiranti con l'utilizzo di un graticcio di travi in acciaio, ed un'opera d'arte più imponente con lo scopo di contenimento del versante lungo lo sviluppo del tratto di muro crollato.



Figura 9 – Foto frontale della frana avvenuta nel Novembre 2000.



Figura 10 – Foto frontale della sistemazione provvisoria del versante ad ultimazione lavori.

L'analisi morfologica e l'interpretazione fotogrammetrica dell'area in esame hanno permesso di individuare in modo evidente un diffuso stato di dissesto lungo l'intero versante, a partire dalla linea ferroviaria sino ad oltre il sovrastante tracciato autostradale. In tale contesto il fenomeno innescatosi nel Novembre 2000 rappresenta una locale riattivazione di una porzione di un più vasto dissesto, del quale sono individuabili i limiti morfologici e le opere di consolidamento realizzate.

Entro l'accumulo dalla frana antica, la tendenza a locali riattivazioni è confermata dal dissesto manifestatosi nel 1986 nel settore di versante a Nord dell'attuale movimento, già interessato da interventi di consolidamento e bonifica e compreso tra la strada statale e l'autostrada.

È inoltre da rilevare la presenza di un settore a minore acclività in corrispondenza dell'imposta della spalla del viadotto Fado, evidenziato dall'analisi delle foto aeree precedenti alla realizzazione dell'autostrada e probabilmente attribuibile alla porzione sommitale dell'accumulo dell'antico fenomeno.

Lo studio delle giaciture degli affioramenti individuati lungo lo sviluppo dell'areale considerato conferma sostanzialmente la delimitazione individuata dall'analisi fotogrammetrica e morfologica. Per un vasto settore del versante in esame risulta infatti evidente una ragionevole congruenza nell'assetto della scistosità, sostanzialmente a reggipoggio, con direzione ed inclinazione rispettivamente variabili tra 70 - 100° e tra 60 - 70°; tale assetto non è confermato entro il settore morfologicamente attribuito al pregresso fenomeno gravitativo, ove la scistosità presenta giaciture casuali.

La porzione di frana riattivata ha individuato un evidente settore di coronamento, poco a monte della sede stradale, che è proseguito lungo la sede stessa e successivamente sino alla parte mediana del versante, definendo i margini laterali del fenomeno. Le dislocazioni manifestatesi in seguito all'evento sono plurimetriche in senso verticale e pluridecametriche in senso orizzontale, che ha condotto alla totale compromissione delle opere di sottoscarpa esistenti. Il fenomeno gravitativo ha manifestato una larghezza sommitale di circa 50 m, a circa 100 m nella porzione terminale; lo sviluppo longitudinale del dissesto è stato di circa 80 m, su un dislivello di circa 60 m.

L'analisi della morfologia e delle fessurazioni evidenziate sul versante successivamente al dissesto ha indicato che, lungo il margine Nord, verso la parte terminale, il materiale dislocato è stato solo parzialmente contenuto dall'opera di sostegno al piede, localmente aggirata senza il completo scarico a valle del detrito. L'esame delle risultanze della seconda campagna di indagini ha fornito significative informazioni relative all'assetto stratigrafico di tale settore; in particolare il sondaggio S6 (2001) ha individuato un evidente livello di alterazione del substrato,

verosimilmente già interessato da antica dislocazione sino alla quota di 18,0 m da p.c. (alla cui quota si riscontra un livello milonitizzato ed argillificato), entro il quale si è ragionevolmente sviluppata la recente superficie di scorrimento. Gli affioramenti di zolle litoidi dislocate entro l'accumulo evidenziano materiali con caratteristiche analoghe al livello sopra descritto.

Lungo il margine Sud dell'accumulo, in prossimità del tratto di muro conservato - lato Genova, sono state osservate concentrazioni e venute idriche localizzate che sono state interessate da interventi di drenaggio profondo.

Nella seguente descrizione dei parametri dimensionali del fenomeno gravitativo in oggetto sono state adottate le indicazioni fornite dalla Regione Liguria per il censimento dei movimenti franosi nell'ambito degli studi per i piani di bacino.

Sinteticamente si riportano i principali elementi descrittivi di una frana:

- **Classificazione:** tipo di frana (cfr. Varnes, 1978; Amanti et alii, 1992);
- **Coronamento:** ovvero il materiale rimasto in posto praticamente non disturbato ed adiacente alle parti alte della scarpata principale;
- **Scarpata principale:** superficie ripida del terreno non dislocato posta al margine superiore del corpo di frana e formatasi a seguito del moto di scorrimento del materiale staccatosi dal terreno indisturbato;
- **Unghia frontale della frana:** il margine, arcuato, del materiale di frana dislocato alla maggiore distanza dalla scarpata principale;
- **Punto inferiore:** il punto dell'unghia situato a maggiore distanza dal punto sommitale della frana;
- **Profondità del corpo di frana:** massima profondità della massa dislocata misurata in direzione perpendicolare alla sua lunghezza;
- **Lunghezza totale:** distanza tra il coronamento e l'unghia frontale della frana;
- **Larghezza del corpo di frana:** massima larghezza della massa dislocata, misurata in direzione perpendicolare alla lunghezza dell'ammasso di frana;
- **Altezza massima:** altezza misurata perpendicolarmente dal coronamento alla quota del punto inferiore
- **Angolo di inclinazione dell'accumulo (α'):**
- **Angolo di inclinazione del pendio (α):**

Classificazione: frana complessa che ha coinvolto il substrato roccioso e la copertura

Coronamento: a circa quota 330 m s.m.m.

Scarpata principale: localizzata immediatamente a monte del tracciato della S.S. 456 del Turchino

Unghia frontale della frana: localizzato in corrispondenza al tracciato ferroviario

Punto inferiore: quota 276 m s.l.m.m.

Profondità del corpo di frana: 12 m

Lunghezza totale: 80 m

Larghezza del corpo di frana: 50 m, nel settore adiacente al coronamento; 100 m nel settore di unghia frontale

Altezza massima: 54 m

Area interessata: 6000 m²

Angolo di inclinazione dell'accumulo (α'): 30°- 35°

Angolo di inclinazione del pendio (α): 25°- 28°

I rilievi di terreno hanno permesso di verificare la presenza di zolle di substrato intensamente tettonizzato, costituite da calcescisti e prasiniti, scompagnate dal movimento ma non disarticolate, le quali mostrano di aver subito una rotazione, come emerge dal confronto con le giaciture del substrato relativamente indisturbato che si osserva in settori adiacenti all'area instabile.

La notevole estensione planimetrica ed altimetrica dei depositi del corpo sedimentario A, la presenza di zolle anche in corrispondenza al coronamento del corpo franoso in oggetto, nonché la presenza di vuoti entro la copertura eluvio/detritico-colluviale (desunta dai sondaggi), induce ad interpretare il corpo A come depositi di un accumulo di frana, probabilmente di natura composita. Tale accumulo, di età sconosciuta ma presumibilmente olocenica, è soggetto a riattivazioni recenti, testimoniate dalla presenza di numerose scarpate e rotture di pendenza interpretabili come nicchie di distacco di frane secondarie, in parte rimodellate ed attualmente vegetate e, ovviamente, dall'aggravarsi delle condizioni di instabilità osservate nel Novembre 2000.

Uno dei dati più interessanti emersi dalla campagna di indagini geognostiche è la presenza di una profonda (sino a 40 m circa) depressione del tetto del substrato roccioso, orientata perpendicolarmente al pendio.

L'esistenza di un fenomeno gravitativo pregresso coinvolgente l'intero versante, confermato dalla notevole potenza dei depositi sciolti, dalla presenza di una profonda depressione del tetto del substrato roccioso e da indizi morfologici, pone due principali problemi interpretativi:

- Non è stata individuata con certezza una nicchia di distacco di dimensioni congruenti con i volumi di materiale coinvolto dal movimento, che dovrebbe essere localizzata verosimilmente immediatamente a monte del tracciato autostradale; l'età del fenomeno potrebbe aver permesso una sua totale obliterazione e/o potrebbe essere mascherata dalla deposizione di depositi colluviali o da corpi di frana minori.
- Un accumulo o una serie di corpi di frana sovrapposti avrebbero ostruito il fondovalle, che nel tratto considerato ha una larghezza di una cinquantina di metri, provocando la formazione di un bacino lacustre e/o palustre immediatamente a monte dello sbarramento del Rio Turchino, ipotesi che non trova riscontro dai risultati del rilevamento geologico e geomorfologico.

Una soluzione a questi due problemi è la postulazione dell'esistenza di una deformazione gravitativa profonda che interessa gran parte del versante. Infatti, come è supportato dalla bibliografia specifica, fenomeni di questo tipo si differenziano dalle frane s.s. per i seguenti motivi:

- Una superficie di scorrimento ben definita non è indispensabile dal punto di vista del meccanismo deformativo;
- L'entità dello spostamento è molto minore rispetto alle dimensioni del fenomeno;
- Le dimensioni del fenomeno sono confrontabili con quelle del versante coinvolto.

In un quadro di questo tipo la maggior parte della deformazione si esplicherebbe in corrispondenza del substrato roccioso intensamente tettonizzato e alterato, producendo nei livelli superficiali, costituiti da depositi sciolti e/o a debole coesione, una generalizzata instabilità con la formazione di nuove superfici di taglio, come si è verificato a carico della S.S. 456 del Turchino e della linea ferroviaria.

6 Quadro del dissesto idrogeologico

6.1 Perimetrazione dei dissesti

La più recente cartografia inerente il dissesto idrogeologico è contenuta nel Piano di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico - Ambiti regionali di bacino 12 e 13 (Regione Liguria & Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (2023).

Nella Carta del dissesto idrogeologico si riportano stralci delle seguenti cartografie:

- Carta geomorfologica
- Carta della franosità reale

In particolare, per il settore in esame viene indicato il perimetro di frana complessa attiva compreso in una più ampia paleofrana. Tali perimetrazioni si discostano da quanto rilevato e cartografato dopo l'evento del 2000 (ved. tavole Carta geomorfologica e Carta geologica, sezione e profilo geologico).

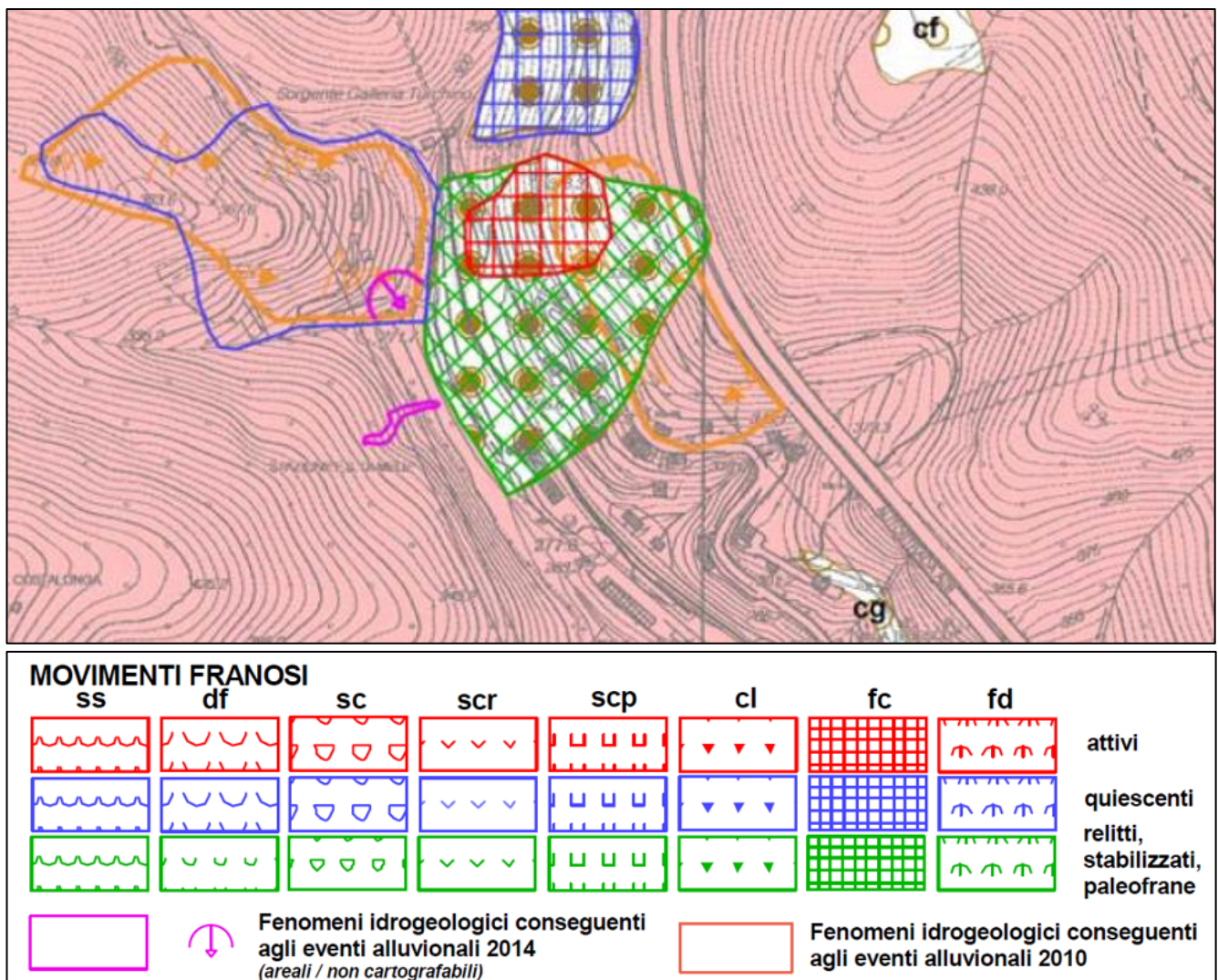


Figura 11 – Stralci dalla Tavola 213090 Carta geomorfologica del Piano di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico - Ambiti 12 e 13 (Regione Liguria & Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, 2023).

In merito alla dinamica torrentizia, si sottolinea che le cartografie del Piano di bacino e del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) non riportano aree inondabili nel settore oggetto di intervento in quanto le perimetrazioni sono state effettuate solo nel tratto compreso all'incirca tra il concentrico di Mele e la costa.

Per le problematiche di natura idraulica si rimanda agli specifici elaborati progettuali: Relazione idrologico-idraulica, Corografia generale del reticolo idrografico e dei vincoli di natura idraulica, Carta dei bacini idrografici e Sezioni di verifica idraulica.

6.2 Normativa regionale

Le Norme di Attuazione del Piano di Bacino individuano specifiche Aree a diversa suscettività al dissesto di versante («Aree SDV») le cui perimetrazioni sono riportate nella «Carta della suscettività al dissesto»:

- 1) Suscettività al dissesto molto elevata: aree in cui sono presenti movimenti di massa in atto - frana attiva (Pg4);
- 2) Suscettività al dissesto elevata comprensiva delle seguenti aree:
 - 2.1) aree in cui sono presenti indicatori geomorfologici diretti, quali l'esistenza di frane quiescenti o di segni precursori o premonitori di movimenti gravitativi (Pg3a);
 - 2.2) aree, prive al momento di movimenti gravitativi attivi e quiescenti, in cui sono presenti indicatori indiretti di elevata suscettività valutabili, dalla combinazione di elementi geomorfologici, litologici, strutturali e di uso del suolo. Sono comprese in tali aree le frane stabilizzate e relitte (paleofrane) e le zone a franosità diffusa inattive (Pg3b);
- 3) Suscettività al dissesto media (Pg2): aree, in cui sono presenti elementi geomorfologici e di uso del suolo, dalla cui valutazione combinata risulta una propensione al dissesto di grado inferiore a quella indicata al punto 2);
- 4) Suscettività al dissesto bassa (Pg1): aree, in cui sono presenti elementi geomorfologici e di uso del suolo caratterizzati da una bassa incidenza sulla instabilità, dalla cui valutazione risulta una propensione al dissesto di grado inferiore a quella indicata al punto 3);
- 5) Suscettività al dissesto molto bassa (Pg0): aree, in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche fisiche dei terreni non costituiscono, se non occasionalmente, fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa.

Nel seguito si riportano le prescrizioni per le classi di suscettività al dissesto contenute nelle Norme di Attuazione così come modificate ed entrate in vigore in data 13/05/2020.

“Art.16 Aree a diversa suscettività al dissesto”¹

1. Nelle aree di cui alla lett. b), comma 2, dell'art. 12, fermo restando le prescrizioni del D.M. 14/01/2008², valgono le seguenti norme.

2. Nelle aree a **suscettività al dissesto molto elevata (Pg4 - frana attiva)** non sono consentiti:

- a) gli interventi che comportino sbancamenti, movimenti di terra, quali scavi o riporti, od alterazione del regime delle acque;
- b) gli interventi di nuova edificazione;

¹ Ai fini dell'applicazione della disciplina delle aree a pericolosità geomorfologica, vedere anche l'allegato 1 alla DGR 848/03 e la DGR 723/2013, che riportano indirizzi interpretativi e chiarimenti dei criteri per la redazione della normativa dei piani di bacino per la tutela dal rischio idrogeologico di cui alla DGR 357/01, nelle quale sono forniti, tra l'altro, chiarimenti ed indirizzi interpretativi su specifiche definizioni di tipo urbanistico-edilizio nell'ottica della pianificazione di bacino.

In particolare, si specifica che il richiamo alle categorie edilizie riportate negli articoli seguenti è solo finalizzato alla definizione degli interventi stessi ai fini della pianificazione di bacino, indipendentemente quindi dalla loro vigenza a fini urbanistici. I limiti e i divieti della disciplina del piano, infatti, vanno necessariamente riferiti alla natura sostanziale degli interventi a prescindere dalla categoria in cui gli stessi sono iscritti in base allo strumento urbanistico.

² Leggasi D.M. 17/01/2018.

c) gli interventi eccedenti il mantenimento dell'esistente, quali quelli eccedenti la manutenzione straordinaria ed il risanamento conservativo, sono fatti salvi gli interventi strettamente necessari a ridurre la vulnerabilità delle opere esistenti e a migliorare la tutela della pubblica e privata incolumità. In ogni caso gli interventi ammessi non devono comportare cambi di destinazione d'uso che determinino aumento del carico insediativo né comportare aumenti di superficie e volume, anche tecnico, ad eccezione di quelli necessari per l'attuazione degli obblighi di legge, compresi i modesti ampliamenti finalizzati esclusivamente all'adeguamento igienico-sanitario e tecnologico;

d) la sistemazione di aree che comporti la permanenza o la sosta di persone;

e) l'installazione di manufatti, anche non qualificabili come volumi edilizi, ad eccezione di quelli volti alla realizzazione di piccoli manufatti necessari all'attività agricola ed alla conduzione del fondo, ricadenti in zona urbanistica a destinazione agricola a condizione che:

- 1) la volumetria di tali manufatti sia strettamente correlata all'esclusiva esigenza di ricovero attrezzi e macchinari impiegati per tale attività;
- 2) le tipologie costruttive impiegate siano compatibili con le condizioni di dissesto presente e che non comportino un aggravamento dello stesso, e, in ogni caso, non comportino tagli di versante;
- 3) non siano oggetto di cambi di destinazione d'uso;

f) la demolizione di opere che svolgono funzioni di sostegno, se non sostituite con altre che abbiano la stessa finalità;

g) la realizzazione di discariche;

h) la realizzazione di opere di viabilità, ad eccezione della realizzazione di infrastrutture pubbliche viarie e ferroviarie, di carattere strategico, di esclusivo interesse regionale o sovra regionale, indifferibili, urgenti³, non diversamente localizzabili per motivi di continuità del tracciato. Resta in ogni caso necessaria la realizzazione delle opere di consolidamento finalizzate alla stabilizzazione del dissesto, previo parere del Comitato tecnico di bacino ai sensi dell'art. 11 c. 4 lett.b) della LR 58/2009;

i) la posa in opera di tubazioni, condotte o similari, ad eccezione di quelle non diversamente ubicabili e relative ad infrastrutture e reti di servizi pubblici essenziali o di interesse pubblico, previo parere dell'ufficio regionale competente.

Tale parere viene formulato sulla base di idonea documentazione tecnica progettuale che attesti:

- a) l'impossibilità di utilizzare un tracciato alternativo;
- b) l'adozione degli opportuni accorgimenti tecnici e costruttivi tali da garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni a cui sono destinate le opere, tenuto conto dello stato del dissesto;
- c) l'adozione di modalità di attuazione tali da non aggravare ulteriormente lo stato del dissesto;
- d) la disponibilità di finanziamento per la realizzazione dell'intera opera, comprese le opere di messa in sicurezza. L'ufficio regionale, a fronte della rilevanza dell'opera o dello stato del dissesto o per interventi che richiedano rilevanti opere preventive di sistemazione, può richiedere al Comitato Tecnico di bacino la verifica dei presupposti di applicabilità della norma.

[...]

3-ter. Nelle aree a **suscettività al dissesto elevata – Pg3b**, oltre al regime normativo applicato nelle aree Pg3a, è consentita anche la nuova edificazione e l'esecuzione di opere infrastrutturali, purché tali interventi siano previsti dallo strumento urbanistico comunale adeguato al presente Piano di bacino. Tale adeguamento comporta l'effettuazione di un'apposita verifica di compatibilità delle previsioni urbanistiche con il quadro dei dissesti del piano di bacino nei termini indicati al successivo articolo 19.

³ Analogamente alle indicazioni contenute al punto 3 lettera c-bis) della DGR 989/11, ai fini della dichiarazione di indifferibilità ed urgenza deve essere motivato il carattere di impellenza, improrogabilità e non diversa ubicazione delle opere e deve esserne dimostrata la copertura finanziaria. I presupposti della norma sono verificati in sede di Comitato tecnico di bacino.

3-quater. Nelle more dell'adeguamento di cui al comma precedente, l'ammissibilità di nuovi interventi è subordinata all'esecuzione di indagini di maggior dettaglio i cui contenuti minimi sono riportati nell'allegato 1 alla presente normativa.

3-quinquies. L'ufficio regionale competente, sulla base delle indagini di maggior dettaglio di cui al comma precedente, trasmesse dal Comune, valuta la compatibilità della realizzazione dell'intervento stesso con le condizioni di suscettività al dissesto accertate ed esprime, a riguardo, parere vincolante⁴. Tale parere, per gli interventi sottoposti anche al regime del vincolo idrogeologico, ai sensi del RD n.3267/1923 e della l.r. n.4/1999, deve essere acquisito preventivamente dall'Autorità competente al rilascio del relativo titolo abilitativo.

3-sexies. I Piani di bacino possono prevedere, nell'ambito delle aree a suscettività al dissesto elevata e molto elevata (Pg4 e Pg3a) per frane con tipologia a cinematica ridotta, classi di pericolosità relativa in ragione dell'entità dei valori di velocità misurati e del modello geologico e geotecnico del corpo di frana. In tali classi si applica una disciplina specifica, compatibile con le finalità dei Piani, che in ogni caso prevede opportuni accorgimenti tecnici-costruttivi ed eventuali misure di protezione civile⁵.

4. Nelle aree a suscettività al dissesto media (Pg2), bassa (Pg1) e molto bassa (Pg0) si demanda ai Comuni, nell'ambito della norma geologica di attuazione degli strumenti urbanistici o in occasione dell'approvazione sotto il profilo urbanistico-edilizio di nuovi interventi insediativi e infrastrutturali, la definizione della disciplina specifica di dette aree, attraverso indagini specifiche, che tengano conto del relativo grado di suscettività al dissesto. Per le aree a suscettività al dissesto media (Pg2) e bassa (Pg1) le indagini devono essere volte a definire gli elementi che determinano il livello di pericolosità, ad individuare le modalità tecnico-esecutive dell'intervento, nonché ad attestare che gli stessi non aggravino le condizioni di stabilità del versante.

4 bis. Nelle classi di suscettività al dissesto si applicano, in ogni caso, le norme generali di carattere idrogeologico per la prevenzione del dissesto di cui all'art. 5.

5. Le indagini e gli studi di cui ai commi precedenti devono tenere in debita considerazione eventuali aree a maggiore suscettività presenti nei pressi della zona di intervento, valutando anche possibili espansioni di movimenti gravitativi.

6. In ogni caso sono consentiti gli interventi di realizzazione di opere di bonifica e di sistemazione dei movimenti franosi diretti alla messa in sicurezza degli edifici, delle strutture esistenti e delle aree in dissesto.

7. Nel caso di interventi di bonifica e di sistemazione, di cui al comma precedente, fermo restando l'obbligatorietà della verifica e del collaudo delle opere di sistemazione realizzate, sono necessari, di norma, per poter procedere alla conseguente riclassificazione dell'area, specifici monitoraggi al fine di verificare la stabilizzazione dell'areale interessato. L'ufficio regionale competente stabilisce, in funzione della tipologia del dissesto, la necessità e le modalità attuative delle attività di monitoraggio⁶.

A seguito della realizzazione degli interventi di bonifica, la Regione, su istanza del soggetto attuatore, volta a riconsiderare la classe di suscettività al dissesto e corredata della necessaria documentazione richiesta, modifica la perimetrazione e/o ridefinisce la classe dell'areale oggetto di intervento secondo le modalità indicate al comma 5, dell'art.10, della l.r. n.58/2009.

7 bis. La Regione può ridefinire, con le procedure di cui al comma 5, dell'art.10, della l.r. n.58/2009 le classi di suscettività al dissesto e procedere alla conseguente modifica della perimetrazione delle zone a seguito di studi di maggior dettaglio riguardanti l'intero areale perimetrato e comunque areali di ampiezza significativa, quali quelli svolti nell'ambito degli studi fondativi degli strumenti urbanistici comunali ovvero quelli integrativi eseguiti dalla Regione stessa.

⁴ Tale disciplina decade a seguito dell'approvazione dello strumento urbanistico comunale adeguato al piano di bacino come previsto dai criteri stabiliti al successivo articolo 19.

⁵ Si rimanda a questo proposito alla DGR 265/2010, allegati 1 e 2, con i quali sono stati forniti specifici indirizzi per la ripermetrazione e riclassificazione delle frane attive e quiescenti a seguito di studi di maggior dettaglio e specifici criteri per la definizione di classi di pericolosità relativa in aree Pg4 e Pg3 per frana a cinematica ridotta.

⁶ Per tipologie di frane a cinematica ridotta si rimanda agli indirizzi contenuti nel paragr. 3.3 dell'Allegato 1 della DGR n.265/2010.

8. Relativamente ai manufatti edilizi, alle opere, depositi o insediamenti esistenti oltre a quanto già disposto dai Piani relativamente a casi specifici e contenuto nei Piani di interventi di mitigazione del rischio o nelle misure di protezione civile, i Piani demandano ai Comuni l'assunzione, nell'ambito degli strumenti urbanistici, dei piani di settore, e dei piani di prevenzione ed emergenza di protezione civile (l.r. n.9/2000), di tutte le misure opportune per ridurre il rischio per la pubblica incolumità, delle quali è riportata una elencazione non esaustiva nell'allegato 6".

Per quanto attiene il settore oggetto di interventi, secondo la cartografia suddetta si ricade entro aree a suscettività al dissesto molto elevata - Pg4 ed elevata – Pg3b.

Gli interventi in progetto sono compatibili con le relative norme, con particolare riferimento ai punti 2h, 3-ter e 6.

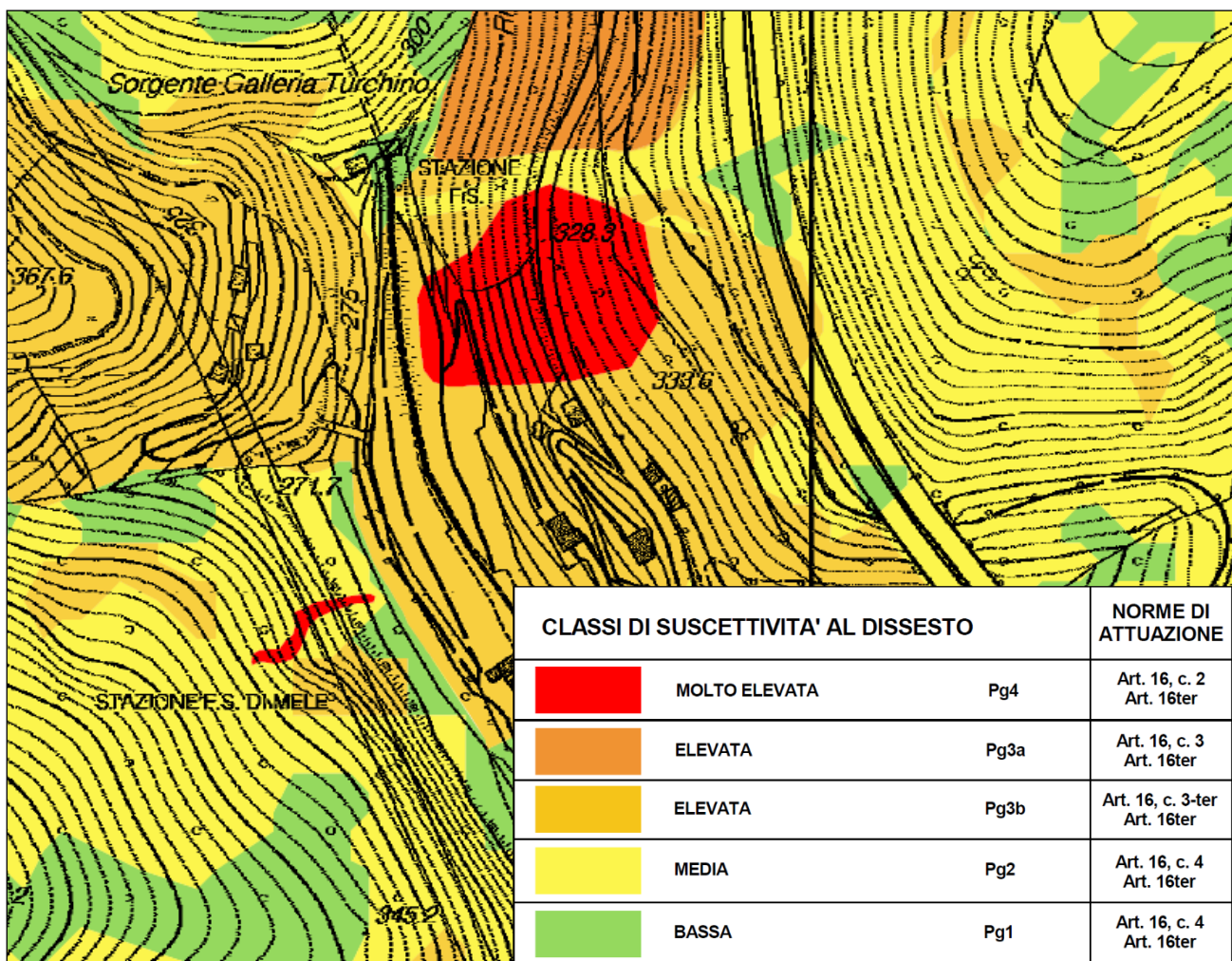


Figura 12 – Stralci dalla Tavola 213090 Carta della suscettività al dissesto del Piano di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico - Ambiti 12 e 13 (Regione Liguria & Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, 2023).

7 Aspetti sismici

7.1 Inquadramento sismico

Le zone sismogenetiche che possono manifestare effetti sulle aree circostanti vengono suddivise in tre distretti:

- la provincia di Imperia, il Nizzardo e le limitrofe zone a mare (ZS910);
- le Alpi cuneesi e Brianzonesi (ZS908-909);
- l'Appennino settentrionale e le sue propaggini sotto la pianura padana (ZS911).

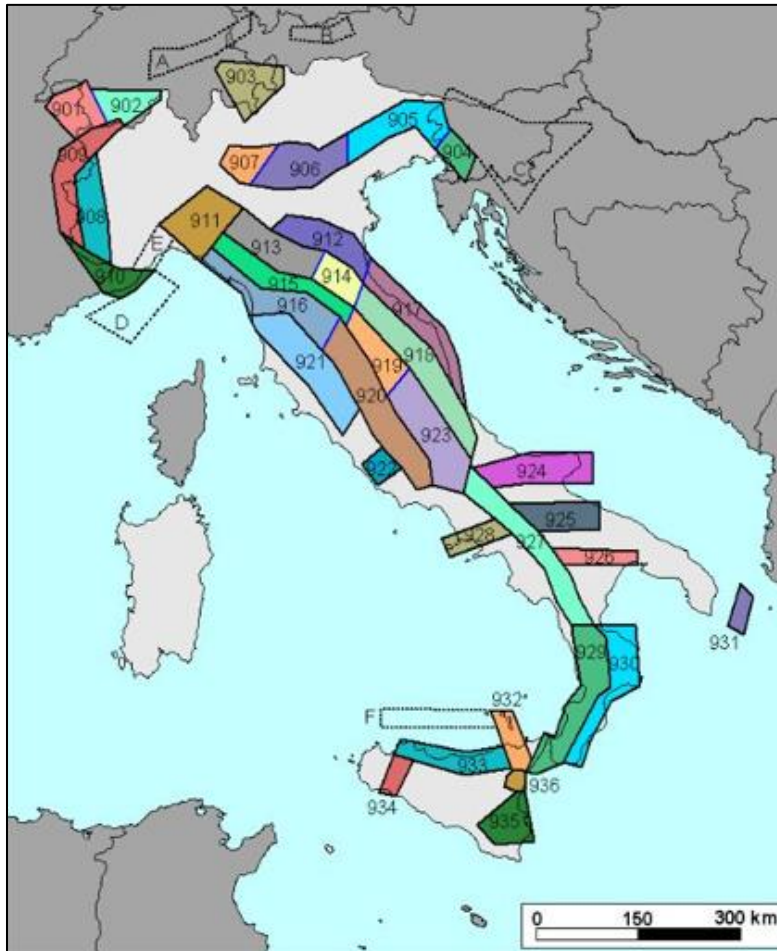


Figura 13 – Zone sismogenetiche, figure tratte da Meletti & Valensise (2004, in Stucchi et alii, 2007).

Dalla consultazione del *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS) gestito dal INGV, di cui si riporta uno stralcio cartografico nella figura successiva, non risultano note strutture sismogenetiche in corrispondenza dell'area di interesse.

Per quanto riguarda l'attività macrosismica dell'area in esame alcune considerazioni di carattere generale possono farsi sulla base delle mappe delle massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni Italiani, elaborate per conto del Dipartimento della Protezione Civile da Molin et al. nel 1996.

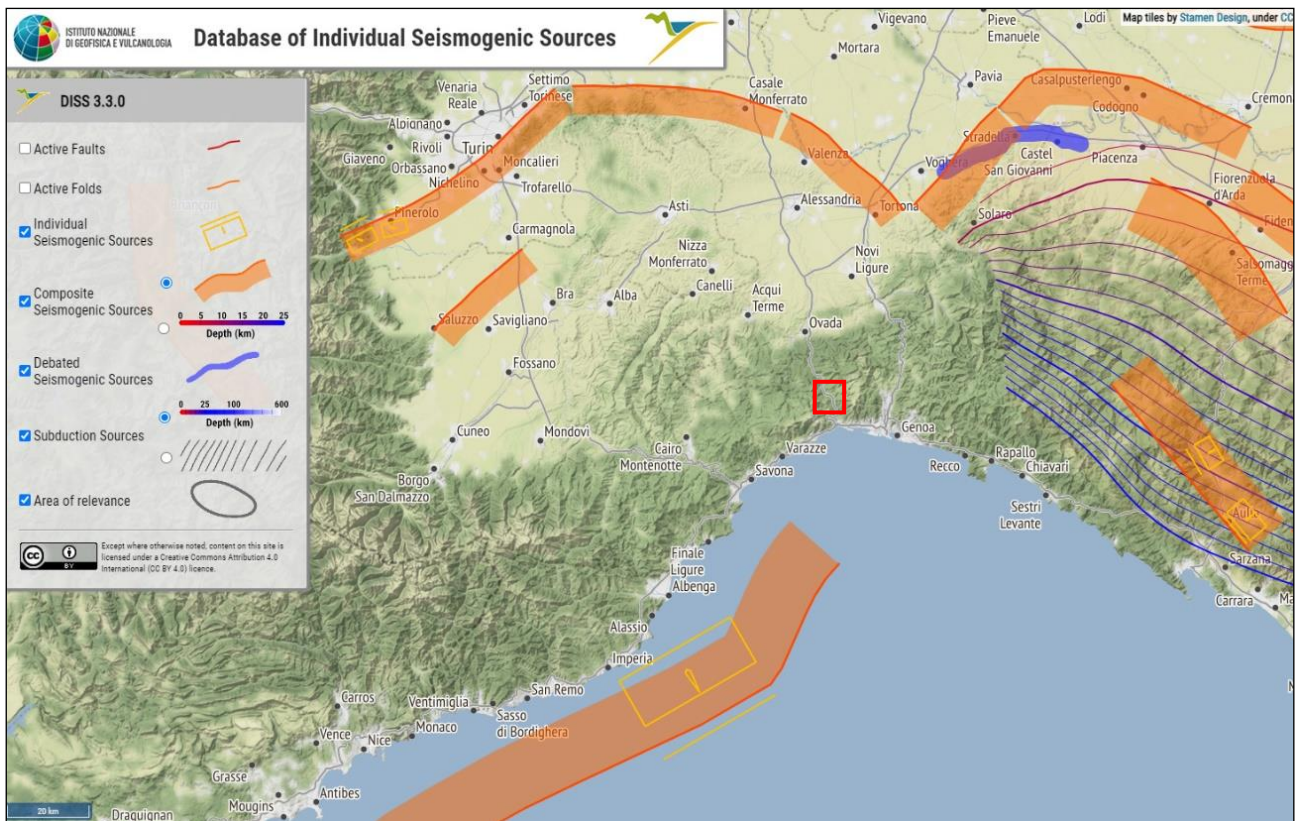


Figura 14 – Stralcio cartografico dal database DIIS. Il rettangolo rosso individua l'area di interesse.

Tali mappe, elaborate a partire dai dati collezionati nella banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, associano ad ogni Comune un valore di intensità massima osservata oppure "ponderata", espresso in una delle cinque classi seguenti: ≤ 6 , 7, 8, 9, ≥ 10 della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS):

Grado	Scossa	Descrizione
I	impercettibile	Avvertita solo dagli strumenti sismici.
II	molto leggera	Avvertita solo da qualche persona in opportune condizioni.
III	leggera	Avvertita da poche persone. Oscillano oggetti appesi con vibrazioni simili a quelle del passaggio di un'automobile.
IV	moderata	Avvertita da molte persone; tremito di infissi e cristalli, e leggere oscillazioni di oggetti appesi.
V	piuttosto forte	Avvertita anche da persone addormentate; caduta di oggetti.
VI	forte	Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.
VII	molto forte	Caduta di fumaioili, lesioni negli edifici.
VIII	rovinosa	Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.
IX	distruttiva	Rovina totale di alcuni edifici e gravi lesioni in molti altri; vittime umane sparse ma non numerose.
X	completamente distruttiva	Rovina di molti edifici; molte vittime umane; crepacci nel suolo.
XI	catastrofica	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci e frane nel suolo; maremoto.
XII	apocalittica	Distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto distruttivo.

Figura 15 – Scala Mercalli-Cancani-Sieberg.

I valori intermedi sono stati associati alla classe superiore (es.: 6/7 è stato considerato equivalente a 7); questa scelta, unitamente a quella di associare all'intero territorio comunale il valore massimo di intensità osservata in almeno una località appartenente al Comune stesso e di assegnare un valore "ponderato" nei casi in cui il record storico è molto incompleto, determina una rappresentazione tendenzialmente "pessimista" degli effetti dei terremoti del passato. Per l'area di interesse la mappa relativa della figura seguente, indica un'intensità massima osservata non superiore al VII grado della scala MCS.

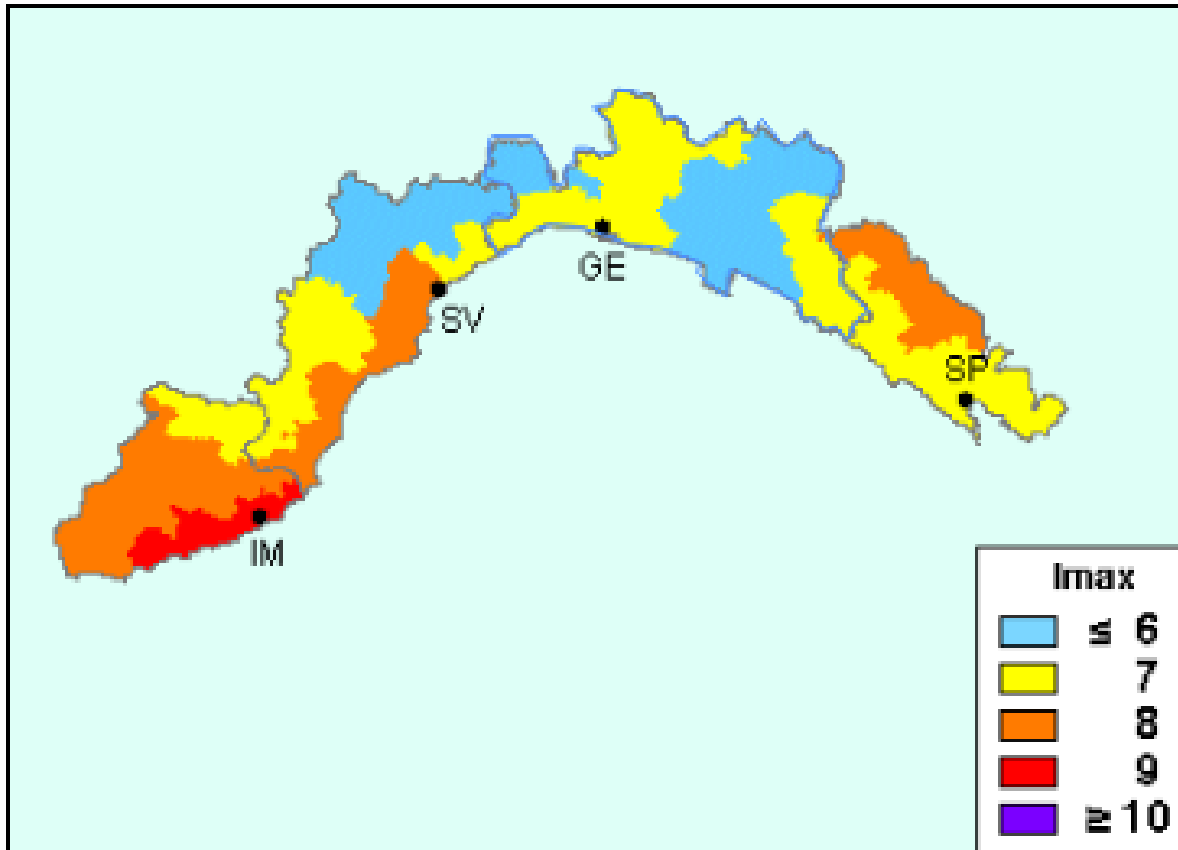


Figura 16 – Massime intensità macrosismiche osservate nella Regione Liguria (carta elaborata da D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise per conto del Dipartimento della Protezione Civile, 1996)

Indicazioni di maggior dettaglio circa l'attività macrosismica del territorio in esame possono trarsi dall'analisi della sismicità storica del medesimo; a tale scopo sono stati consultati i dati contenuti nel Database Macrosismico Italiano (DBMI15) e nel Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani (CPTI15) (Locati et alii, 2016).

Il database fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2020.

Come si può notare dai dati contenuti nel CPTI15, sintetizzati nella figura seguente, la sismicità dell'area in esame può essere considerata medio bassa, sia per quanto riguarda l'attività sismica locale sia per quanto riguarda gli effetti percepiti connessi ad eventi verificatesi a maggiori distanze.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2	1970	12	31	22	04	4	Liguria occidentale	79	6	4.62
4-5	2001	02	06	22	28	4	Mar Ligure	47	4-5	4.17

Figura 17 – Storia sismica del Comune di Quiliano (SV), tratta dal Database Macrosismico Italiano DBM15 (Locati et alii, 2016)

7.2 Aspetti normativi

A seguito dell'emanazione dei criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche da parte dello Stato, inseriti prima nell'allegato 1 dell'O.P.C.M. 3274/2003 e in seguito aggiornati con l'O.P.C.M. 3519/2006, la Regione Liguria ha individuato le zone sismiche e ha stilato un elenco regionale dei comuni in zona sismica (D.G.R n.530/2003).

Attualmente la vigente suddivisione delle zone sismiche in Liguria è definita dalla D.G.R. n.216/2017, con l'aggiornamento dato dalla D.G.R. n.962/2018.

Secondo tale classificazione, il territorio comunale di Mele è ascritto alla zona sismica 3; si tratta quindi di un ambito a pericolosità sismica bassa, che può essere soggetto a scuotimenti modesti.

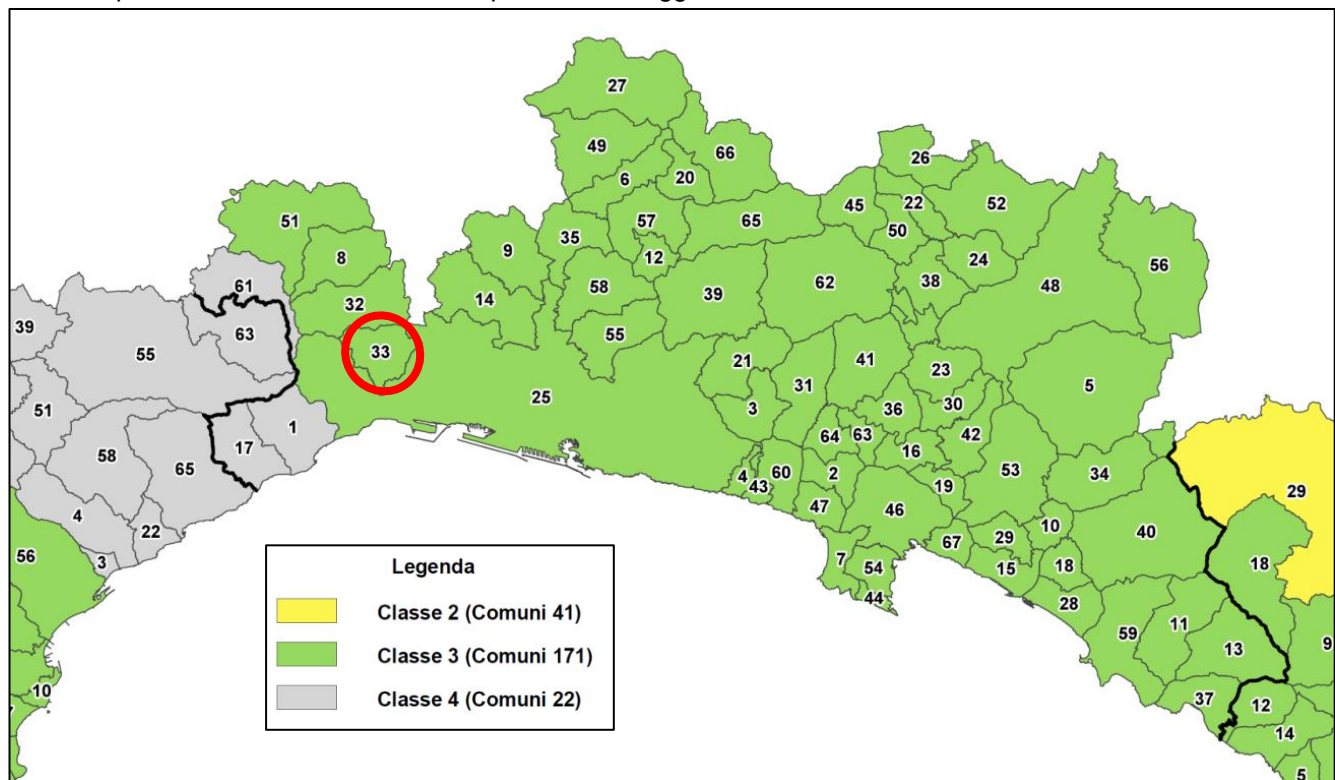


Figura 18 – Stralci dalla mappa dei Comuni della Liguria suddivisi per Zona Sismica. Il cerchio individua il Comune di Mele, ricadente in zona 3.

7.3 Pericolosità sismica di base

In termini di pericolosità sismica di base, riferendosi alle Mappe interattive di PS dell'INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, per il Comune di Mele è possibile dedurre valori di accelerazione sismica su suolo rigido con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi tra 0,050 e 0,075 g.

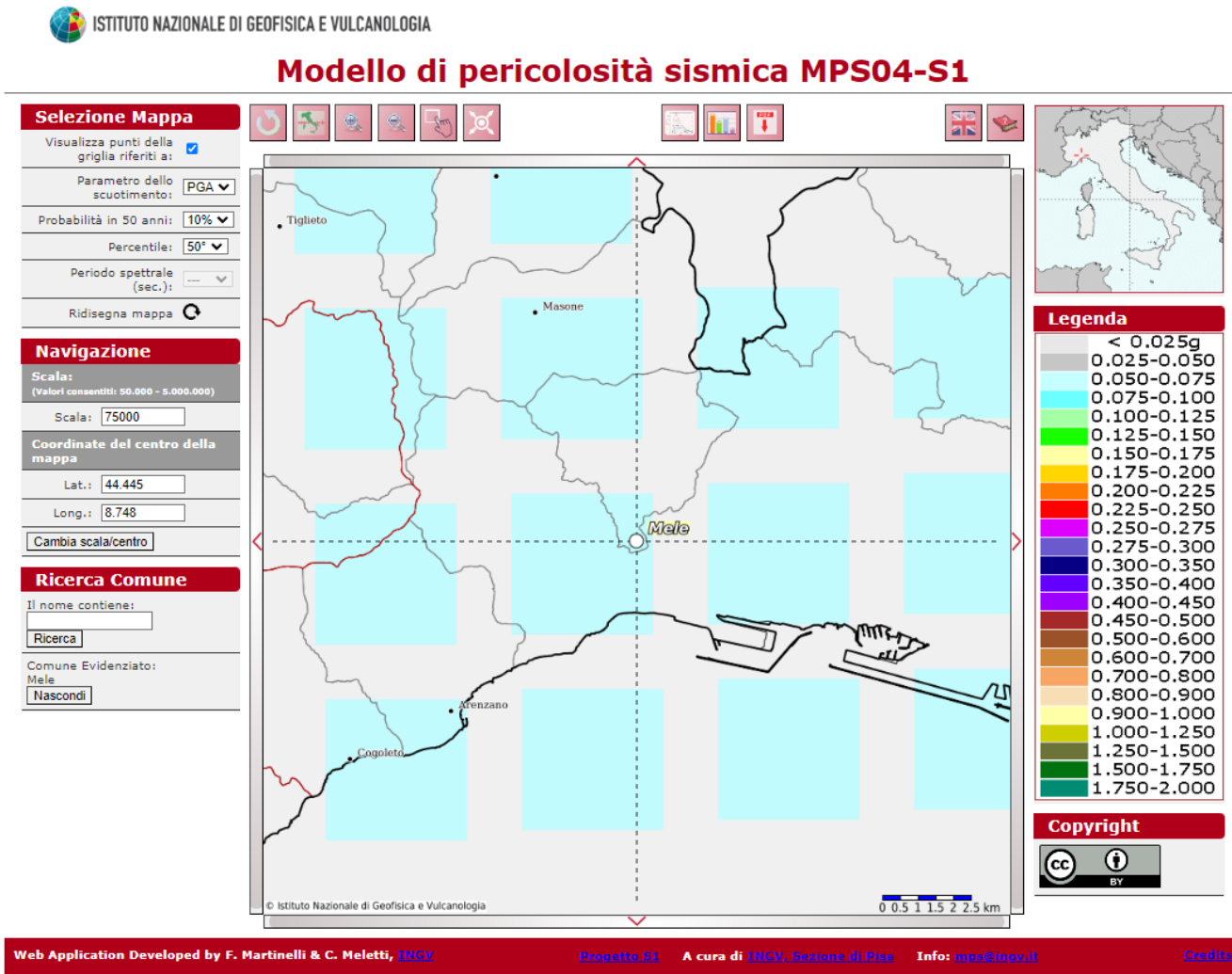


Figura 19 – Estratto della Mappa interattiva di pericolosità sismica (fonte: INGV).

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento” VR e la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” PVR.

Le tabelle dei parametri che definiscono l’azione sismica specifica nei vari siti sono contenute nell’Allegato B al D.M. 17/01/2018 *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*.

Stati limite		PVr: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento Vr
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 1 – Stati limite e PVr.

dove:

- SLO: Stato limite di operatività
- SLD: Stato limite di danno
- SLV: Stato limite di salvaguardia della vita
- SLC: Stato limite ultimo di prevenzione del collasso

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento Pvr, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag: accelerazione orizzontale massima al sito
- Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- Tc*: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, sono stabilite a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione: questa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Sc(T), con riferimento a prefissate possibilità di eccedenza PVr nel periodo di riferimento VR (“Vita di riferimento”).

Il periodo o vita di riferimento VR è dato dal prodotto della vita nominale VN per il coefficiente d’uso CU:

$$V_R = V_N * C_U$$

dove:

- VR = Vita di riferimento,
- VN = Vita Nominale
- CU = Coefficiente d’uso

Secondo indicato all’interno del paragrafo 2.5.1 del Manuale di Progettazione delle opere civili parte II – Sezione 2 Ponti e strutture le opere in progetto ricadono all’interno della categoria “**ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ V**”, con **V_N pari a 75 anni** e nella classe d’uso III con coefficiente d’uso **CU=1.5**.

TIPO DI COSTRUZIONE ⁽¹⁾	Vita Nominale V _N [Anni] ⁽¹⁾
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14.01.2008 A VELOCITÀ CONVENZIONALE (V<250 Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ V<250 Km/h	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ V ≥ 250 km/h	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	≥ 100 ⁽²⁾
(1) – La stessa V _N si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere. (2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di FERROVIE.	

Tab. 2.5.1.1.1-1 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

Tabella 2 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie.

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso ⁽¹⁾	Coefficiente d'uso [CU] ⁽¹⁾
FABBRICATI APPARTENENTI ALL'ELENCO A AI SENSI DEL DPCM 3685/2003	IV	2
GRANDI STAZIONI	IV	2
FABBRICATI APPARTENENTI ALL'ELENCO B AI SENSI DEL DPCM 3685/2003	III	1.5
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA ⁽²⁾	III	1.5
ALTRE OPERE D'ARTE, FABBRICATI NON RIENTRANTI NELLE CLASSI D'USO III E IV	II	1
<p>(1) Qualora una costruzione sia interferente con un'altra infrastruttura di cui all'elenco A del DPCM 3685 del 2003 o all'elenco B del DPCM 3685 del 2003 dovrà essere presa in conto la più alta tra la classe d'uso assegnata alla costruzione attraverso la presente tabella e quella dell'infrastruttura con cui si realizza l'interferenza.</p> <p>(2) Ricadono in classe d'uso IV le opere d'arte nuove ricadenti nelle tratte di nodo di collegamento delle grandi stazioni con il sistema di grande viabilità ferroviaria</p>		

Tabella 3 – Coefficienti d'uso per le infrastrutture ferroviarie.

Il coefficiente d'uso, per la classe III è pari a 1,5 e pertanto:

$$V_R = 75 * 1,5 = 112,5$$

Di seguito sono riportati i parametri sismici di riferimento per l'area di progetto secondo le coordinate:

Lat.: 44.47393

Long: 8.73314

STATO LIMITE	TR	ag	F0	TC
[-]	[anni]	[anni]	[anni]	[s]
SLO	68	0.0311	2.53	0.21
SLD	114	0.0376	2.55	0.24
SLV	1073	0.0826	2.56	0.3
SLC	2203	0.1045	2.56	0.31

Tabella 4 – Parametri ag, Fo e Tc* riferiti ai diversi ai diversi stati limite riferiti alle opere in progetto.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento indicate nelle Tabelle 3.2.II e 3.2.III contenute nel Decreto ministeriale (infrastrutture) 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento norme tecniche per le costruzioni" (indicato nel seguito come D.M. 17/01/2018).

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per le categorie di sottosuolo A, B, C, D, E le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 del D.M. 17/01/2018.

Sulla base delle indagini disponibili è possibile attribuire al settore di versante in oggetto una **categoria di sottosuolo E**.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tabella 5 – Categorie di sottosuolo individuate nel D.M. 17/01/201.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 6 – Espressione del coefficiente S_s e C_c .

In condizioni SLV risulta dunque un coefficiente di amplificazione pari a $S_S=1.6$

Per quanto concerne l'influenza della morfologia sulla risposta sismica locale, si osserva che per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi. Per configurazioni superficiali semplici, come quella del settore oggetto di interventi, si può adottare la classificazione della figura seguente.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 7 – Categorie caratteristiche della superficie topografica.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 8 – Espressione del coefficiente S_T .

Per quanto riguarda le condizioni topografiche si ricade **nella categoria T1 con coefficiente $S_T=1$ per quanto riguarda gli interventi realizzati alla base del versante** (ad es. strutture prefabbricate, opere di sostegno e getti in c.a.) e **localmente nella categoria T4 con coefficiente $S_T=1.4$ per gli interventi realizzati lungo il versante (ad es. rafforzamenti corticali)**.

7.4 Stabilità del sito alla liquefazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad un accumulo di deformazione plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizione non drenate.

L'entità delle deformazioni che subisce il terreno dipende dal grado di addensamento; se la sabbia è sciolta la pressione dei pori aumenterà molto velocemente, se la sabbia è densa le deformazioni avvengono più lentamente e sono associate ad un aumento di volume (dilatanza). Per effetto della dilatazione la pressione interstiziale subisce una caduta ed il terreno riesce a sviluppare una resistenza al taglio sufficiente a sostenere le sollecitazioni indotte dai carichi ciclici.

Nell'ambito della teoria dello stato critico, il comportamento contraente o dilatante del terreno può essere messo in relazione ai parametri di stato iniziali (indice dei vuoti e stato tensionale); pertanto la curva di stato critico separa, per un determinato terreno, stati per i quali il terreno è suscettibile o meno alla liquefazione.

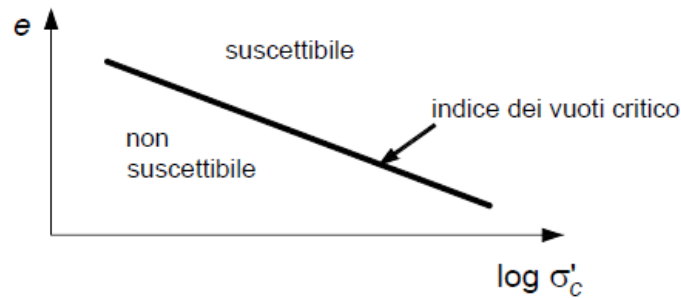
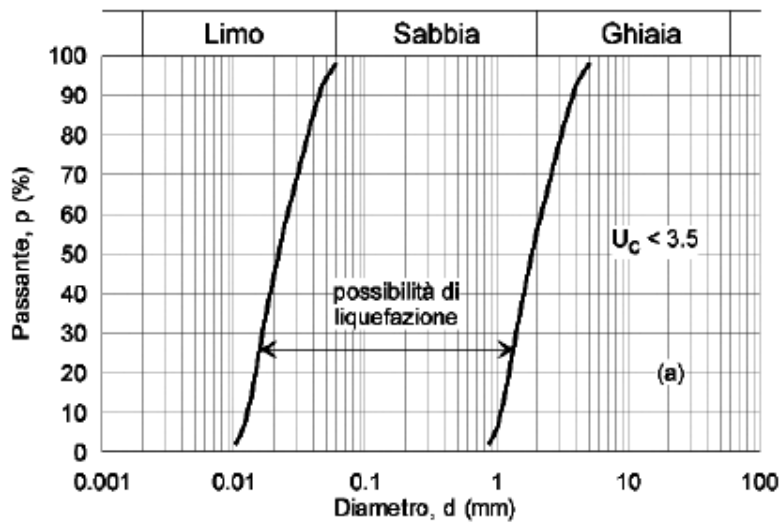


Figura 20 – Suscettibilità alla liquefazione in relazione ai parametri di stato iniziali (modificata da Krmaer, 1996)

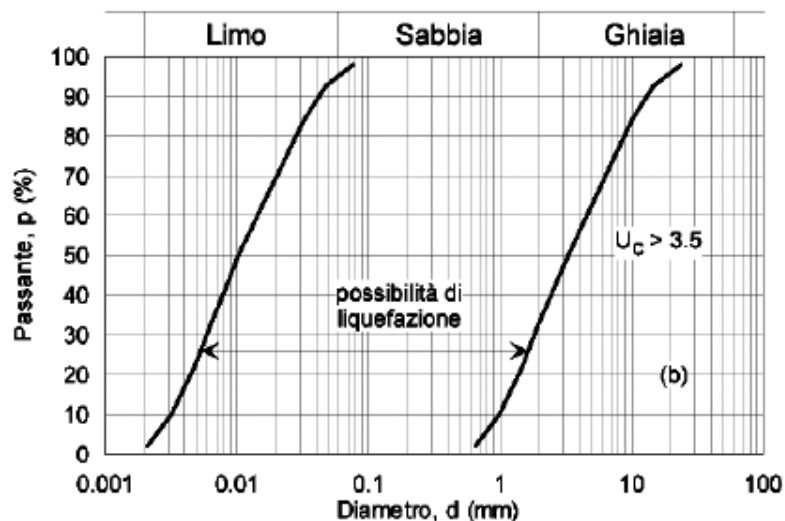
A tale proposito Casagrande afferma che sabbie sciolte con densità relative minori del 40% possono essere soggette a liquefazioni; nelle sabbie fortemente dilatanti, con densità relative maggiori del 70 % è invece normalmente impossibile che le pressioni neutre raggiungano quelle di confinamento, per cui si possono attendere solo assestamenti di lieve entità.

Secondo il D.M. 20/02/2018 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$



a)



b)

Figura 21 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione, tratti dalla Fig. 7.11.1 b) delle NTC/2018.

Nel caso specifico, per quanto riguarda il settore di versante che si sviluppa a monte della galleria artificiale in progetto, ed oggetto degli interventi di consolidamento e rafforzamento corticale, le risultanze delle indagini pregresse individuano la presenza di una coltre detritica, costituente il corpo principale della frana mobilizzatasi nell'anno 2000. Dal punto di vista litologico si tratta di un deposito caotico costituito da una matrice sabbioso limoso argillosa inglobante clasti di dimensioni talora centimetriche.

Nell'ambito dei suddetti depositi le indagini disponibili non consentono di individuare una superficie piezometrica ben definita, quanto piuttosto locali falde sospese, ospitate entro livelli a maggiore permeabilità, correlate a fenomeni precipitativi di rilievo (§5.1). Le risultanze delle misure piezometriche condotte nel periodo antecedente la fase parossistica del fenomeno (anno 2000), indicate negli elaborati progettuali dell'epoca e riportate nell'elaborato "Sezioni geotecniche di progetto", indicano valori di soggiacenza di circa 7,0 m in prossimità dell'opera di contenimento realizzata in condizioni di urgenza (Pz3-2000; Pz4-2000); valori superiori di soggiacenza vengono indicati in corrispondenza della porzione alta del versante.

In merito ai depositi individuati a tali profondità, le prove penetrometriche dinamiche (SPT) condotte in fase di terebrazione dei sondaggi realizzati nel 2001, ed in particolare dei sondaggi denominati “S5-2001” ed “S6-2001” indicano valori del parametro $N_{SPT} > 75$ colpi/30 cm, cui tenendo conto della profondità di prova e della conseguente tensione litostatica sono associabili valori del parametro $N_{1,60} > 70$.

Con riferimento a quanto sin qui esposto, essendo verificata la circostanza 3 di possibilità di esclusione della verifica a liquefazione prevista dalle NTC-18 (7.11.3.4) quest’ultima viene omessa.

Relativamente al settore basale del versante, ove è prevista la realizzazione della galleria artificiale e delle opere alla stessa connesse, il progetto prevede, in presenza di terreni granulari incoerenti scarsamente addensati, la realizzazione di un intervento di consolidamento mediante iniezioni cementizie. Si ritiene in tal senso che qualora necessario l’esecuzione del suddetto intervento di consolidamento inibisca la possibilità di liquefazione dei terreni presenti.