



CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA
DIREZIONE TERRITORIO E MOBILITA'

Servizio Programmazione e Coordinamento Viabilità
Ufficio Lavori Pubblici

C.C. 31/17-PG

SP 226 della Vallescrivia

Lavori di ripristino della carreggiata e consolidamento del corpo stradale a seguito del cedimento delle opere di sostegno di valle dovuto al dissesto di versante al km 10+700 circa in Comune di Montoggio

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOTECNICA

REDATTO DA: Ing. Fabrizio Mansueto	PROGETTISTI: Ing. Fabrizio Mansueto	ALLEGATO	
		3	
		TAVOLA N°	
ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE (in caso di professionista esterno)	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: Ing. Francesca Villa	SCALA	
		DATA	
CONTROLLATO	DATA	AGGIORNATO	DATA
APPROVATO	DATA	AGGIORNATO	DATA

FABRIZIO MANSUETO

Ingegneria Strutturale – Ingegneria Geotecnica – Ingegneria Ambientale – Sicurezza

Committente:

Città Metropolitana di Genova
Direzione Territorio e Mobilità
Servizio Progettazione e Coordinamento Viabilità
Ufficio Lavori Pubblici
Largo F. Cattanei 3
Genova

Intervento:

**PROGETTO ESECUTIVO RELATIVO AGLI INTERVENTI
DI SISTEMAZIONE IDROGEOLOGICA DEL VERSANTE
E DEL PROGETTO DEFINITIVO DELLA PORZIONE DI
INTERVENTI DI COMPETENZA DELLA CITTÀ
METROPOLITANA DI GENOVA SULLA S.P. N. 226
DELLA VALLE SCRIVIA AL KM 10+700 IN COMUNE DI
MONTOGGIO**

Ubicazione:

COMUNE DI MONTOGGIO (GE)

Oggetto della Relazione:

Relazione Geotecnica



Genova, 30 settembre 2021

Prot.: 20359-R03/FM

Indice

1.	Premessa	3
2.	Descrizione delle opere a progetto	3
2.1.	Stato attuale	3
2.2.	Stato di progetto	6
3.	Riferimenti normativi	7
4.	Inquadramento dell'opera	8
4.1.	Inquadramento geografico	8
4.2.	Inquadramento geologico	8
4.2.1.	La Formazione delle Argilliti di Montoggio	8
4.2.2.	La Formazione dei Calcari di Monte Antola	9
4.2.3.	La Formazione dei Conglomerati di Savignone	10
4.3.	Inquadramento geomorfologico	10
4.3.1.1.	Alluvioni fluviali	10
4.3.1.2.	Coltri detritico-colluviali	11
4.3.2.	Inquadramento tettonico	11
4.4.	Inquadramento Idrogeologico	12
4.4.1.1.	Permeabilità	12
5.	Indagini geognostiche eseguite	13
6.	Assetto geologico locale	15
7.	Inquadramento geotecnico	16
7.1.	Stratigrafia di progetto	16
7.1.1.	Strato 1: Materiale di riempimento stradale (R)	16
7.1.1.1.	Superficiale (R1)	17
7.1.1.2.	Profondo (R2)	17
7.1.2.	Strato 2: Coltre detritico-colluviale (CDc)	17
7.1.3.	Strato 3: Cappellaccio di alterazione del substrato roccioso (C)	17
7.1.4.	Strato 4: Substrato roccioso di base (AM)	17
7.2.	Livello di falda	17
7.3.	Caratterizzazione geotecnica di progetto	18
7.3.1.	Principali correlazioni	18
7.3.1.1.	Stato di addensamento	18
7.3.1.2.	Angolo di taglio	19
7.3.2.	Caratterizzazione geotecnica di progetto.	20
7.3.2.1.	Materiale di riempimento stradale superficiale (R1)	20
7.3.2.2.	Materiale di riempimento stradale profondo (R2)	20
7.3.2.3.	Coltre detritico-colluviale (CD)	20
7.3.2.4.	Cappellaccio di alterazione del substrato roccioso (C)	20
7.3.2.5.	Substrato roccioso di base (AM)	20
8.	Aspetti sismici	21
8.1.	Sismicità a scala nazionale	21
8.2.	sismicità a scala regionale	22
8.3.	Sismicità a scala locale	24
9.	Conclusioni	25

1. Premessa

La presente relazione descrive la caratterizzazione dei terreni costituenti il Volume Significativo dell'Intervento, dato dalla somma degli interventi confortativi necessari per la stabilizzazione della porzione di S.P. 226, a partire dalla progressiva km 10+700 e per uno sviluppo di circa 120 m, attualmente interessata ad un cinematismo rototraslazionale del muro di sottoscarpa, nell'ambito della costruzione del Modello Geotecnico del Sottosuolo di riferimento da impiegarsi per lo sviluppo del calcolo delle opere a progetto.

2. Descrizione delle opere a progetto

2.1. Stato attuale

La porzione di S.P. 226 interessata dal cinematismo, ed oggetto degli interventi descritti, è ubicata al km 10+700 poco prima dell'abitato di Montoggio (GE).

La strada, nel punto di interesse, scorre in piano realizzando un percorso curva-rettilineo-curva procedendo in direzione Montoggio ed è sostenuta da un muro in calcestruzzo armato coadiuvato da un ordine di tiranti attivi a trefoli realizzato circa 15-20 anni fa.

Lo stato deformativo riscontrato consiste in una rototraslazione dell'opera di sostegno molto probabilmente connessa al detensionamento di molti tiranti attivi riscontrato dalla perdita di efficacia del sistema boccola-morsetti.

Le seguenti figure mostrano l'ubicazione planimetrica della porzione in oggetto, il quadro fessurativo riscontrato sulla via immediatamente a tergo del muro di sottoscarpa e lo stato rappresentativo delle testate di ancoraggio dei tiranti dal quale si riesce a capire la perdita di efficacia delle boccole.



Figura 1: Ubicazione satellitare dell'area in oggetto.



a)



b)

Figura 2: Tratto di SP interessato (a), particolare del ciglio di trazione (b).



Figura 3: Esempio di tirante defensionato.

Procedendo verso valle, in direzione dell'alveo del torrente, si è riscontrato un livello di ammaloramento molto elevato anche con riferimento alle opere spondali, anch'essi coadiuvati da tiranti attivi, che sfocia in una vistosa rotazione dell'opera.



Figura 4: Stato deformativo riscontrato sull'opera spondale.

2.2. Stato di progetto

Il progetto di stabilizzazione della S.P. 226, nel tratto di 100 m dal km 10+700, prevede il ricorso ad un'opera confortativa costituita da una cortina di 174 micropali verticali di lunghezza pari a 20 m, coadiuvati da 40 tiranti passivi tipo Dywidag, di lunghezza pari a 15 m, tesati ad una forza di 600 kN e con la testa protetta da appositi cappucci di protezione.

I tiranti agiranno su una controparete in calcestruzzo armato opportunamente spinottata al muro di sottoscarpa tramite inghisaggi di barre da calcestruzzo armato.

Al piede del muro di sottoscarpa trova alloggiamento una berlinese di micropali verticali vincolati ad uno zatterone adeguatamente spinottato al muro esistente, tramite inghisaggi di barre da calcestruzzo armato.

Scopo dei micropali e dei tiranti è quello di conferire adeguata rigidità a taglio al terreno, nella porzione di ghiaie, adeguata resistenza alla traslazione orizzontale dell'opera (che si è riconosciuto come meccanismo principale del cinematismo occorso) e ripristinare i Gradi di Sicurezza dell'opera di sostegno.

La scelta di intervenire al piede dell'opera è dettata dalla necessità di cercare di mantenere il più possibile equilibrate le condizioni di stabilità del muro di sottoscarpa (che attualmente è metastabile) evitando, nel contempo, ogni interazione negativa con i tiranti a trefoli che sono installati su di esso.

Infatti, operando dall'alto, e quindi sulla strada, si creerebbero potenziali situazioni di interferenza tra la perforazione dei micropali e l'asse dei tiranti esistenti legate soprattutto alle tolleranze di verticalità della perforazione dei micropali ed alle tolleranze di linearità sull'esecuzione dei tiranti (che non sono note).

Operando al piede, invece, si evitano tutte le interferenze precedentemente evidenziate perché i micropali saranno realizzati al piede dell'opera esistente ed i nuovi tiranti – non più a trefolo ma passivi – saranno tracciati sulla mezzzeria dei tiranti a trefolo proprio per annullare ogni possibile interferenza.

Inoltre, l'esecuzione dei micropali prevede la realizzazione di un rilevato di lavoro che ha non solo valenza nel transitorio (in quanto stabilizza il piede del movimento) ma da una valenza anche in via definitiva perché la riprofilatura di versante concorre al grado di sicurezza.

Quest'opera potrà essere realizzata in due fasi distinte: una, il rilevato, a breve termine, per consentire la realizzazione dei micropali mentre la gabbionata ed il sistema di drenaggio, a medio termine, per la sistemazione del versante.

Completano l'opera una serie di interventi di ingegneria naturalistica individuati in palizzate lungo il pendio e gabbionate per le sistemazioni di sponda.

3. Riferimenti normativi

Nella presente relazione si fa riferimento al quadro normativo ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 ed in particolare ai suoi capitoli 6 e 7.

- D.M. 17 gennaio 2018 - "Norme tecniche per le costruzioni" con la relativa circolare applicativa del 11 febbraio 2019 n. 617 - "Istruzione per l'applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni".

Nei casi in cui le enunciate normative italiane si presentino carenti di informazioni in relazione a particolari studi specifici, si fa riferimento a normative europee e al sistema degli eurocodici, in particolare:

- UNI EN 1990:2006 - EUROCODICE 0 - "Criteri generali di progettazione strutturale" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1997-1:2005 - EUROCODICE 7 parte 1 - "Progettazione geotecnica - Regole generali" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1998-1:2005 - EUROCODICE 8 parte 1 - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1998-2:2011 - EUROCODICE 8 parte 2 - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Ponti" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1998-5:2005 - EUROCODICE 8 parte 5 - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" con il relativo NAD del 25.02.2011.

4. Inquadramento dell'opera

4.1. Inquadramento geografico

La porzione di S.P. 226 interessata dal cinematismo, ed oggetto degli interventi descritti, è ubicata al km 10+700 poco prima dell'abitato di Montoggio (GE), lungo una porzione pianeggiante di Strada Provinciale posta a ridosso di un versante che degrada di circa 25-30 m verso il sottostante Torrente, come rappresentato nella precedente Figura 1.

4.2. Inquadramento geologico

A vasta scala, il territorio in cui è inserito l'asse viario in questione è costituito da tre tipi di formazioni litologiche, riconducibili, secondo la cartografia ufficiale;

- Argilliti di Montoggio;
- Calcari del Monte Antola;
- Conglomerati di Savignone.

Le formazioni sono distribuite arealmente in modo disomogeneo, in quanto è la Formazione dei Calcari ad essere rappresentata per la quasi totalità del territorio e costituisce il substrato precenozoico su cui si è impostata la trasgressione marina oligocenica che ha dato origine al complesso conglomeratico.

Le Argilliti affiorano in maniera discontinua ed in porzioni molto ridotte al nucleo di una complessa struttura a piega antiforme che si estende tra Salata di Mongiardino, Torre e si spinge fino a Crocefieschi, fuori dal territorio comunale.

Il contatto con i calcari del Monte Antola è quindi di origine tettonica, anche se le due unità sono in diretta successione cronologica.

4.2.1. La Formazione delle Argilliti di Montoggio

Questa formazione è costituita da argilliti grigio-scure, molto scagliose, con intercalazioni quarzoso-arenacee.

Nella parte superiore si trovano, talvolta, intercalazioni di argilliti policrome (rosse e verdi) che rappresentano l'orizzonte più caratteristico della Formazione.

Gli affioramenti sono molto ridotti, poiché, a causa della propria composizione mineralogica e petrografica, la formazione è quasi sempre coperta da coltri detritico-colluviali di diverso spessore.

Tuttavia, anche da valutazioni geomorfologiche, alcuni Autori hanno ipotizzato la presenza di lenti argillitiche relativamente estese a monte dell'abitato di Case Fabio e presumibilmente anche ai margini dell'abitato di Salata e di Vobbia,

nonostante l'assenza di un qualsiasi affioramento che ne possa avvalorare la veridicità.

4.2.2. La Formazione dei Calcari di Monte Antola

Formazione che presenta caratteri marcati di natura flyschoidi e che, pertanto, risulta costituita da sequenze di vari litotipi, correlati alla sedimentazione gradata delle correnti turbiditiche.

Alla base delle sequenze si osservano, quindi, arenarie calcaree, in banchi di spessore medio di circa 1 metro, anche se localmente possono raggiungere anche i 2.5 – 3 metri.

Sono molto tenaci, compatte, a frattura concoide e, se non alterate, presentano colore grigio scuro

La parte medio-superiore è rappresentata da marne calcaree e calcari marnosi grigio-chiari o biancastri in superficie, in strati e banchi di spessore molto vario, dai 3 ai 20 cm.

Presentano frattura scheggiata e concoide e costituiscono il litotipo prevalente.

Si osservano, altresì, con frequenza alternanze sia di argilliti marnoso-siltose grigio-scure ad accentuata scistosità e degradate in sottili lamelle scagliose (rappresentanti le zone di giunzione tra i banchi calcarei), sia arenarie fini, rosso brunastre per fenomeni di alterazione superficiale, in straterelli di 3-5 cm, generalmente alla base dei banchi.

I Calcari del Monte Antola rappresentano, come già detto, la facies di maggiore estensione del contesto esaminato.

Affiorano e subaffiorano su quasi tutto il territorio e sono ricoperti da una debole-media coltre eluviale su tutta l'area: assumono giaciture alquanto varie, sia in zone ristrette che in aree in grande scala.

Come già anticipato, la parte calcarea-calcarenitica della Formazione è caratterizzata da una buona compattezza.

Gli strati calcarei presentano ripiegamenti dovuti a reazioni diverse alle sollecitazioni tettoniche.

Si avranno in questo modo comportamenti di tipo plastico, accompagnati da brecciazioni e ridotte fratturazioni e comportamenti di tipo rigido, evidenziati da fratturazioni prevalentemente ortogonali alla direzione di strato e da fenomeni di scivolamento delle parti più rigide su quelle più argillose e quindi più plastiche.

La parte marnoso-argillitica della Formazione è caratterizzata da una apparente compattezza, ma, sottoposta all'azione degli agenti atmosferici, si

squama in listarelle ondulate, taglienti alla rottura, risulta, quindi, dotata di fittissima scistosità ed è divisibile in lastre sottilissime.

Anche questa parte di Formazione ha reagito in maniera plastica alle sollecitazioni tettoniche, mostrando una fitta ripiegatura degli strati ed una fortissima scagliettatura.

La componente argillosa, che è predominante in questa facies, rappresenta lo strato di scollamento e scivolamento per le sovrastanti bancate calcaree, che con il loro movimento causano fenomeni franosi di diversa scala.

4.2.3. La Formazione dei Conglomerati di Savignone

Questa formazione è presente con affioramenti molto estesi solamente nella parte occidentale del territorio in esame e, precisamente, sulla destra orografica del Torrente Vobbia, sulle pendici del M. Cravì e nella zona del Castello della Pietra.

E' costituita da conglomerati grossolani, poligenici, a prevalente colorazione nocciola e grigiastra; i ciottoli sono di dimensioni variabili, mediamente intorno ai 20 cm, a prevalente composizione calcareo-marnosa e arenaceo-calcareo.

La matrice è abbondante e di composizione analoga a quella della frazione litoide. Localmente è possibile riscontrare la presenza di sottili lenti siltoso-argillose e marne grigio-verdastre.

La formazione poggia in discordanza sul substrato preoligocenico e il contatto con i calcari marnosi è marcato da una netta variazione della morfologia dei versanti.

4.3. *Inquadramento geomorfologico*

L'aspetto geomorfologico dell'area nel suo complesso è legato alle variazioni litologiche viste in precedenza.

In seguito a queste ultime infatti, si originano settori aventi diverso grado di compattezza e differenti caratteristiche meccaniche.

Profonda influenza morfologica ha la fascia dei Calcari del Monte Antola i quali costituiscono rilievi che raggiungono altezze di 1000 m, separati l'uno dall'altro da vallecole incise da torrenti prevalentemente in erosione accelerata.

La valle principale ha un aspetto aperto, con pendii piuttosto ripidi, ma caratterizzati da morfologia discretamente dolce, senza picchi isolati mentre le valli secondarie presentano spesso una marcata asimmetria, dovuta alla disposizione a monoclinale degli strati.

4.3.1.1. Alluvioni fluviali

In questa classe sono state distinte, ove possibile, le alluvioni antiche e recenti terrazzate da quelle dell'alveo attuale.

Le alluvioni dell'alveo attuale sono presenti lungo le aste principali rappresentandone l'alveo attivo la cui profondità di incisione, addirittura, supera la larghezza dell'alveo, creando forre e meandri incassati.

Questo tipo di alluvioni è costituito generalmente da ciottoli grossolani ed eterometrici con abbondante matrice sabbiosa e frazione limosa molto variabile a seconda delle località.

Le alluvioni antiche e recenti si presentano generalmente costituite da materiale calcareo di dimensioni tra la sabbia ed il ciottolo e da una matrice sabbiosa limosa poco coerente.

4.3.1.2. Coltri detritico-colluviali

La natura delle coltri è prevalentemente di tipo eluviale, data la componente argillosa sia predominante.

Lo spessore esiguo è non determinante ai fini della evoluzione morfologica dei versanti.

4.3.2. Inquadramento tettonico

Nell'area rilevata sono evidenti i risultati dell'azione di una tettonica piuttosto complessa, con una risposta geomeccanica diversa a seconda del differente grado di plasticità dei vari litotipi.

Il motivo tettonico di maggior rilevanza è costituito da una grande piega antiforme, che presenta asse a direzione circa NNESSW ed immersione verso nord, individuato dalle giaciture degli strati calcareo-marnosi e dall'affioramento discontinuo al nucleo delle Argilliti di Montoggio.

Altri fenomeni di ripiegamenti a diversa scala sono testimoniati dalla dispersione delle giaciture e dalla presenza di pieghe a piccola scala nei litotipi che presentano caratteristiche di maggiore plasticità.

Essenzialmente si possono definire due lineazioni (di tipo faglia diretta) che sono congruenti con le tipiche direzioni regionali; quasi costantemente si ritrova anche un sistema di fratturazione perpendicolare alla stratificazione, che delimita dei blocchi prismatici di dimensioni variabili in condizioni limite di equilibrio o in fase di avanzato dissesto.

Conseguentemente il reticolo idrografico risulta impostato secondo questa situazione ed in modo molto evidente si adegua ad essa.

I Conglomerati, come già detto in precedenza, sono disposti in discordanza angolare marcata rispetto al substrato già ripiegato, indicando una rapida trasgressione.

Sono caratterizzati da deboli immersioni della stratificazione mediamente verso sud-ovest.

Il comportamento complessivamente rigido della formazione è messo in risalto dalla intensa fratturazione e fessurazione della roccia, che determina in alcune zone grosse cavità di frattura.

4.4. *Inquadramento Idrogeologico*

Il comportamento idrogeologico dei terreni presenti nell'area in esame è significativamente influenzato dai caratteri litologici e soprattutto strutturali strettamente locali.

4.4.1.1. Permeabilità

In linea generale si può definire il tipo e il grado di permeabilità per le varie formazioni affioranti.

In particolare:

- a) I Conglomerati di Savignone possiedono un grado elevato di permeabilità per fessurazione, variabile in funzione della densità delle discontinuità e della presenza di intercalazioni marnoso-argillose, che creano zone a minore permeabilità ad andamento planare.

Questa disomogeneità di permeabilità, oltre ad influire sul drenaggio delle acque, è responsabile dei numerosi fenomeni di dissesto già citati in precedenza.

- b) I Calcari del Monte Antola possiedono una media permeabilità per fratturazione, lasciandosi attraversare dall'acqua di percolazione.

Il grado è influenzato sia dalla frequenza delle fratture e delle discontinuità, sia dalla loro posizione reciproca e rispetto al pendio. L'eventuale presenza di intercalazioni a maggiore contenuto argilloso ne riduce automaticamente il grado.

- c) Le Argilliti, per la loro stessa natura mineralogica, presentano una permeabilità molto bassa; si possono definire da impermeabili a localmente permeabili per fratturazione.

A causa della limitatezza delle zone di affioramento, si potrebbero definire trascurabili, in realtà esse costituiscono un substrato praticamente impermeabile su cui poggiano i calcari

Il materasso alluvionale viene, invece, rappresentato come "permeabile per filtrazione", in relazione alla composizione sempre grossolana.

Le acque vanno poi ad alimentare le falde sotterranee che si trovano nelle vicinanze dei corsi d'acqua principali. Le coltri detritiche, comprese le aree interessate da dissesti attivi, quiescenti o stabilizzati, che, come visto in precedenza, possiedono una parte di frazione lapidea presentano una diversa permeabilità per porosità, a seconda della formazione da cui derivano e su cui poggiano.

In particolare:

- a) le coltri sui conglomerati presentano un grado di permeabilità da medio ad elevato;
- b) le coltri che interessano la più vasta zona dei calcari un grado medio;
- c) infine, le poche coltri che interessano le argilliti possiedono una permeabilità da scarsa a media, in relazione alla diversa percentuale di frazione argillosa.

La circolazione idrica superficiale e sotterranea è un elemento di primaria importanza per quanto riguarda l'innescò e l'evoluzione della maggior parte dei fenomeni di dissesto ed in particolar modo per i movimenti di massa nelle coltri detritiche.

L'acqua di impregnazione delle coltri, infatti, tende a permeare entro i manti detritici eluviali tanto più a lungo quanto più questi sono argillificati, sino a produrre una degenerazione dei clasti che li compongono, dando luogo a zone di fluidificazione e conseguente mobilitazione lungo i pendii.

Le coltri che giacciono sugli strati calcareo-marnosi, avendo una frazione lapidea prevalente rispetto a quella argillosa, presentano una situazione diversa.

Queste coltri, infatti, possiedono buone caratteristiche filtranti, sempre per porosità, e si presentano, in alcuni casi, come accumuli stabilizzati.

5. Indagini geognostiche eseguite

Nel tratto interessato dal cinematismo è stata eseguita un'estesa campagna di indagine geognostica caratterizzata dalle seguenti prove in sito e di laboratorio.

- Tre sondaggi geognostici a carotaggio continuo e recupero integrale del materiale, di profondità comprese tra 30 m (per due sondaggi) e 40 m (per un sondaggio);
- Una prospezione georadar per la ricerca e verifica dei sottoservizi, necessari per il cesimento e la risoluzione delle interferenze;
- 19 prove SPT in foro di sondaggio, eseguite nelle coltri, con recupero di materiale dalla punta aperta laddove possibile;
- 16 prove di laboratorio terre (granulometrie, P200 e prove triassiali);
- 6 prove di laboratorio rocce (misura Is);
- Prove di caratterizzazione ambientale;
- 10 misure dei microtremiti sismici mediante metodo HVSR;

- Una prova MASW in asse alla SP226.

La figura seguente mostra l'ubicazione in pianta delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite.

In nero è rappresentata la quota di reperimento del substrato roccioso di base.

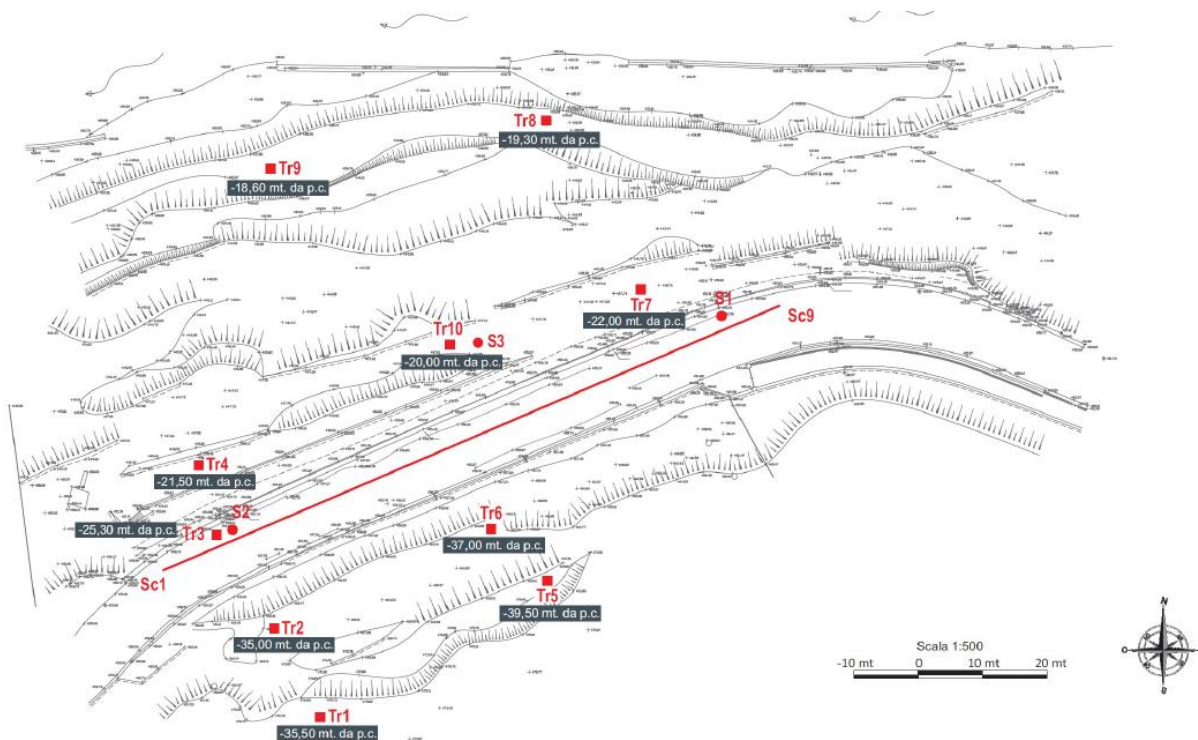


Figura 5: Ubicazione delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite.

6. Assetto geologico locale

A livello locale è quindi stata riscontrata la seguente successione stratigrafica, partendo dall'alto verso il basso.

1. Materiale di riempimento stradale (R)

Esso è stato reperito solo nei sondaggi eseguiti sulla piattaforma stradale (S1 ed S2), ed è caratterizzato da una ghiaia eterometrica moderatamente addensata suddivisibile, per granulometria, in due sottogruppi:

- Superficiale (R1)

Di potenza compresa tra 1.85 m e 2.15 m, individuante il sottofondo stradale vero e proprio, costituito da ghiaia eterometrica moderatamente addensata.

- Profondo (R2)

Di potenza compresa tra 2.20 m e 6.60 m, individuante il riempimento del muro di sottoscarpa, costituito da ghiaia eterometrica moderatamente addensata, ciottolosa e debolmente limosa.

2. Coltre detritico-colluviale (CDc)

Essa è costituita da ghiaia eterometrica sabbioso limosa localmente ciottolosa, addensata, di colore marrone-beige.

La potenza dello strato varia tra 14 m (S3) e 23 m (S1).

3. Cappellaccio di alterazione del substrato roccioso (C)

Rappresenta la parte destrutturata del substrato roccioso argillitico di base.

La potenza media dello strato varia da 4.5 m (S3) e 5.5 m (S1) mentre non è stato chiaramente reperito nel sondaggio S2.

4. Substrato roccioso di base (AM)

Costituito dalla Formazione delle Argilliti di Montoggio è risultato fratturato, con discontinuità ravvicinate e superfici di discontinuità lisce aventi inclinazioni comprese tra 20° e 40°.

Le percentuali di recupero hanno mostrato una variabilità di RQD compresa tra 20% e 80%.

Il valore della resistenza a compressione monoassiale UCS risulta compreso tra 1 MPa e 85 MPa con media attestata intorno ai 20 MPa.

5. Posizione della falda

La falda è stata riscontrata a circa 20 m dal piano viario, all'interno della coltre, circa 2-4 m al di sopra del cappellaccio di alterazione.

Solamente il sondaggio S2 ha mostrato il reperimento della falda a quote inferiori, circa 29 m.

7. Inquadramento geotecnico

Nei paragrafi seguenti è riportata la sintesi della caratterizzazione geotecnica di dettaglio, eseguita con riferimento alle indagini geologiche.

Sono state individuate le unità stratigrafiche principali, che mostrano una sequenza di 2 strati superficiali, del cappellaccio di alterazione del substrato roccioso e del substrato roccioso vero e proprio.

La differenziazione dei due strati superficiali riguarda essenzialmente il materiale posto a tergo dell'attuale muro di sottoscarpa, che costituisce il riempimento stradale, e la coltre naturale (superficiale o profonda) che caratterizza il versante nel suo complesso.

7.1. Stratigrafia di progetto

Le indagini eseguite hanno permesso la ricostruzione di dettaglio dell'assetto stratigrafico; in particolare le prove geofisiche eseguite in prossimità dei sondaggi geotecnici hanno permesso una taratura precisa dei dati geofisici ed incrementare la risoluzione dei dati ottenuti.

In questa maniera è stato possibile ottenere una mappa precisa della posizione dell'estradosso del substrato roccioso che, in asse alla porzione di SP226 interessata si attesta da circa 25 m a circa 34 m al di sotto del piano viario.

La quota più elevata è stata reperita in corrispondenza del sondaggio S2 mentre la quota più profonda in corrispondenza del sondaggio S3.

Appare quindi un assetto dell'estradosso del substrato roccioso congruente con il contesto topografico rilevato, ossia caratterizzato da due componenti di pendenza la cui direzione combinata è N-S, verso il Torrente..

A livello locale è quindi stata riscontrata la seguente successione stratigrafica, partendo dall'alto verso il basso.

7.1.1. Strato 1: Materiale di riempimento stradale (R)

Esso è stato reperito solo nei sondaggi eseguiti sulla piattaforma stradale (S1 ed S2), ed è caratterizzato da una ghiaia eterometrica moderatamente addensata suddivisibile, per granulometria, in due sottogruppi:

7.1.1.1. Superficiale (R1)

Di potenza compresa tra 1.85 m e 2.15 m, individuante il sottofondo stradale vero e proprio, costituito da ghiaia eterometrica moderatamente addensata.

7.1.1.2. Profondo (R2)

Di potenza compresa tra 2.20 m e 6.60 m, individuante il riempimento del muro di sottoscarpa, costituito da ghiaia eterometrica moderatamente addensata, ciottolosa e debolmente limosa.

7.1.2. Strato 2: Coltre detritico-colluviale (CDc)

Esso è costituito da ghiaia eterometrica sabbioso limosa localmente ciottolosa, addensata, di colore marrone-beige.

La potenza dello strato varia tra 14 m (S3) e 23 m (S1).

7.1.3. Strato 3: Cappellaccio di alterazione del substrato roccioso (C)

Rappresenta la parte destrutturata del substrato roccioso argillitico di base.

La potenza media dello strato varia da 4.5 m (S3) e 5.5 m (S1) mentre non è stato chiaramente reperito nel sondaggio S2.

7.1.4. Strato 4: Substrato roccioso di base (AM)

Costituito dalla Formazione delle Argilliti di Montoggio è risultato fratturato, con discontinuità ravvicinate e superfici di discontinuità lisce aventi inclinazioni comprese tra 20° e 40°.

Le percentuali di recupero hanno mostrato una variabilità di RQD compresa tra 20% e 80%.

Il valore della resistenza a compressione monoassiale UCS risulta compreso tra 1 MPa e 85 MPa con media attestata intorno ai 20 MPa.

7.2. *Livello di falda*

La falda è stata riscontrata a circa 20 m dal piano viario, all'interno della coltre, circa 2-4 m al di sopra del cappellaccio di alterazione.

Solamente il sondaggio S2 ha mostrato il reperimento della falda a quote inferiori, circa 29 m.

7.3. Caratterizzazione geotecnica di progetto

7.3.1. Principali correlazioni

7.3.1.1. Stato di addensamento

Per un materiale incoerente la densità relativa è definita come:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}},$$

dove:

- e_0 = l'indice dei vuoti del materiale allo stato naturale;
 e_{\max} = l'indice dei vuoti massimo del materiale (sciolto);
 e_{\min} = l'indice dei vuoti minimo del materiale (addensato).

La valutazione della densità relativa è stata fatta secondo le correlazioni da letteratura tecnica a partire dal valore di N_{spt} misurato in foro di sondaggio.

Di seguito si presentano le correlazioni utilizzate ed il relativo ambito di validità.

Autore	Correlazione
Gibbs e Holtz (1957)	$D_R = 1.5 \cdot \left(\frac{N_{\text{spt}}}{F} \right)^{0.222} - 0.6$ $F = 0.65 \cdot \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^2 + 16.8 \cdot \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right) + 14$
Meyerhof (1957)	$D_R = 0.21 \cdot \frac{\sqrt{N_{\text{spt}}}}{\sqrt{\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} + 0.7}}$
Bazaara (1967)	$D_R = \sqrt{\frac{N_{\text{spt}}}{20 \cdot \left(a + b \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)}}$ $\text{con} \begin{cases} a = 1; b = 4.1 & \text{per } \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \leq 0.732 \\ a = 3.24; b = 1.024 & \text{per } \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} > 0.732 \end{cases}$
Skempton (1986)	$D_R = \sqrt{\frac{C_N \cdot N_{\text{spt}}}{60}}$ $\text{con} \begin{cases} a = 1; b = 4.1 & \text{per } \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \leq 0.732 \\ a = 3.24; b = 1.024 & \text{per } \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} > 0.732 \end{cases}$
Yoshida & Kokusho (1988)	$D_R = 0.22 \cdot N_{\text{spt}}^{0.57} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{-0.14} \quad \text{per sabbia fine}$ $D_R = 0.18 \cdot N_{\text{spt}}^{0.57} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{-0.14} \quad \text{per sabbia 75\%, ghiaia 25\%}$ $D_R = 0.25 \cdot N_{\text{spt}}^{0.44} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{-0.13} \quad \text{per sabbia 50\%, ghiaia 50\%}$ $D_R = 0.25 \cdot N_{\text{spt}}^{0.46} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{-0.12} \quad \text{per tutti i terreni granulari}$

7.3.1.2. Angolo di taglio

Per la determinazione del valore dell'angolo d'attrito efficace nei terreni granulari si è proceduto come di seguito:

- Metodologia diretta basata sul valore di N_{SPT} misurata nel foro di sondaggio, secondo le seguenti formulazioni:

- Peck, Hanson & Thornburn (1974) approssimata con l'equazione di Wolff (1989):

$$\phi'[\circ] = 27.1 + 0.3 \cdot C_N \cdot N_{SPT} - 0.00054 \cdot (C_N \cdot N_{SPT})^2$$

$$C_N = \begin{cases} \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}} & \text{per sabbie fini} \\ \frac{3}{2 + \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}} & \text{per sabbie grosse} \end{cases}$$

- De Mello (1971):

$$\phi' = 19 - 0.38 \cdot \sigma'_{v0} + 8.73 \cdot \log(N_{SPT})$$

- Metodologia diretta a partire dalle risultanze della prova pressiometrica.
- Metodologia indiretta a partire dal valore di densità relativa, secondo le seguenti formulazioni:

- Schmertmann (1977)

$$\phi'[\circ] = 28 + 0.14 \cdot D_R \text{ per Sabbia fine uniforme}$$

$$\phi'[\circ] = 31.5 + 0.115 \cdot D_R \text{ per Sabbia media uniforme e sabbia fine ben gradata}$$

$$\phi'[\circ] = 34.5 + 0.10 \cdot D_R \text{ per Sabbia grossa uniforme e sabbia ben gradata}$$

$$\phi'[\circ] = 38 + 0.08 \cdot D_R \text{ per Ghiaia media e fine e sabbia e ghiaia poco limosa}$$

- Correlazione da Eurocodice 7 per sabbie silicee

D_R	Grana Fine	Grana Media
[%]	Ben gradata	Ben Gradata
40	36	38
60	38	41
80	41	43
100	43	44

7.3.2. Caratterizzazione geotecnica di progetto.

Dal punto di vista geotecnico è stato possibile attribuire ai terreni caratterizzanti il Volume Significativo i seguenti parametri, arrivando a definire il Modello Geotecnico del Sottosuolo di riferimento per il lavoro.

7.3.2.1. Materiale di riempimento stradale superficiale (R1)

- Peso di volume: 19.50 kN/m³
- Angolo di taglio: 30°
- Coesione drenata: 0
- Modulo di Young: 30 MPa

7.3.2.2. Materiale di riempimento stradale profondo (R2)

- Peso di volume: 20.00 kN/m³
- Angolo di taglio: 28°
- Coesione drenata: 0
- Modulo di Young: 40 MPa

7.3.2.3. Coltre detritico-colluviale (CD)

- Peso di volume: 20.00 kN/m³
- Angolo di taglio: 28°
- Coesione drenata: 0
- Modulo di Young: 45 MPa

7.3.2.4. Cappellaccio di alterazione del substrato roccioso (C)

- Peso di volume: 24.00 kN/m³
- Angolo di taglio: 25°
- Coesione drenata: 10 kPa
- Modulo di Young: 56 MPa

7.3.2.5. Substrato roccioso di base (AM)

- Peso di volume: 26.00 kN/m³
- Classe geomeccanica (Bieniawsky): III

- Angolo di taglio: 25°
- Coesione: 200 kPa
- Modulo di Young: 5.6 GPa

8. Aspetti sismici

8.1. Sismicità a scala nazionale

Sono adesso affrontati gli aspetti di dinamica dei terreni che costituiscono il Volume Significativo dell'area in esame, con particolare riferimento all'azione sismica attesa.

La tettonica italiana è controllata dal movimento relativo delle piastre Eurasiatica ed Africana, organizzate in varie sottopiasstre, formatesi durante le subduzioni e le collisioni delle cinture Alpina ed Appenninica (Dercourt et al., 1986; Malinverno and Ryan, 1986; Doglioni et al., 1994; Patacca et al., 1990); ad oggi la convergenza fra queste due piastre è accompagnata da un complesso campo deformativo dei sistemi Alpino ed Appenninico.

L'area in esame si trova nella porzione nord occidentale della sottopiastra denominata "arco nord appenninico", caratterizzata da sforzi di compressione dovuti al moto delle sottopiasstre mediterranea, sardo-corsa e adriatica verso la piastra nord appenninica; la figura seguente mostra un tipico esempio di moto in atto.

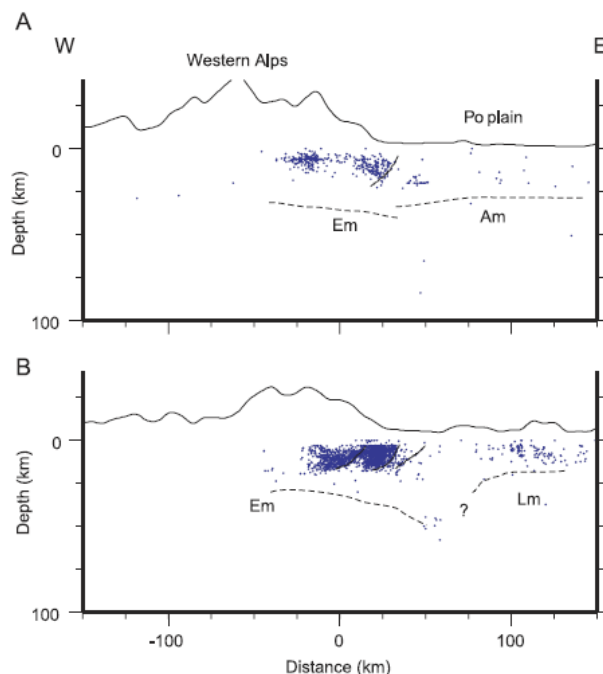


Figura 6. Movimento delle piastre – sezione tettonica sul mar Ligure con indicati in blu gli ipocentri dei sismi registrati.

La figura seguente mostra, in maniera sintetica, le direzioni di movimento delle sotto piastre precedentemente identificate.

Le frecce rappresentano la direzione ed il verso degli spostamenti rilevati mediante stazioni GPS appositamente tarate per scopi geodetico-tettonici.

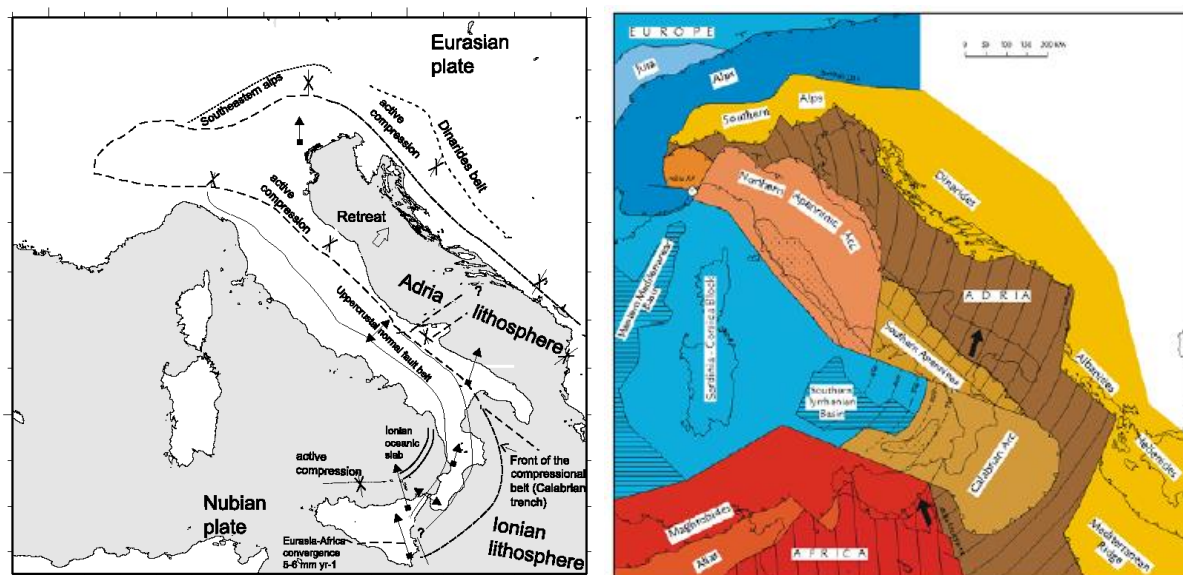


Figura 7. Schema tettonico con indicazione delle direzioni cinematiche.

Come si osserva tutta la penisola italiana tende a muoversi in direzione della ex Jugoslavia con un moto di rototraslazione con cerniera nella regione del Friuli Venezia Giulia

8.2. sismicità a scala regionale

Dal catalogo delle sorgenti sismogenetiche italiane (Database of Individual Seismogenic Sources, DISS Version 3.2.0; <http://diss.rm.ingv.it/diss/> dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), l'area di studio non ricade all'interno di strutture sismogenetiche singole (ISS) o composite (CSS) a (DISS Working Group, 2015).

In base alla mappa di inquadramento sotto riportata si evidenzia che la struttura sismogenetica più prossima all'area di studio si sviluppa a mare, ad almeno 10 km a largo della città di Savona, ed è la CSS classificata come ITCS022 "Imperia Promontory".

Tale struttura consiste di un sistema di faglie inverse, orientate NE-SW, e immergenti a N, che si sviluppano pochi chilometri a mare della linea di costa della Liguria Occidentale e Costa Azzurra, a profondità comprese tra i 2,5 e 15 km.

^a ISS = Individual Seismogenic Source; CSS = Composite Seismogenic Source.

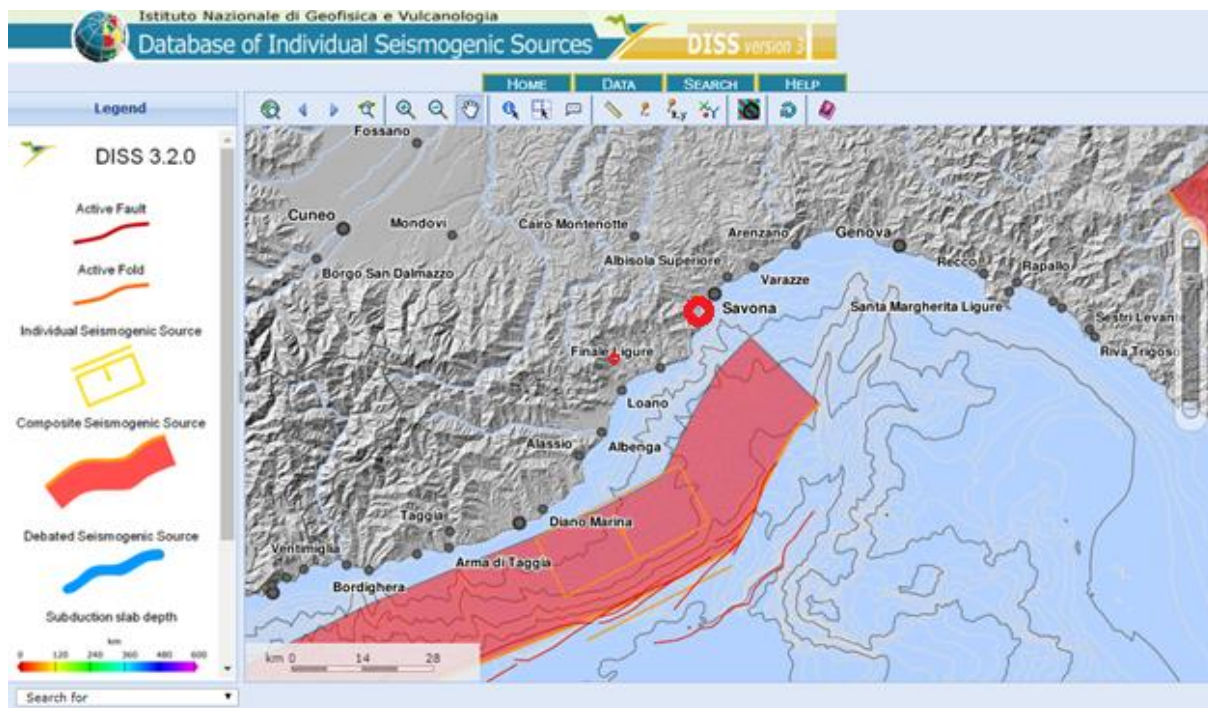


Figura 8: Mappa delle Sorgenti Sismogenetiche nell'intorno della Liguria (Diss Working Group, 2015).

Riguardo l'aspetto tettonico, l'elenco delle faglie attive e capaci del catalogo del Progetto Ithaca in continuo aggiornamento da parte di SGI - ISPRA non riporta nell'area di studio ed in Provincia di Savona e Vado Ligure l'esistenza di faglie capaci.

Come 'faglia capace' si indica il caso di faglia in grado di dislocare e/o deformare la superficie topografica, in occasione di eventi sismici di magnitudo, in genere, medio-elevata.

La mappa della sismicità dei terremoti registrati strumentalmente dal 1985 estratta dal Catalogo INGV 'Iside' ("Italian Seismic Instrumental and parametric Database", INGV, 2016) (Figura 4.2) non evidenzia una particolare sismicità nell'area di Savona-Vado Ligure.

I terremoti storici più prossimi all'area di progetto sono di Magnitudo pari a 2.0 o inferiore.

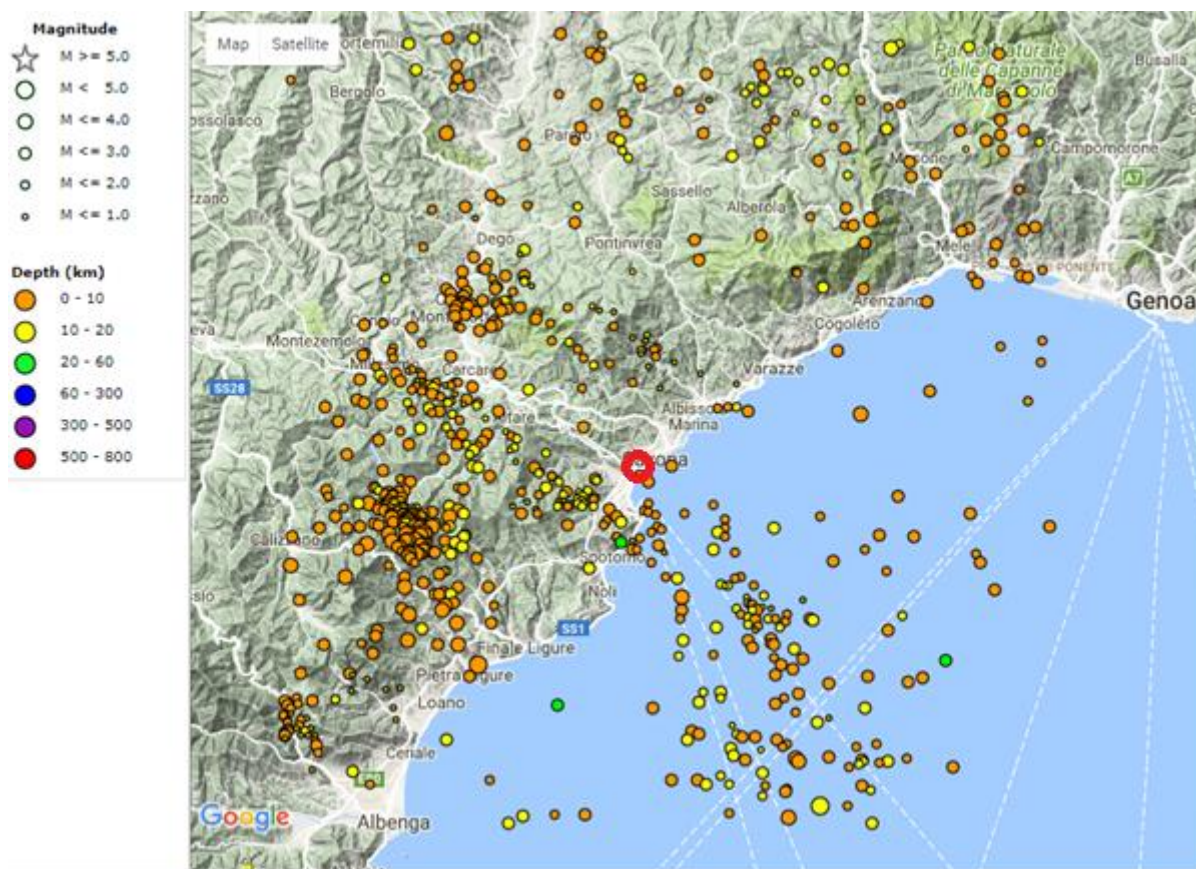


Figura 9: Magnitudo e Profondità dei Terremoti in un Raggio pari a 30 km da Savona, estratti dal database Iside (INGV)

8.3. Sismicità a scala locale

Riguardo la pericolosità sismica, l'area di progetto, sulla base dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519/2006, è caratterizzata da pericolosità sismica bassa, con valori di accelerazione (a_g) tra 0.05 e 0.075 g espressi con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferiti al substrato rigido caratterizzato da $V_s > 800 \text{ m/s}$

Tali valori di a_g permettono di classificare il Comune di Montoggio in Zona Sismica 3 ($0.05 < a_g \leq 0.15$).

Per la classificazione dei suoli in relazione all'azione sismica, la normativa nazionale vigente delle norme tecniche di costruzione NTC18, fa riferimento al valore di 'Velocità S equivalente' derivato da valori della velocità di propagazione delle onde V_s misurati nei primi 30 m attraverso specifiche prove eseguite durante la campagna di indagine geognostica.

La tabella seguente mostra la sintesi delle prove eseguite.

Prova	Vs eq (m/s)	Categoria sottosuolo
TR01	320	C
TR02	330	C
TR03	362	E
TR04	383	B
TR05	334	C
TR06	329	C
TR07	428	B
TR08	419	B
TR09	435	B
TR10	396	B
MASW	471	B

Tabella 1: Determinazione della categoria di sottosuolo ai fini sismici

Il valore di 'Velocità S equivalente' $V_{s,eq}$ medio su tutte le prove è pari a 382 m/s e permette di associare i terreni dell'area in sito alla Categoria C dei terreni: 'Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti 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".

9. Conclusioni

Il lavoro ha riguardato la caratterizzazione meccanica e di stato dei terreni e delle rocce che costituiscono il Volume Significativo dell'intervento di realizzazione delle opere confortative necessarie per la stabilizzazione della porzione di S.P. 226, a partire dalla progressiva km 10+700.

Sono stati analizzati tutti i dati provenienti dalla campagna d'indagine geotecnica, messa a punto specificatamente per l'intervento, ottenendo i valori di progetto delle caratteristiche cercate.

I dati esposti nel presente documento costituiscono la sintesi delle informazioni ad oggi disponibili e formano una base adeguata per le esigenze del presente progetto definitivo.