



Autostrada dei Fiori

Tronco A10: Savona – Ventimiglia (confine francese)

NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE

CARREGGIATA SUD / CARREGGIATA NORD
Progr. Km 47+545

PROGETTO DEFINITIVO

GEOLOGIA E GEOTECNICA

Relazione di caratterizzazione geotecnica-sismica dei terreni

PROGETTISTA	RESPONSABILE INTEGRAZIONE ATTIVITÀ SPECIALISTICHE	IMPRESA	COMMITTENTE
Dott. Geol. Maurizio CONTE Albo dei Geologi delle Marche N° 409 Sez. A	Dott. Ing. Enrico GHISLANDI Ordine degli Ingegneri Provincia di Milano n° 16993		Autostrada dei Fiori S.p.A. Via della Repubblica, 46 18100 Imperia (IM)
			

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.	RIESAME	DATA GENNAIO 2020	SCALA -
							N. Progr.	
C	Marzo 2021	Recepimento prescrizioni C.S.LL.PP. parere n°58/2020 - Adunanza del 19/11/2020	SINA	DT/OC	DT	DT		
B	Febbraio 2020	REVISIONE INTERNA	SINA	DT/OC	DT	DT		
A	Gennaio 2020	PRIMA EMISSIONE	SINA	DT/OC	DT	DT		

CODIFICA

PROGETTO LIV TRONCO DOCUMENTO REV

P280 D A10 GEO RB 001 C

WBS

A10IBT0001

CUP

I44E14000810005

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

VISTO DELLA COMMITTENTE



INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.	DOCUMENTI GEOTECNICI E GEOGNOSTICI REPERITI	5
4.	CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2019	6
5.	MODELLO GEOLOGICO	7
6.	CRITERI DI UTILIZZO DEI DATI DELLE INDAGINI	9
7.	STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-SISMICA TERRENI	13
7.1.	STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	13
7.2.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	23
8.	PROFILI STRATIGRAFICI-GEOTECNICI	35
9.	CONCLUSIONI	36

1. PREMESSA

Il progetto definitivo in esame, redatto per conto di Autostrada dei Fiori S.p.A., riguarda i lavori di realizzazione del nuovo Svincolo Autostradale di Vado Ligure; le opere ricadono nei Comuni di Vado Ligure e Quiliano.

La presente relazione affronta e descrive la caratterizzazione geotecnica-sismica dei terreni che andranno ad interagire con le opere dello svincolo in progetto.

A supporto e completamento del presente documento sono da prendere a riferimento gli elaborati “Fascicolo indagini geognostiche” (P280DGEOFS001A), “Carta geotecnica con ubicazione indagini geognostiche” (P280DGEOPG001A) e “Profili stratigrafici-geotecnici” (P280DGEOFG001-2-3A).

Si rimanda invece alla “Relazione geologica”(P280DGEORA001A) e agli elaborati “Carta geologica-geomorfologica” (P280DGEOCG001A), “Carta idrogeologica” (P280DGE OCD001A) per la descrizione del modello geologico.

Si rimanda inoltre agli elaborati di progetto e alle specifiche relazioni di calcolo per quanto riguarda le scelte e le verifiche geotecniche-strutturali delle opere in progetto.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per il presente lavoro sono state prese a riferimento le normative nazionali e regionali vigenti ed in particolare:

- D.M. Infrastrutture 17.01.2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”
- D.Lgs. 50/2016 (Codice degli Appalti)
- OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i. “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”
- Regione Liguria: D.G.R. n. 216 del 17.03.2017 “OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria”

3. DOCUMENTI GEOTECNICI E GEOGNOSTICI REPERITI

La ricerca e raccolta del materiale geotecnico e geognostico già esistente ha permesso di reperire la seguente documentazione:

- Stratigrafie sondaggi Viadotto Celesia (archivio Autofiori)
- Stratigrafie sondaggi progetto Area di Servizio Valleggia (archivio Autofiori)
- Progetto sistemazione scarpata sulla Via Italia nel tratto in trincea compreso circa tra pk 47+133 e pk 47+319” (archivio Autofiori”)
- Planimetrie e sezioni di contabilità lavori relative ai movimenti di materia realizzati per la costruzione dell’autostrada (archivio Autofiori)
- Elaborati geologici e geognostici dello “Studio di fattibilità tecnico economica” del Nuovo Svincolo di Vado Ligure – 2017 (archivio Autofiori)
- Prove penetrometriche superpesanti (Società Green Up della Discarica Bossarino)
- Stratigrafie sondaggi eseguiti nell’area della centrale elettrica (archivio Tirreno Power)

4. CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2019

Per la ricostruzione del modello geotecnico-sismico dei terreni del sottosuolo che andranno ad interagire con le opere dello svincolo in progetto, è stata eseguita, ad integrazione e completamento dei dati delle indagini geognostiche pregresse, una nuova campagna geognostica dedicata che è stata articolata in:

- n. 12 sondaggi a carotaggio continuo distribuiti lungo lo sviluppo dello svincolo in progetto in funzione della geologia attesa, della posizione delle opere d'arte e della accessibilità locale dei luoghi
- n. 12 tomografie sismiche in onde P Lo distribuite lungo lo sviluppo dello svincolo in progetto
- n. 2 linee sismiche tipo Masw
- prove geotecniche di laboratorio.

5. MODELLO GEOLOGICO

I caratteri principali del modello geologico dell'area dello svincolo in progetto possono essere così riassunti (rif. elab. P280DGEOCG001 "Carta geologica-geomorfologica").

Le aree a monte dell'autostrada sono caratterizzate, in generale, dall'affioramento della formazione rocciosa dei "Metasedimenti Permiani" (MSP).

L'esecuzione in queste aree di alcuni sondaggi della campagna geognostica 2019 (S1-S3-S4-S5-S6-S7) ha confermato la presenza degli scisti permiani sino alle profondità raggiunte dell'ordine dei 25-30m.

Tali metasedimenti si presentano come una roccia caratterizzata da una scistosità pervasiva millimetrica, tipicamente metamorfica; in campagna, alla scala dell'affioramento, sono infatti visibili ripiegamenti molti fitti e serrati della scistosità, anche alla scala centimetrica, spesso polifasici con sovrapposizione di più scistosità.

La definizione litologica più generale di "Metasedimenti Permiani" (MSP) è conseguente al fatto che, nella zona in esame, le diverse facies dei metasedimenti permiani non sono tra loro separabili cartograficamente alle normali scale del rilevamento del terreno.

Tale formazione comprende quindi litologie riferibili alle diverse formazioni di metasedimenti rilevabili nella zona e quindi agli "Scisti di Gorra" (scisti quarzo-sericitici, scisti quarzoso-micacei bianco argentei, scisti cloritico-sericitici verdi, scisti filladico-sericitici, micascisti, scisti quarzo-seritici carboniosi scuri), alla "Formazione di Viola" (scisti quarzoso micacei varicolori da verdi a scuri,) ed alla "Formazione di Murialdo" (filladi e micascisti carboniosi scuri, con lenti e vene contorte di quarzo).

A monte dell'autostrada l'unica zona che si differenzia dalla presenza dei Metasedimenti Permiani è quella dell'Area di Servizio dove sono presenti i terreni limosi, con intercalazioni secondarie ghiaiose, di origine deltizia del Basso-Medio Pleistocene; si evidenzia inoltre che i sondaggi realizzati per il progetto dell'Area di Servizio hanno raggiunto profondità dell'ordine dei 15m senza mai incontrare i metasedimenti permiani di substrato.

A valle dell'autostrada, nell'ampia porzione compresa tra la centrale Tirreno Power ed il Rio Ballaina risultano affioranti terreni che per caratteristiche granulometriche, per sequenze sedimentarie rilevate e per aspetto, sono stati interpretati come depositi di origine continentale del Medio Pleistocene (PT2) e come depositi di origine deltizia del Basso-Medio Pleistocene (PT1) (Ciampalini&Firpo – 2015).

Dal punto di vista litologico la formazione dei depositi continentali del Medio Pleistocene (PT2) si presenta come una ghiaia eterometrica grossolana in matrice sabbiosa, sabbiosa limosa, in genere pseudocementata, di colore arrossato da ferrettizzazione (depositi fluviali) o, più localmente, come una breccia grossolana anch'essa ferrettizzata (da debris flow).

I depositi di origine deltizia del Basso-Medio Pleistocene (PT1), visti gli spaccati stratigrafici affioranti sul terreno e viste le stratigrafie profonde dei sondaggi, possono essere descritti come prevalenti livelli ed orizzonti di limi, limi sabbiosi, limi argillosi che si alternano a livelli secondari di ghiaie in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa.

La colorazione dei terreni varia, come rilevato nei sondaggi all'aumentare della profondità, da rosata-arrossata, nei primi metri superficiali, a ocracea e grigia sino a grigia più in profondità.

Sempre a valle dell'autostrada, nel settore a ponente della valletta del Rio Termini, i metasedimenti permiani sconfinano anche a valle dell'autostrada e potrebbero anche rappresentare il substrato dei depositi del Basso-Medio Pleistocene (PT1) e dei Depositi alluvionali terrazzati (AT); i soli dati del rilevamento di terreno non possono confermare in maniera definitiva questa ipotesi.

6. CRITERI DI UTILIZZO DEI DATI DELLE INDAGINI

Nel presente paragrafo vengono illustrati i criteri di utilizzo ed interpretazione dei dati geognostici e delle prove di laboratorio ai fini della caratterizzazione geotecnica-sismica dei terreni che andranno ad interagire con le opere dello svincolo in progetto; tali terreni sono riconducibili sostanzialmente agli scisti permiani ed ai limi pleistocenici.

Scisti Permiani

Nelle diverse verticali di sondaggio questi materiali sono risultati di difficile carotaggio a causa del loro grado spinto di alterazione e della loro frammentazione naturale dovuta alla scistosità pervasiva; tali fattori negativi si sono presentati praticamente in tutti i sondaggi (S1-S3-S4-S5-S6-S7) e sino alle massime profondità indagate (25-30m).

Solo puntualmente nei sondaggi S3 e S4, per profondità superiori a 20-24m, sono state attraversate due locali porzioni di ammasso più quarzoso e meglio conservato che è stato possibile carotare come spezzoni litoidi di roccia.

All'interno di questo grado generale, il controllo dei materiali campionati in cassa, controllo che ha evidenziato una tendenza alla riduzione con la profondità del grado di alterazione degli scisti, sommato con l'utilizzo dei dati delle Nspt in foro e dei dati delle tomografie sismiche, hanno permesso l'individuazione, all'interno dell'ammasso, di strati geotecnici con caratteristiche di consistenza e resistenza crescenti con la profondità.

I parametri geotecnici di resistenza degli strati sono stati determinati partendo dai valori già utilizzati nell'ambito di recenti progetti in Autofiori con terreni simili (potenziamento caselli di Spotorno e Finale Ligure) e poi ricontrollati utilizzando il metodo GSI (Geological Strength Index) di Hoek-Brown tramite il software RockLab di Rocscience.

Per la determinazione del modulo elastico operativo degli scisti (Metasedimenti permiani), si è scelto di considerare n. 2 teorie in modo da ottenere valori che considerino il fatto che siamo in presenza di rocce alterate. In particolare sono state considerate le seguenti teorie:

- Jamiolkowski et al (da valori SPT)
- dal modulo elastico iniziale E_i (passando dai risultati MASW)-

Jamiolkowski et al.

Il modulo elastico è stato calcolato in funzione della Densità relativa (D_r) e dei valori SPT ottenuti nei sondaggi disponibili. L'equazione per il caso di unità sovraconsolidate è la seguente:

- $E'_{25} = (52.5 - 35 \cdot D_r) \cdot N_{SPT} \text{ (MPa)}$

La Densità Relativa è stata determinata a partire dai valori di N_1 in accordo alle seguenti equazioni ricavate dall'analisi di numerose evidenze sperimentali [Skempton, 1986]:

$$D_r = [(N_1)_{60} / (71.7 \cdot (N_1)_{60}^{-0.056})]^{0.5} \quad \text{per } (N_1)_{60} > 8$$

$$D_r = [(N_1)_{60} / (296.6 \cdot (N_1)_{60}^{-0.728})]^{0.5} \quad \text{per } (N_1)_{60} \leq 8$$

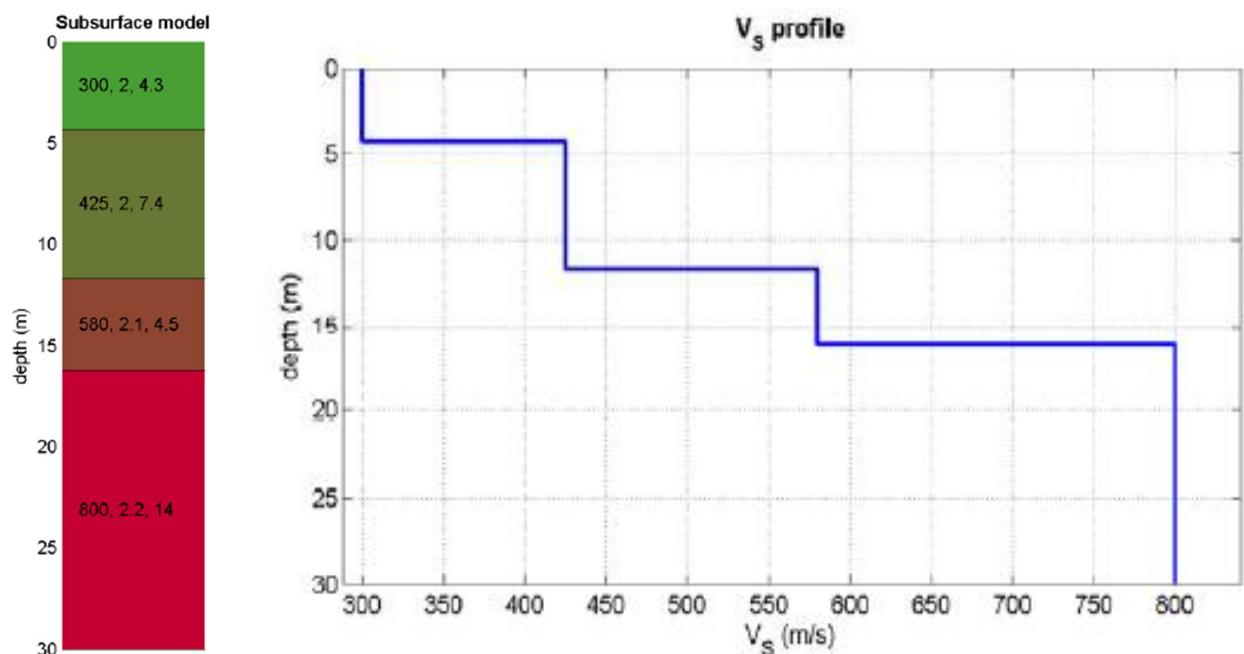
dove $(N_1)_{60} = N_1$ in base a considerazioni relative al rendimento medio dell'attrezzatura impiegata per le prove SPT e pari a circa il 60%

I valori di N_1 sono stati ottenuti a partire dai valori di NSPT sulla base della seguente equazione:

$$N_1 = N_{SPT} / \sigma'_{vo}{}^{0.56} \quad \text{[Jamiolkowski et al., 1985]}$$

Dal modulo elastico iniziale E_i

La MASW n. 4 è stata realizzata in corrispondenza degli scisti e ha evidenziato un addensamento crescente con la profondità. Di seguito le risultanze ottenute:



Utilizzando i valori delle Vs ottenuti dalla MASW attraverso la teoria dell'elasticità è stato ottenuto il valore del modulo iniziale E_0 .

$$G_0 = \gamma_t / 9.81 * (v_s)^2$$

$$E_0 = G_0 * 2 * (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m³

ν' = rapporto di Poisson del terreno

v_s = velocità delle onde di taglio in m/s, ricavata dalle MASW

Il modulo operativo (E') è stato valutato come una percentuale del modulo iniziale secondo la seguente relazione:

$$E = \frac{E_0}{10}$$

Limi Pleistocenici

Per quanto riguarda i limi pleistocenici, l'analisi incrociata dei dati visivi di terreno rilevati nei diversi "spaccati" affioranti, dei valori delle N_{spt} in foro e dei risultati delle prove di classificazione e di resistenza di laboratorio, hanno permesso l'individuazione, all'interno della formazione, di strati geotecnici con caratteristiche di consistenza crescente con la profondità.

Va rilevato che le prove di laboratorio su campioni indisturbati fanno riferimento solo alle porzioni/livelli più fini e meno consistenti e non possono essere estese tout court a tutta l'unità in esame.

I parametri geotecnici di resistenza di questi terreni sono stati individuati utilizzando i dati delle diverse prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati prelevati durante la perforazione dei sondaggi.

Per la determinazione del modulo elastico operativo dei Limi (Depositi pleistocenici di delta), si è scelto di considerare la teoria di D'Appolonia et al (1970) che desume il modulo elastico operativo in funzione dei valori di SPT. Di seguito viene esplicitata l'equazione base valida per terreni normaliconsolidati.

$$E=18.75+0.756 \cdot NSPT \text{ [MPa]}$$

Altri terreni

Per gli altri terreni presenti nell'area del progetto, secondari come presenza nel sottosuolo ed importanza stratigrafica, è stato fatto riferimento ai dati di letteratura e ai dati di precedenti lavori in terreni similari.

7. STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-SISMICA TERRENI

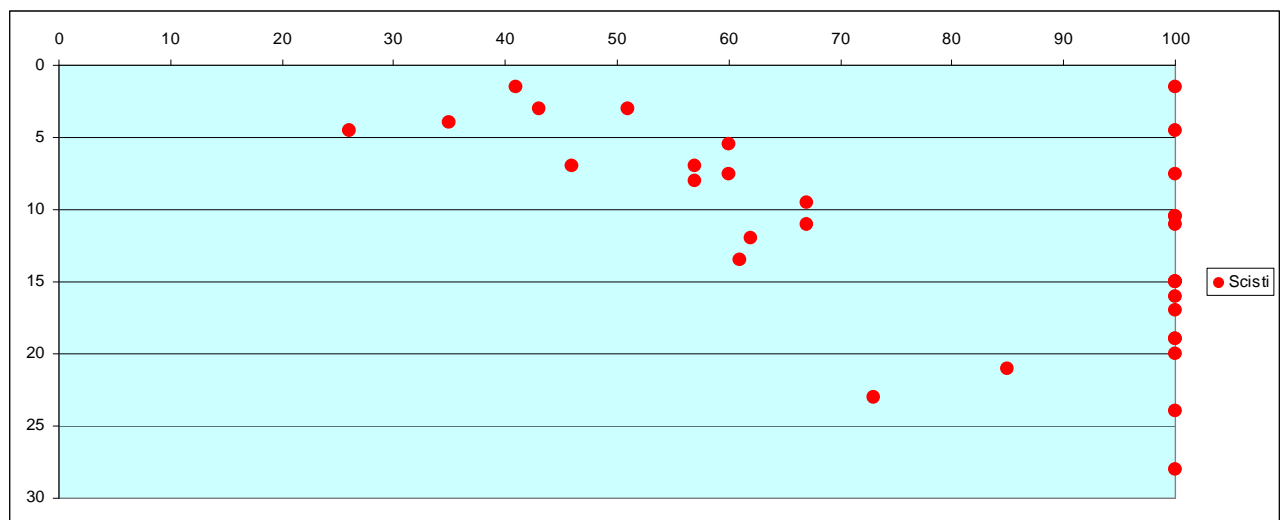
In questo paragrafo viene illustrata la caratterizzazione geotecnica-sismica dei diversi terreni che andranno ad interagire con le opere in progetto.

7.1. Stratigrafia e caratterizzazione geotecnica

Scisti Permiani

Il controllo dei materiali campionati in cassa, controllo che ha evidenziato una tendenza alla riduzione con la profondità del grado di alterazione degli scisti, sommato con l'utilizzo dei dati delle Nspt in foro e dei dati delle tomografie sismiche hanno permesso l'individuazione, all'interno dell'ammasso, di strati geotecnici con caratteristiche di consistenza e resistenza crescenti con la profondità.

Si inserisce di seguito il grafico della distribuzione delle Nspt con la profondità.

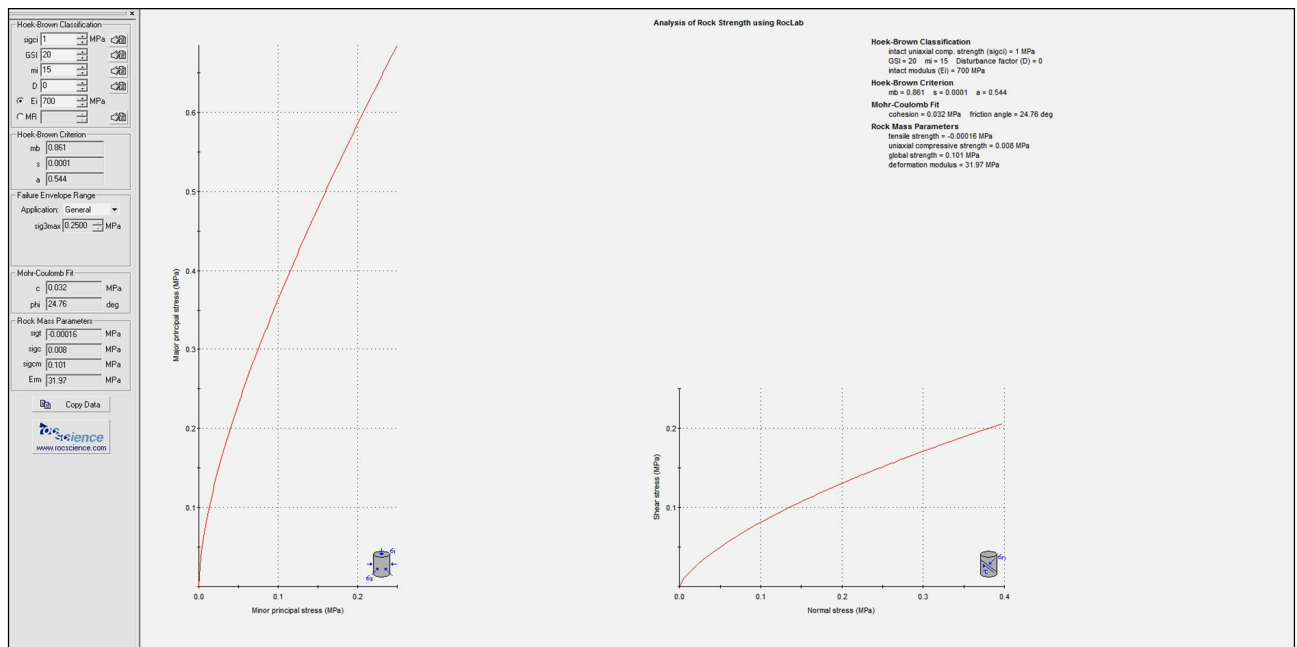


I criteri appena sopra citati hanno permesso di distinguere mediamente all'interno degli Scisti Permiani i seguenti 3 strati geotecnici:

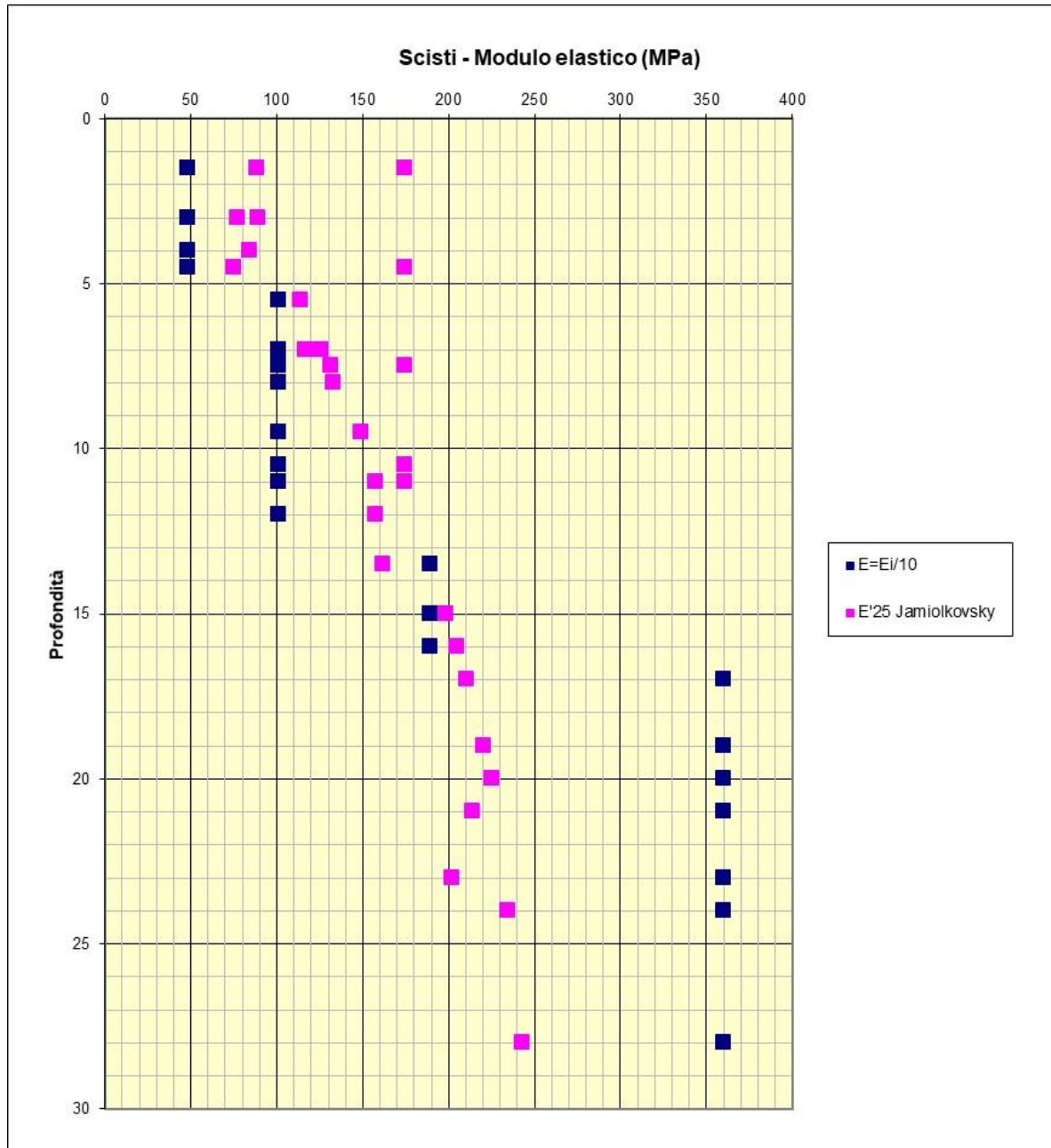
- Scisti quarzo-sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, molto alterati; codice SC1, profondità media 0-5m, spessore 5m
- Scisti quarzo-sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, mediamente alterati; codice SC2, profondità media 5-15 m, spessore 10m

- Scisti quarzo-sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, poco alterati; codice SC3, profondità media >15 m.

In termini di caratterizzazione l'immagine che segue sintetizza i risultati ottenuti, come parametri di orientamento per gli strati più superficiali, con il metodo GSI (Geological Strength Index) di Hoek-Brown tramite l'utilizzo del software RocLab di Rocscience.



Di seguito si riporta il grafico ottenuto con le due correlazioni adottate per la stima del modulo elastico degli scisti. I valori considerati per la stratigrafia di progetto corrispondono ad un range medio dei valori ottenuti per i 3 livelli in cui sono stati suddivisi gli scisti (SC1, SC2 e SC3).



La tabella che segue sintetizza i parametri assunti per gli strati geotecnici distinti negli scisti permiani:

Descrizione geologica	Descrizione geotecnica	Spessore medio	Codice	γ (kN/mc)	ϕ (°)	c (kPa)	cu (kPa)	E' (MPa)
Metasedimenti permiani	Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, molto alterati	5m	SC1	21-22	24-26	10-15		50-70
	Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, mediamente alterati	10m	SC2	22-23	28-30	20-40		80-100
	Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, poco alterati	var.	SC3	23-24	30-32	60-80		150-180

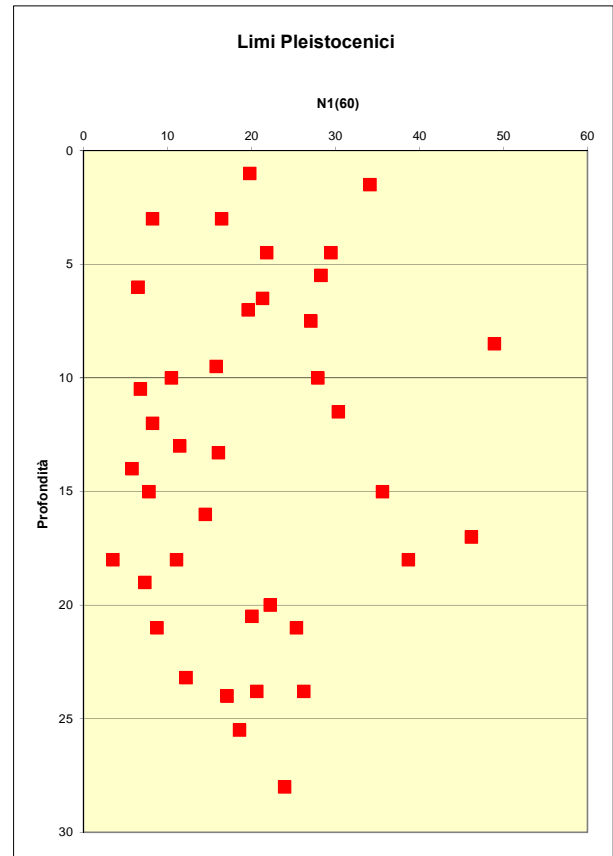
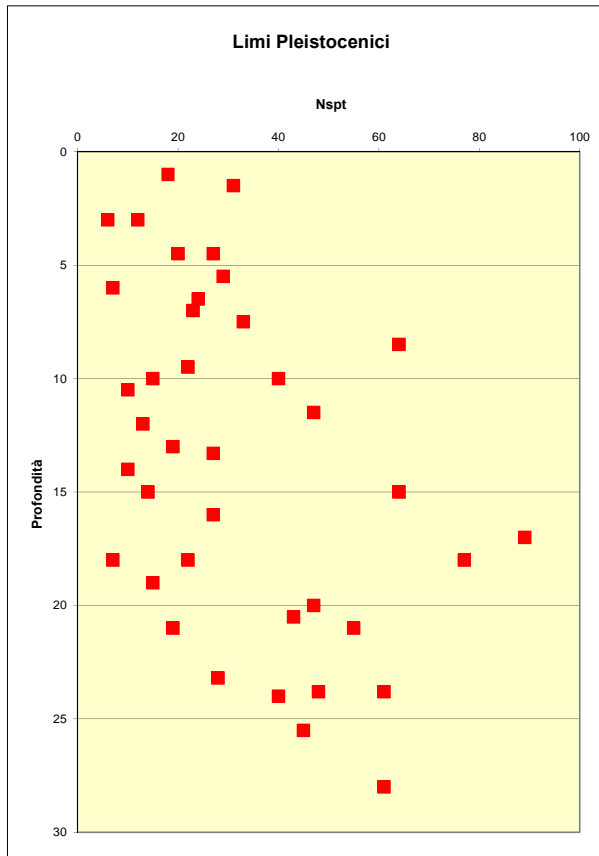
Limi pleistoceni

Questi terreni possono essere descritti come prevalenti limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli di ghiaie sabbiose-limose.

L'analisi ponderata dei livelli di limi e di quelli di ghiaia nelle diverse verticali di sondaggio (S2-S8-S9-S10-S11-S12) ha evidenziato che i livelli ghiaiosi rappresentano il 15% del totale carotato; i limi, che rappresentano invece l'85% del volume, possono essere considerati i terreni che caratterizzano il comportamento geotecnico di questa formazione geologica.

Per quanto riguarda la stratigrafia dei limi pleistoceni, l'analisi incrociata dei dati visivi di terreno rilevati nei diversi "spaccati" affioranti, dei valori delle Nspt in foro e dei risultati delle prove di resistenza di laboratorio, hanno permesso l'individuazione, all'interno della formazione, di strati geotecnici con caratteristiche di consistenza crescente con la profondità.

Si inserisce di seguito il grafico della distribuzione delle Nspt e normalizzati con la profondità.



I criteri appena sopra citati hanno permesso di distinguere mediamente all'interno dei limi pleistocenici i seguenti 3 strati geotecnici:

- Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, alterati, poco consistenti; codice LPT1, profondità media 0-2m, spessore 2m
- Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, alterati, poco alterati, mediamente consistenti; codice LPT2, profondità media 2-20m, spessore 18m
- Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, consistenti; codice LPT3, profondità media >20m.

In termini di caratterizzazione la tabella che segue riassume i dati ottenuti con le prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati.



**NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE
 PROGETTO DEFINITIVO
 GEOLOGIA E GEOTECNICA
 RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-SISMICA TERRENI**



PROF	S2	S8	S9	S10	S11	S12
0-1						
1-2						
2-3						
3-4						
4-5				TD 4,0-4,50m $\gamma=19,2$ kN/mc $c=10,41$ kPa $\varphi=25,18^\circ$ G=3% S=23% L=60% A=14% IP=15 A7-6		TD 4,50-5,00m $\gamma=19,4$ kN/mc $c=15,23$ kPa $\varphi=24,95^\circ$ S=24% L=59% A=16% IP=22 A7-6
5-6		TD TXUU 5,0-5,50m $\gamma=19,1$ kN/mc $c=26,51$ kPa $\varphi=33,00^\circ$ S=18% L=67% A=15% IP=14 A7-6				
6-7				6,00-6,50m G=59% S=22% L+A=19% IP=7 A2-4		
7-8						
8-9						
9-10			TD 9,00-9,50m $\gamma=18,5$ kN/mc $c=35,12$ kPa $\varphi=32,71^\circ$ S=20% L=72% A=8% IP=26 A7-6 presenza di parti sabbiose	TX CU 9,00-9,50m $\gamma=19,0$ kN/mc $c=20,00$ kPa $\varphi=25,17^\circ$ S=10% L=82% A=8% IP=18 A7-6		EDO 9,50-9,50m $\gamma=19,0$ kN/mc $k=7,71E-07$ cm/s G=2% S=22% L=68% A=8% IP=18 A7-6
10-11						
11-12						11,00-11,70m G=22% S=21% L=46% A=11% IP=13 A6
12-13	TX UU 12,00-12,50m $\gamma=19,2$ kN/mc $c_u=00,00$ kPa G=3% S=17% L=62% A=18% IP=23 A7-6					
13-14					TD 13,-13,50m $\gamma=19,0$ kN/mc $c=11,09$ kPa $\varphi=22,90^\circ$ S=10% L=71% A=19% IP=22 A7-6	
14-15		TD 14,5-15,00m $\gamma=18,6$ kN/mc $c=40,00$ kPa $\varphi=25,00^\circ$ S=9% L=79% A=13% IP=18 A7-6				

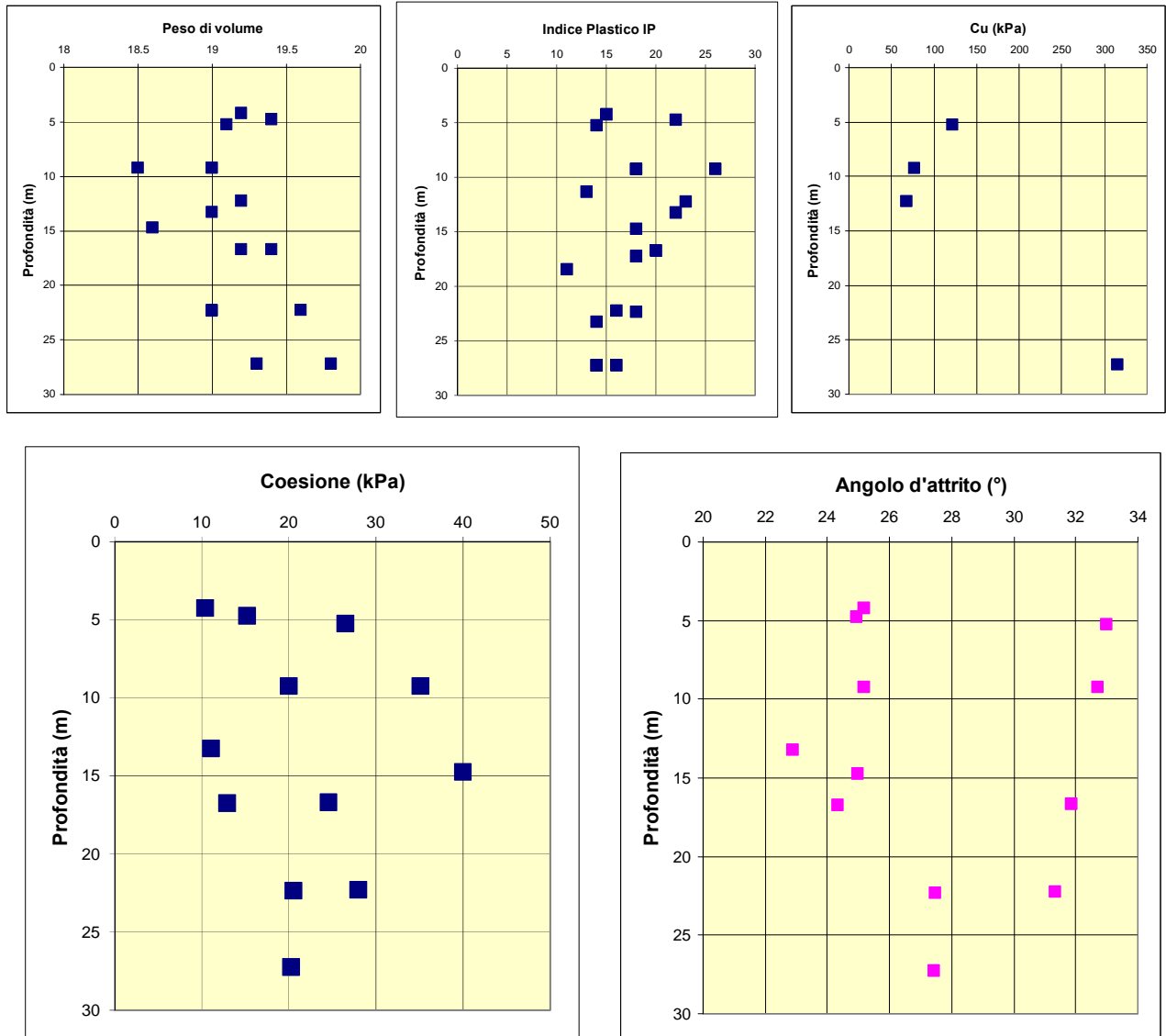


NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE
PROGETTO DEFINITIVO
GEOLOGIA E GEOTECNICA
RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-SISMICA TERRENI

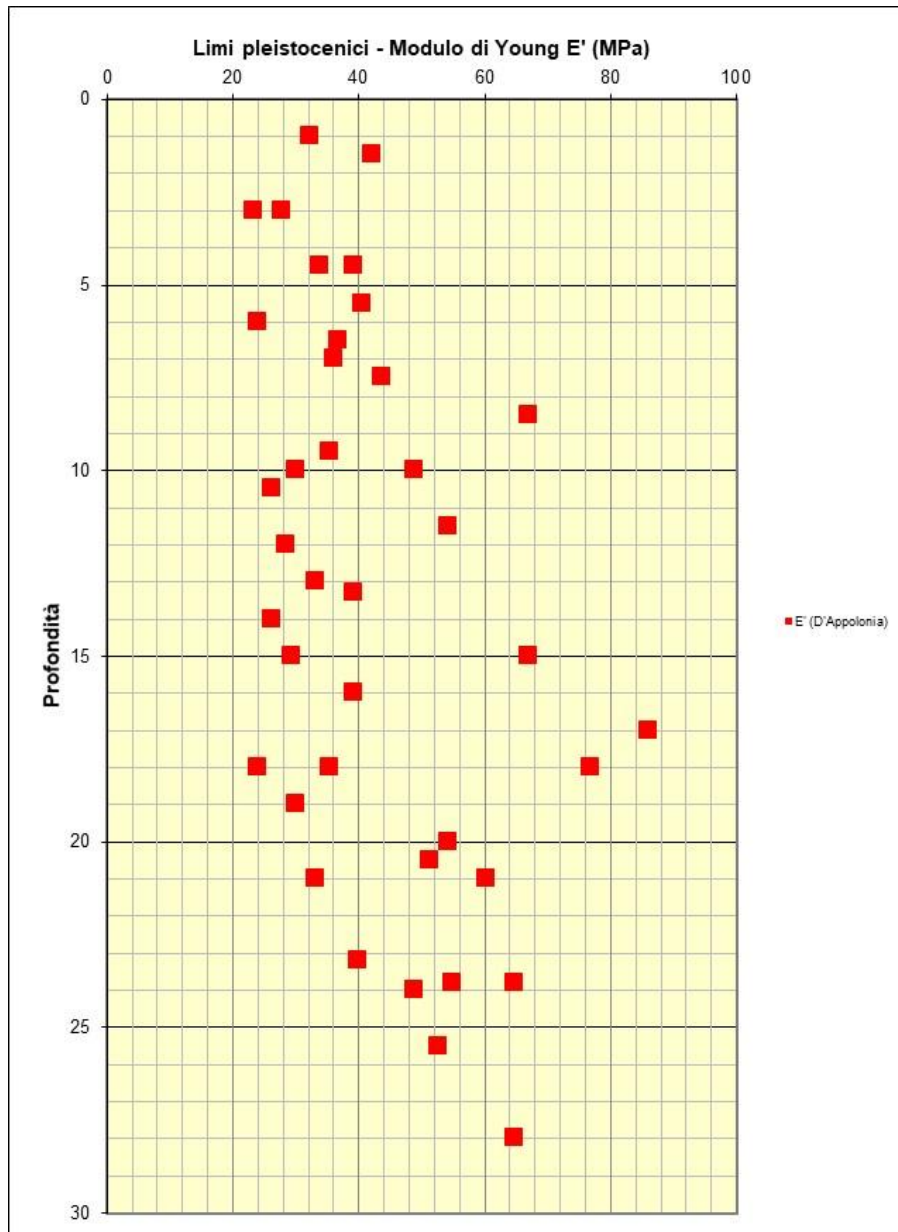


15-16					
16-17	TD 16,50-17,00m $\gamma = 19,4 \text{ kN/mc}$ $c = 12,92 \text{ kPa}$ $\varphi = 24,34^\circ$ S=12% L=65% A=23% IP=20 A7-5				
17-18					17,00-17,50m G=1% S=10% L=77% A=12% IP=18 A7-6
18-19			18,30-18,60m S=25% L=57% A=18% IP=11 A6		18,00-18,70m G=61% S=25% L+A=14% IP=7 A2-4
19-20					
20-21					
21-22	TD 22,10-22,60m $\gamma = 19,0 \text{ kN/mc}$ $c = 20,55 \text{ kPa}$ $\varphi = 27,50^\circ$ S=20% L=69% A=12% IP=18 A7-6				
22-23				EDO 22,00-22,50m $\gamma = 19,6 \text{ kN/mc}$ $k = 2,35E-09 \text{ cm/s}$ S=12% L=80% A=8% IP=16 A7-6	
23-24					23,20-23,30m G=53% S=24% L=19% A=4% IP=14 A2-6
24-25			24,00-24,50m G=53% S=28% L+A=19% IP=8 A2-4		
25-26					
26-27					
27-28			EDO 27,00-27,50m $\gamma = 19,8 \text{ kN/mc}$ $k = 1,33E-07 \text{ cm/s}$ S=21% L=68% A=11% IP=14 A6	27,00-27,50m G=7% S=21% L=66% A=6% IP=16 A7-6	TD 27,00-27,50m $\gamma = 19,3 \text{ kN/mc}$ $c = 20,29 \text{ kPa}$ $\varphi = 27,44^\circ$ S=13% L=75% A=12% IP=14 A6
28-29					
29-30					

Si riportano inoltre, di seguito, i grafici dei valori del peso di volume, coesione, angolo di attrito ottenuti tramite le prove di laboratorio sui campioni indisturbati.



A seguire il grafico che rappresentano la distribuzione dei valori del modulo operativo E' calcolati, utilizzando i valori delle N_{spt} , con la relazione di D'Apollonia.



Dalle prove edometriche è stato desunto il valore del modulo edometrico a diverse pressioni di confinamento. La tabella seguente mostra i valori ottenuti nelle prove eseguite.

Campione	M (MPa)		
	S12 z=9m	S11 z=22m	S10 z=27m
s'v (kPa)			
50	4,0	6,6	15,2
100	3,7	4,8	7,2
200	4,5	5,3	8,3
400	6,0	7,4	10,9



**NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE
 PROGETTO DEFINITIVO
 GEOLOGIA E GEOTECNICA
 RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-SISMICA TERRENI**



La tabella che segue sintetizza i parametri assunti per gli strati geotecnici distinti nei limi pleistocenici.

Descrizione geologica	Descrizione geotecnica	Spessore medio	Codice	γ (kN/mc)	ϕ (°)	c (kPa)	cu (kPa)	E' (MPa)
Depositi pleistocenici di delta	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, alterati poco consistenti	2m	LPT1	17-18	21-22	5-10		13-18
	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, mediamente consistenti	18m	LPT2	18,5-19,5	23-25	10-15	60-80	25-45
	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, consistenti	var.	LPT3	19-20	25-27	15-20	100-120	30-60

La tabella che segue riassume invece la caratterizzazione dell'insieme dei terreni, principali e secondari, che potranno interagire con le opere dello svincolo in progetto:

STRATI GEOTECNICI				PARAMETRI GEOTECNICI				
Descrizione geologica	Descrizione geotecnica	Spessore medio	Codice	γ (kN/mc)	ϕ (°)	c (kPa)	cu (kPa)	E' (MPa)
Rilevati	Ghiaia sabbioso limosa, addensata	var.	RIL	19-20	34-36	0-2		50-80
Riperti grossolani	Ghiaia sabbioso limosa, mediamente addensata	var.	RIP1	18-19	30-32	-		40-60
Riperti fini	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi poco o nulla consistenti	var.	RIP2	17-18	18-20	0-2		10-15
Depositi pleistocenici continentali ferrettizzati	Ghiaie-brecce alterate, localmente deb. cementate	var.	GPT	19-20	30-32	2-10		50-80
Depositi pleistocenici di delta	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, alterati poco consistenti	2m	LPT1	17-18	21-22	5-10		13-18
	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, mediamente consistenti	18m	LPT2	18,5-19,5	23-25	10-15	60-80	25-45
	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, consistenti	var.	LPT3	19-20	25-27	15-20	100-120	30-60
Coperture detritiche	Ghiaia in matrice limosa, limoso sabbiosa-argillosa	var.	COP	18-19	27-29	2-5		15-30
Metasedimenti permiani	Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, molto alterati	5m	SC1	21-22	24-26	10-15		50-70
	Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, mediamente alterati	10m	SC2	22-23	28-30	20-40		80-100
	Scisti quarzo sericitici, scisti filladico-sericitici, scisti cloritico-sericitici, micascisti, poco alterati	var.	SC3	23-24	30-32	60-80		150-180

Dal punto di vista idrogeologico i limi pleistocenici possono essere considerati pressochè impermeabili ($10E-07 < K < 10E-09$ cm/s da prove edometriche), nei quali però la presenza di livelli secondari ghiaiosi e sabbiosi crea le condizioni di circolazioni d'acqua confinate in tali livelli a volte anche con carattere di debole artesianità.

In occasione di periodi con precipitazioni intense, quale quello di ottobre-novembre-dicembre 2019, può essere assunto che le circolazioni nei livelli ghiaiosi portino in condizioni di saturazione i terreni limosi che, in tali condizioni, può essere assunto siano interessati da una falda acquifera diffusa a tutto volume; il livello di saturazione, correlabile alla quota di ricarica dei livelli ghiaiosi, varia, come hanno dimostrato le misure piezometriche, in funzione della piovosità stagionale.

Nei profili stratigrafici-geotecnici che interessano i limi pleistocenici è stata così introdotta una falda acquifera circa alla quota registrata con la lettura piezometrica di minima soggiacenza misurata il giorno dopo l'Allerta Meteo Rossa del 20.12.2019 (rif. tabella letture piezometriche, subito sotto) e che può quindi essere ritenuta significativa ai fini del progetto; le letture successive, in assenza di ulteriori precipitazioni significative, hanno evidenziato un progressivo approfondimento generalizzato del livello dell'acqua.

Gli scisti permiani rappresentano una formazione rocciosa nel complesso poco permeabile nella quale può essere assunto non sia presente una falda acquifera diffusa a tutto ammasso; sono invece possibili invece circolazioni d'acqua discontinue nell'ammasso, di entità variabile in funzione del grado di fratturazione locale e della piovosità stagionale, sicuramente maggiori nei settori/fasce con componente quarzosa più abbondante e quindi più litoidi in s.s e con un sistema di fratture più organizzato e più aperto.

Si riporta la tabella delle letture piezometriche (soggiacenza (m) da testa tubo) eseguite:

Letture	S5	S8	S9	S11	S12
	Prof	Prof	Prof	Prof	Prof
12/12/2019				6,82	4,71
21/12/2019	10,75	1,80	10,45	6,15	3,27
27/12/2019	13,75	2,40	17,80	6,70	4,70
21/01/2020	13,74	3,68	23,60	8,14	5,04

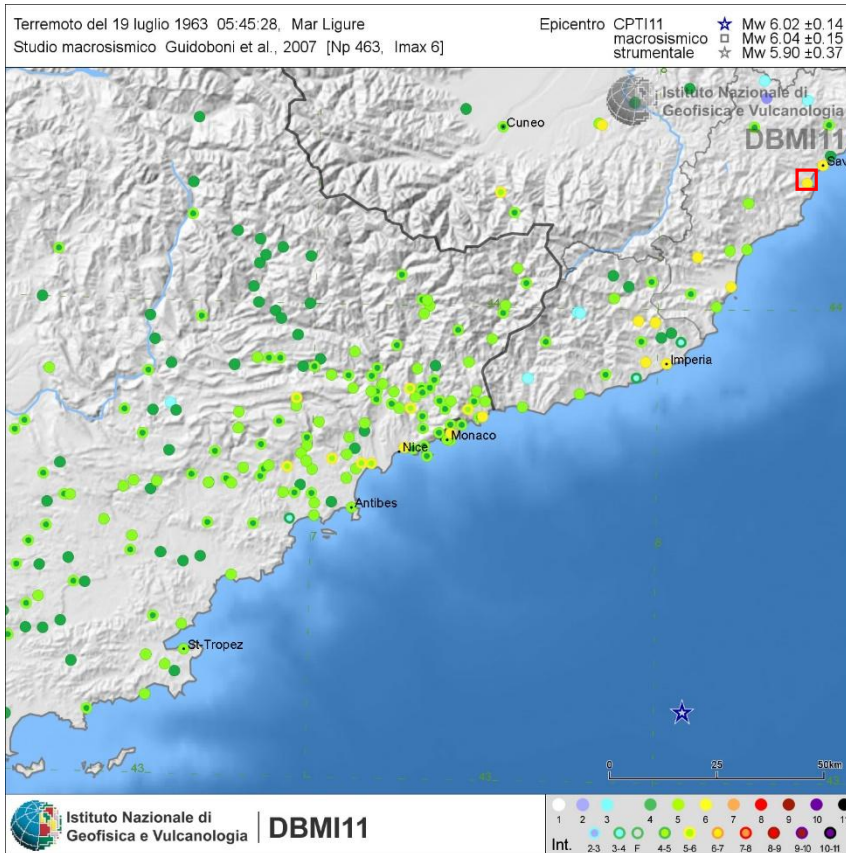
7.2. Caratterizzazione sismica

Sismicità storica e zone sismogenetiche

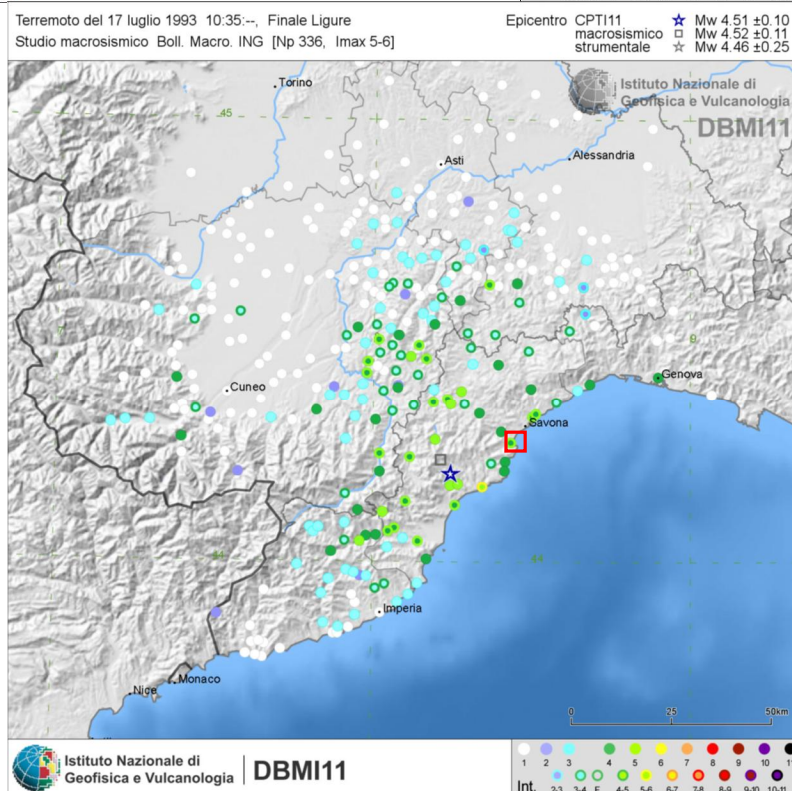
La tabella a seguire sintetizza i dati di sismicità storica relativi al territorio in esame, desunti dai cataloghi pubblicati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.); nella seguente tabella si riportano gli eventi più importanti.

DATA EVENTO	LOCALITÀ EPICENTRO	INTENSITA' M.C.S./ MAGNITUDO LOCALE	MAGNITUDO STRUMENTALE	INTENSITA' M.C.S. A VADO
8.01.1819	Bussana	VII-VIII	4,7	
26.05.1831	Taggia	IX	5,5	
23.02.1887	Mar Ligure	IX-X	7,5	VII
30.12.1899	Albenga		4,9	
22.04.1900	Bussana	VI	4,4	
15.11.1904	Ceriana	VI	4,2	
30.05.1905	Valdieri	VI	4,2	
11.08.1906	Taggia	VI	4,3	
24.07.1913	Valdieri	VI	4,2	
19.08.1916	Vinadio	V	3,9	
28.11.1919	Alpes Maritimes	VI	4,3	
11.12.1936	Pigna	VI	4,4	
12.05.1955	Val Maira	V	3,9	
09.07.1963	Mar Ligure	VI	-	VI
07.04.1966	Valdieri	VII	3,7	
07.09.1968	Calizzano	VI	4,4	
18.01.1972	Pietra Ligure	IV-V	4,4	
26.12.1989	Mar Ligure	VI-VII	5,1	
17/07/1993	Finale Ligure	V-VI	4,5	IV-V
21/04/2004	Riviera Ponente	V-VI	4,2	
18/07/2001	Monferrato	V-VI	4,1	
11.04.2006	Novi Ligure-Tortona	-----	4,5	
20.02.2008	Liguria Occidentale	-----	2,7	
24.10.2008	Valdieri	-----	3,9	
01.02.2009	Mar Ligure	-----	3,2	

Nelle figure successive si riportano le mappe di intensità macrosismica registrate in alcuni terremoti recenti che hanno interessato il Comune di Vado (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11 INGV).

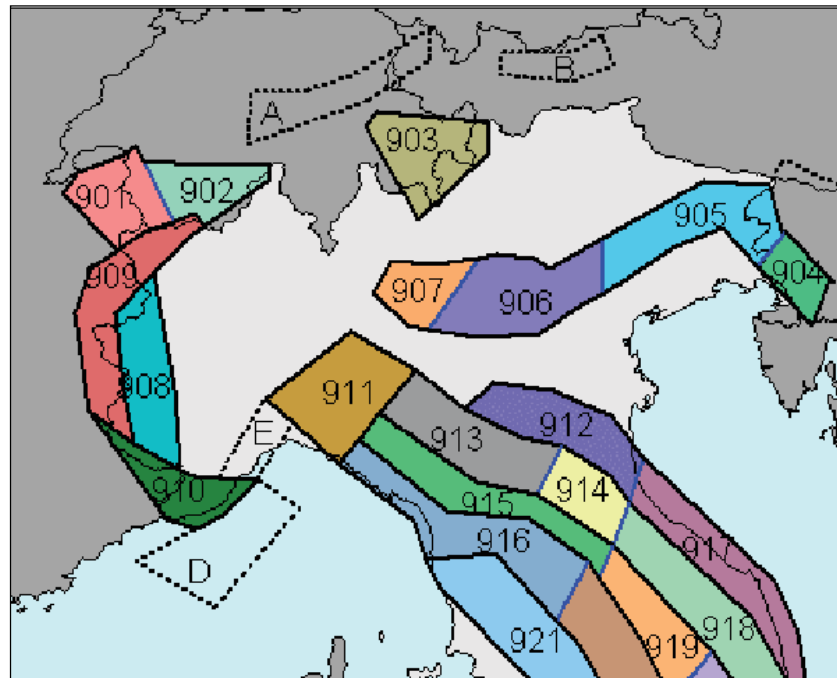


□ Vado Ligure

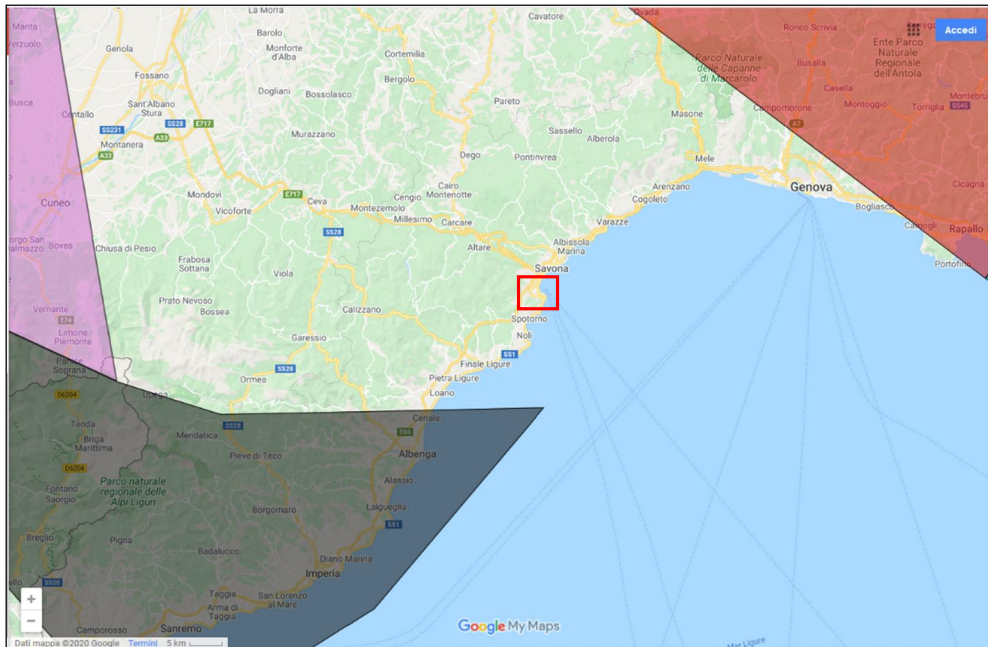


□ Vado Ligure

La mappatura eseguita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) delle zone sismogenetiche dell'Italia nordoccidentale è riportata nell'estratto a seguire:



La figura che segue fa vedere i perimetri delle zone sismogenetiche 908, 910 e 911 su una base cartografica di dettaglio.



□ Vado Ligure

Il territorio di Vado Ligure non si trova quindi all'interno di una zona sismogenetica ma è prossimo a tre zone sismiche che possono provocare risentimenti in tale territorio; le tre zone sismogenetiche sono:

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

Risposta sismica locale

La tabella che segue riassume i parametri sismici di sito calcolati per il sito in esame.

Vita nominale $V_N=100$ anni														
Classe d'uso IV $C_U=2$														
Periodo di ritorno $T_R=V_N \cdot C_U=200$ anni														
Regione	Comune	Coordinate ED50	SLO ($T_R=120$ anni)			SLD ($T_R=201$ anni)			SLV ($T_R=1898$ anni)			SLC ($T_R=2475$ anni)		
			a_g/g	F_0	T^*_c	a_g/g	F_0	T^*_c	a_g/g	F_0	T^*_c	a_g/g	F_0	T^*_c
Liguria	Vado Ligure / Quiliano	44.270456,8.418542	0.036	2.572	0.238	0.043	2.563	0.272	0.099	2.63	0.333	0.108	2.641	0.338

In termini di termini di risposta sismica locale e, più in particolare, in termini di possibile amplificazione stratigrafica e topografica della P_{ga} , si evidenzia quanto segue.

Per l'amplificazione stratigrafica, come contemplato dalle NTC2018, è stato fatto riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s) definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

N = numero di strati

h_i = spessore dello strato i -esimo

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s

Il valore della V_{seq} è stato determinato utilizzando i dati delle MASW M4 (rappresentativi degli scisti permiani) e M14 (rappresentativi dei limi pleistocenici) e delle REMI.

A tale riguardo si differenziano i casi di opere fondate sugli scisti permiani e le opere fondate sui limi pleistocenici.

Nel primo caso il valore di V_{seq} , calcolato al piano campagna, è compreso tra 430-550 m/s e quindi tipico della categoria B di amplificazione sismica stratigrafica (tab. 3.2.II NTC2018).

Nel caso dei terreni limosi pleistocenici non avendo raggiunto la velocità di 800 m/s entro i 30 m di profondità, la V_{seq} corrisponde alla V_{s30} ; il valore, calcolato al piano campagna, è risultato pari a 353 m/s, velocità equivalente che è correlabile alla categoria C di amplificazione sismica stratigrafica (tab. 3.2.II NTC2018).

In fase di progetto esecutivo, potrà essere ulteriormente approfondito lo studio delle singole situazioni locali, tramite l'esecuzione di altre linee sismiche tipo Masw.

Anche per l'amplificazione topografica, si differenziano i casi di opere fondate sugli scisti permiani e le opere fondate sui limi pleistocenici.

Nel caso delle opere sugli scisti permiani, che ricadono in un ambiente più tipicamente di versante, può essere assunta la categoria topografica T2 (tab. 3.2.III NTC2018).

Nel caso invece delle opere fondate sui limi pleistocenici, che ricadono in un contesto con morfologie più blande o sub-pianeggianti, può essere assunta la categoria topografica T1 (tab. 3.2.III NTC2018).

Per quanto riguarda la liquefazione dei terreni locali si evidenzia quanto segue.

A livello storico, la pubblicazione scientifica di P.Galli e F.Meloni (anno 1993) "Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia" segnala che, in occasione del terremoto del 23 febbraio 1887, il territorio di Vado Ligure (Riviera di Ponente) è stato interessato da fenomeni di liquefazione di terreni.

Il catalogo precisa che la litologia interessata da tali fenomeni è quella dei depositi delle Alluvioni Olecniche, depositi geograficamente ubicati nella fascia costiera più prossima al mare e quindi non nella zona dello svincolo in esame dove sono invece presenti i metasedimenti permiani ed i limi pleistocenici.

La liquefazione viene ora analizzata rispetto alle circostanze in cui può essere omessa la verifica di tale fenomeno sia secondo le NTC2018 sia rispetto ai criteri fissati dalla Regione Emilia Romagna nell'Allegato A alla DGR 2193 del 21.12.2015; si riportano di seguito le analisi rispetto ai due criteri citati.

NTC2018

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} 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 Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Criteri Regione Emilia Romagna

1. Magnitudo attesa inferiore a 5;
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;
3. Terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - frazione di fine¹, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $I_p > 10\%$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$ oppure $q_{c1N} > 95$ oppure $V_{S1} > 200$ m/s;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$ oppure $q_{c1N} > 160$ oppure $V_{S1} > 220$ m/s $(N_1)_{60}$, q_{c1N} , V_{S1} sono i valori normalizzati dell'indice N_{SPT} della Standard Penetration Test, della resistenza di punta q_c della prova CPT e della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove geofisiche. In prima approssimazione tali valori possono essere calcolati con le seguenti equazioni:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$q_{c1N} = q_c \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$V_{S1} = V_S \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25}$$

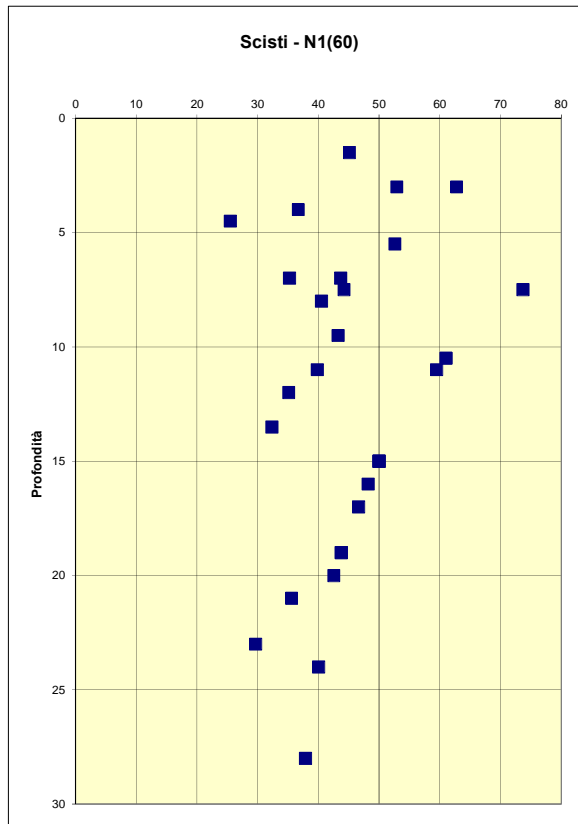
essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_{v0} la pressione efficace litostatica verticale.

4. Distribuzione granulometrica esterna per oltre il 50% al fuso indicato in Figura 1a nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 1b per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$.
5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.

I valori di magnitudo e accelerazione massima attesi nel territorio di Vado per le opere in progetto non soddisfano le circostanze riportate nelle norme e criteri appena sopra elencati.

Per quanto riguarda i metasedimenti permiani è possibile assumere che le caratteristiche litologiche della formazione, riconducibili a quelle di una "roccia tenera", non siano quelle di terreni suscettibili a fenomeni di liquefazione.

In più, come descritto nel precedente paragrafo, gli scisti permiani rappresentano una formazione rocciosa nel complesso poco permeabile nella quale può essere assunto non sia presente una falda acquifera diffusa a tutto ammasso, ma solo in forma di circolazioni discontinue nell'ammasso e localizzate nei settori/fasce con un sistema di fratturazione più organizzato ed aperto (settori più quarzosi); è quindi soddisfatta la circostanza 2 delle NTC e la circostanza 5 dell'Emilia Romagna.



Anche la distribuzione dei valori N1(60) soddisfa la circostanza 3 delle NTC2018 e cioè di valori, a meno di un punto, N1(60) >30 (rif. grafico a fianco)

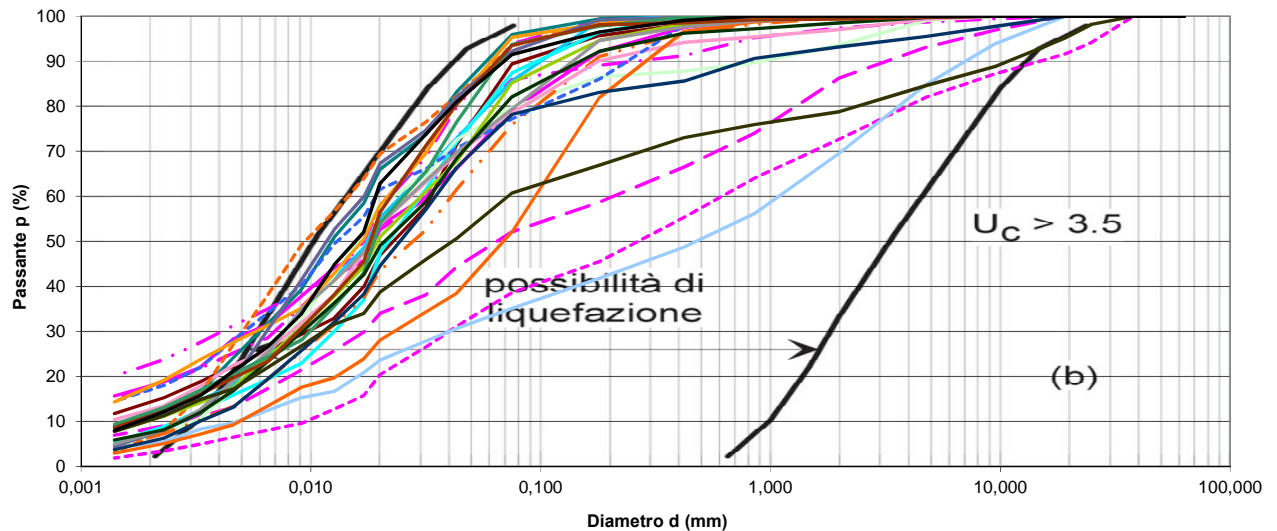
Sulla base dei concetti appena elencati può quindi essere omessa la verifica a liquefazione per gli scisti permiani.

Discutendo invece la formazione dei limi pleistocenici, si evidenzia quanto segue.

Questa formazione, come illustrato nel precedente paragrafo, in occasione di periodi con precipitazioni intense, quale quello di ottobre-novembre-dicembre 2019, può arrivare a raggiungere la condizione di generale saturazione dei terreni limosi che, in tali condizioni, può essere assunto siano interessati da una falda acquifera diffusa a tutto volume, attestata ad una profondità inferiore ai 15 dal p.c..

La sovrapposizione delle curve granulometriche dei campioni di limi prelevati nei sondaggi sul fuso di potenziale liquefazione $U_c > 3.5$ (NTC2018), evidenzia che le stesse ricadono all'interno fuso; si rimarca comunque però che la maggioranza delle stesse risultano essere in una posizione di bordo del fuso e quindi con possibilità di liquefazione più bassa.

Curve granulometriche su fuso di liquefazione $U_c > 3.5$

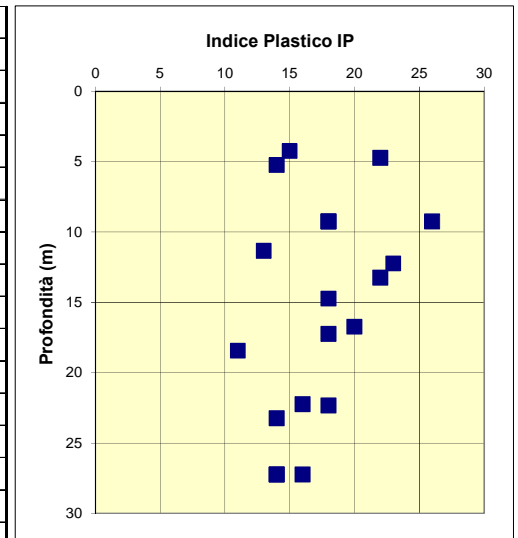


S02 01.80 - 01.95	S02 06.30 - 06.55	S02 09.00 - 09.50	S02 12.00 - 12.50	S02 16.50 - 16.70	S08 05.00 - 05.50
S08 14.00 - 14.50	S08 22.10 - 22.60	S09 09.00 - 09.50	S09 16.40 - 17.00	S09 22.00 - 22.60	S09 24.00 - 24.40
S10 04.00 - 04.50	S10 09.00 - 09.50	S10 18.30 - 18.60	S10 27.00 - 27.50	S11 13.00 - 13.50	S11 16.40 - 16.70
S11 22.00 - 22.50	S11 23.70 - 24.00	S11 27.00 - 27.50	S12 07.50 - 08.00	S12 09.50 - 09.50	S12 11.00 - 11.70
S12 17.00 - 17.50	S12 27.00 - 27.50				

Facendo invece riferimento alla circostanza 3 dei criteri dell'Emilia Romagna "Terreni con frazione fine, F_c , superiore al 20% con indice di plasticità $I_p > 10\%$ ", si evidenzia quanto segue.

Tutti i campioni di limi analizzati hanno contenuto in fini F_c superiore al 20% ed hanno indice di plasticità sempre superiore al 10% (rif. tabella e grafico subito successivi)

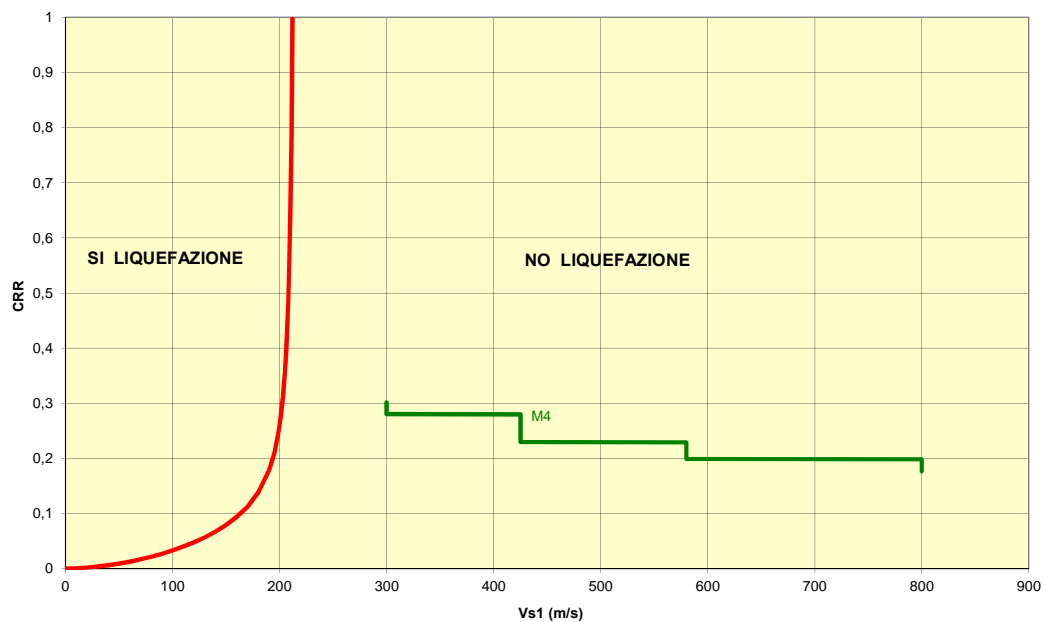
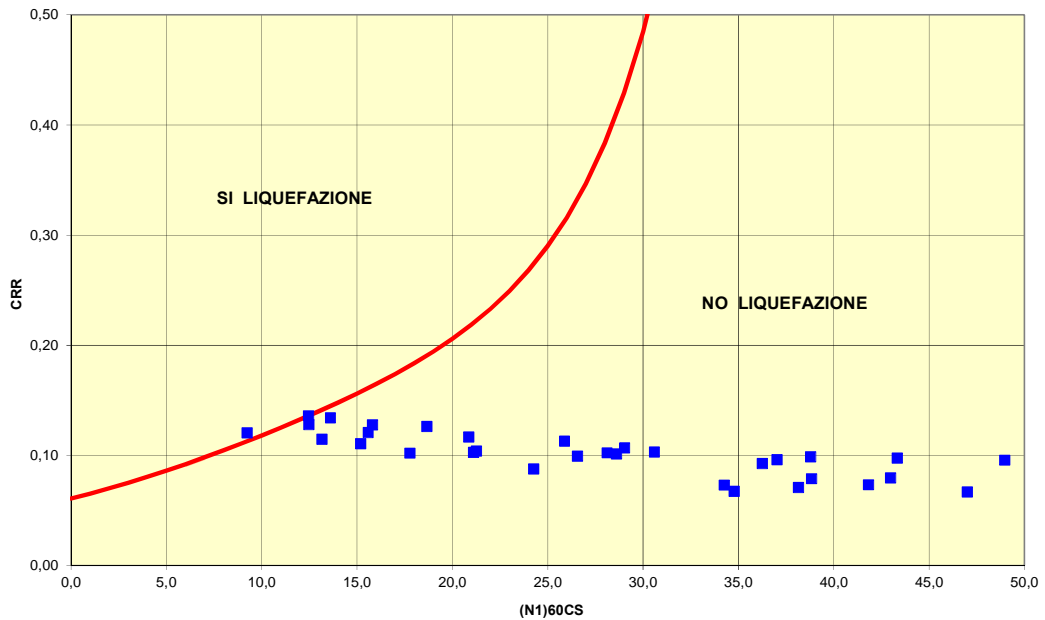
ID Sondaggio	Intervallo Profondità	Granulometria				FC %	IP
		Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla		
S2	12,00 - 12,50	3	17	62	18	80	23
S2	16,50 - 17,00	0	12	65	23	88	20
S8	5,00 - 5,50	0	18	67	15	82	14
S8	14,50 - 15,00	0	9	79	13	92	18
S8	22,10 - 22,60	0	20	69	12	81	18
S9	9,00 - 9,50	0	20	72	8	80	26
S10	4,00 - 4,50	3	23	60	14	74	15
S10	9,00 - 9,50	0	10	82	8	90	18
S10	18,30 - 18,60		25	57	18	75	11
S10	27,00 - 27,50	0	21	68	11	79	14
S11	13,00 - 13,50	0	10	71	19	90	22
S11	22,00 - 22,50	0	12	80	8	88	16
S11	27,00 - 27,50	7	21	66	6	72	16
S12	4,50 - 5,00	0	24	59	16	75	22
S12	9,00 - 9,50	2	22	68	8	76	18
S12	11,00 - 11,70	22	21	46	11	57	13
S12	17,00 - 17,50	1	10	77	12	89	18
S12	27,00 - 27,50	0	13	75	12	87	14



La verifica della circostanza 3 dei criteri dell'Emilia Romagna potrebbe già escludere il rischio di liquefazione.

Ciò nonostante sono comunque sviluppate due verifiche alla liquefazione basate su due metodiche semplificate di stima del rischio di liquefazione proposte sempre nei criteri dell'Emilia Romagna e più precisamente: a) metodo basato sui risultati delle prove SPT (Boulangier e Idriss, 2014) b) metodo basato sui profili di velocità delle onde di taglio Vs (Andrus e Stokoe, 2000).

I grafici che seguono, CRR (rapporto di resistenza ciclica) - N1(60)Cs (valore normalizzato prove SPT corretto in base al contenuto dei fini) e CRR – valori di Vs, evidenziano che i terreni limosi in esame non rientrano nel dominio di quelli liquefacibili.



Alla luce delle valutazioni sopra illustrate per i metasedimenti permiani e per i limi pleistocenici, è possibile concludere che il rischio di liquefazione di tali terreni è molto basso o nullo; in caso di sisma di magnitudo elevata non possono invece essere esclusi possibili fenomeni di assestamenti/cedimenti dei terreni di fondazione.

8. PROFILI STRATIGRAFICI-GEOTECNICI

L'analisi incrociata e l'interpretazione dei dati del rilevamento del terreno e dei dati delle indagini geognostiche ha permesso la ricostruzione dei profili stratigrafici lungo i rami dello svincolo e per le opere d'arte maggiori; per la lettura di tali profili si rimanda alle tavole P280DGEOFG001, P280DGEOFG00 e P280DGEOFG003.

9. CONCLUSIONI

L'elaborazione incrociata dei dati stratigrafici reperiti e dei dati delle indagini geognostiche ha permesso la ricostruzione del modello stratigrafico locale e la caratterizzazione geotecnica-sismica dei terreni che interagiranno con le opere dello svincolo in progetto.