



AGENZIA DEL DEMANIO

Direzione Regionale Liguria

Procedura aperta ai sensi dell'art. 60 D.lgs. 50/2016 coordinato con il D. lgs. 56/2017 per l'affidamento di servizi tecnici consistenti nel rilievo geometrico, architettonico, strutturale e impiantistico in modalità B.I.M. Verifica delle prestazioni energetiche e della vulnerabilità sismica di immobili statali.
CIG 7503780B23 – CUP G57J18000020005

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti



CSG Palladio s.r.l.
(capogruppo)



Iconia Ingegneria Civile s.r.l.



Prof. Ing. Renato Vitaliani



Arch. PhD. Andrea Piero Donadello

Dott. Geol. Paolo Cornale

CSG Palladio S.r.l.
Strada Savlobona 278/1A
36100 Vicenza (VI)
cf/p.iva 02644700243
Tel 0444 304091 Fax 0444 313136



Servizio tecnico consistente nel rilievo geometrico, architettonico, strutturale e impiantistico in modalità B.I.M. Verifica delle prestazioni energetiche e della vulnerabilità sismica di immobili statali.

Caserma Forestale e del Compendio n. 5
via Boettola Traversa II a Sarzana (La Spezia)

Responsabile Unico del Procedimento
arch. Riccardo Blanco

TITOLO: **RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA E RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE** SCALA :
RELAZIONE CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA

EL 04 GEO

REV.

EL 05 CT

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data
00	EMISSIONE				14/12/18		14/12/18

File: EL 04 GEO, EL 05 CT

n. Elab.:



**INDAGINI E RELAZIONE GEOLOGICA
GEOTECNICA
CASERMA FORESTALE DI SARZANA (SP)**

Rif. 18CO14462

COMMITTENTE

Iconia Ingegneria Civile S.r.l.
Viale Lisbona, 28/A
35127 Padova

DATA

Vicenza, 20 dicembre 2018

Il geologo
Dott. Paolo Cornale





INDICE

PREMESSA	3
RELAZIONE TOPOGRAFICA – EL.08	4
ANALISI DEI VINCOLI	5
RELAZIONE GEOLOGICA – EL.07 GEO	6
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE	10
RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOFISICHE – EL.07	13
RELAZIONE GEOTECNICA – EL.07	21
Verifica alla liquefazione	21
1.4 MODELLO GEOLOGICO DI SINTESI PER LA PROGETTAZIONE	23
CONCLUSIONI	24

PREMESSA

Su incarico della Spett.le Iconia Ingegneria Civile S.r.l., in qualità di committente, è stata eseguita una campagna di indagini finalizzate alla relazione geologica relativa all'intervento della Caserma forestale di Sarzana situata in via Beottolo II snc nel Comune di Sarzana (cod bene SPB0862). L'obiettivo del presente studio è stato quello di definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e di stabilità dell'area e le condizioni locali per verificare la compatibilità dell'intervento in progetto preliminare con le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni di fondazione, in ottemperanza alle seguenti normative vigenti:

- D.M. 14/01/08 "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- O.P.C.M. n. 3274/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" con allegati e successive modifiche.
- O.P.C.M. n. 3519/06 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime."

A tal fine sono state eseguite le seguenti indagini:

- Ricerca cartografica e bibliografica;
- Rilevamento geologico e geomorfologico dell'area;
- n. 2 prove penetrometriche dinamiche tipo superpesante DPSH;
- n. 2 prove sismiche passive HVSR, in sostituzione delle MASW previste inizialmente. Si è optato per tale tipologia d'indagine poiché, avendo i risultati delle prove penetrometriche, lo scopo prefissato, cioè la stima delle Vs30, è stato perfettamente conseguito in maniera più agevole e speditiva.

I risultati sono compendati nelle pagine seguenti.

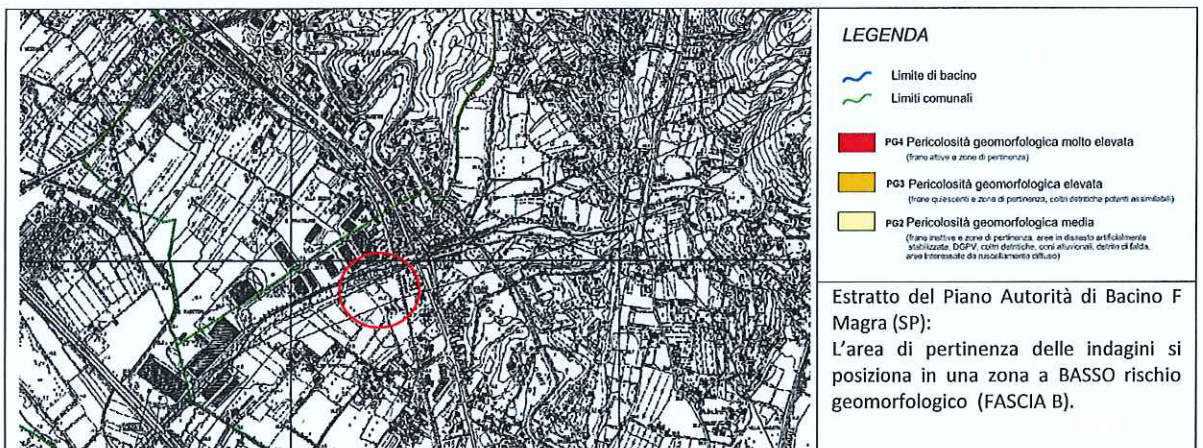
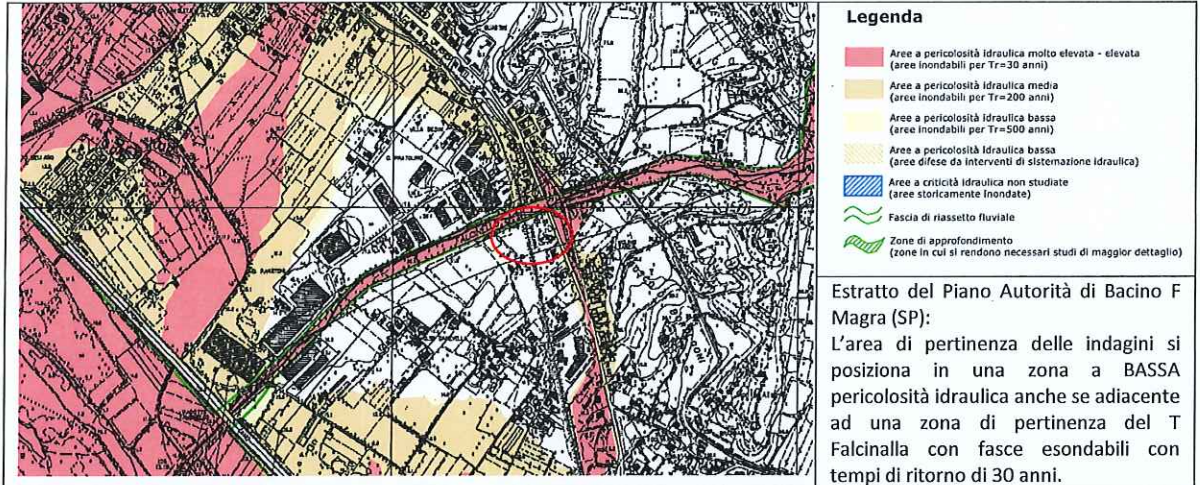
RELAZIONE TOPOGRAFICA – EL.08

L'area oggetto delle indagini è situata nel Comune di Sarzana (SP), in zona pianeggiante ad una quota topografica di circa 20 m S.L.d.M.



ANALISI DEI VINCOLI

Dalla consultazione delle carte di governo del territorio risulta che l'area in oggetto è posta in una zona senza evidenze di criticità anche se in prossimità della fascia di rispetto di alcuni corsi d'acqua minori.



RELAZIONE GEOLOGICA – EL.07 GEO INQUADRAMENTO GEOLOGICO

A scala regionale il territorio del sito in oggetto ricade nella parte orientale del litorale Ligure e sono visibili le unità geografiche del Golfo de La Spezia, la dorsale del Polverara, del Monte Grosso e del Monte Tanna ed infine le piane alluvionali dei Fiumi Vara-Magra. Per quanto riguarda il promontorio del Golfo di La Spezia è caratterizzato da un imponente elemento strutturale rappresentato dalla Piega di La Spezia con vergenza verso Sud- Ovest. Nel versante occidentale del promontorio sono esposte formazioni rocciose di arenarie (Arenarie di Macigno) e argille e calcari di Canetolo. L'assetto stratigrafico a franapoggio ad alto angolo condizionano fortemente i processi morfogenetici innescati dalla gravità e da acque di ruscellamento concentrato che innescano fenomeni di degradazione del versante (coltri colluviali) e nel caso in cui vi siano delle giaciture a reggipoggio movimenti di crollo o ribaltamenti.

Le Formazioni geologiche che costituiscono le unità attribuibili al Dominio Ligure esterno affiorano estesamente nella media Val di Magra, soprattutto in sinistra idrografica, anche con ottime esposizioni, e sono costituite dal Flysch di Ottone – S. Stefano (calcari marnosi stratificati, alternati ad argilliti) e dal relativo "Complesso di base" ("Complesso di M. Penna – Casanova" nelle più recenti denominazioni); quest'ultimo è costituito da argilliti caotiche scure molto scagliettate con inclusi di varia natura e costituisce la base stratigrafica del Flysch di Ottone – S. Stefano. L'Unità di Canetolo, attribuibile al Dominio Subligure e composta da diverse Formazioni (argille e calcari di Canetolo, calcari di Groppo del Vescovo, Arenarie del Bratica e di Petrignacola) affiora ad es. nell'alta Val Gordana ed in alcune zone di crinale appenninico (Passo del Cirone, Passo dell'Ospedalaccio). La Successione toscana, composta da numerose formazioni, affiora prevalentemente nel crinale dell'Appennino tosco emiliano e nel crinale fra la Val di Vara e la Val di Magra (M. Civolario – M. Coppigliolo), la formazione che affiora più estesamente è l'Arenaria Macigno, seguita dalla Scaglia rossa toscana. Nel primo caso si tratta di arenarie "torbiditiche" in strati anche molto potenti (spessi), che costituiscono appunto l'ossatura dell'Appennino tosco – emiliano nel tratto che ricade nel bacino del Magra, e dove si presentano con ottime esposizioni e con giacitura "a reggipoggio"; nel secondo caso si tratta di argilliti rosse, alternate a livelli calcarei e marnosi. In alcune "finestre" (T. Mommio, Val Gordana), affiora invece il nucleo calcareo mesozoico, presente anche nella porzione della bassa Val di Vara limitrofa al Golfo della Spezia

In aggiunta alle formazioni elencate sin qui, occorre ricordare che, nel Villafranchiano e Pleistocene, (quindi da circa 2,5 milioni di anni fa in poi), successivamente ed in concomitanza con la fase distensiva "post – orogenica", la Val di Magra è stata sede di un bacino lacustre che è testimoniato da argille, sabbie,

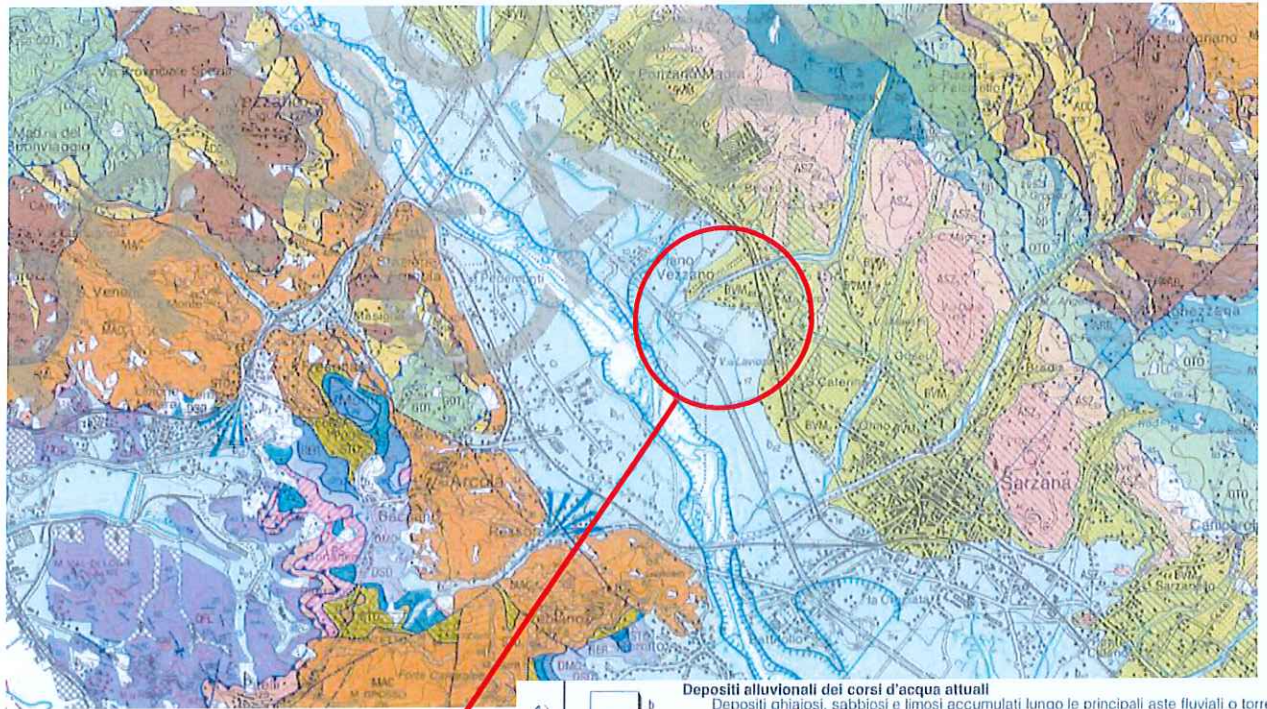
conglomerati poligenici e monogenici (a ciottoli di Macigno) affioranti nella zona di Olivola e nei dintorni di Pontremoli; secondo alcune moderne interpretazioni (Raggi, 1988) il Magra sarebbe sfociato in tale bacino lacustre, senza giungere al mare; lo sbocco al mare, con la "cattura" del F. Vara si sarebbe determinato in tempi geologicamente molto recenti, a seguito del colmamento del bacino e della conseguente tracimazione del Magra.

In tempi geologicamente recenti inoltre, il bacino del F. Magra è stato oggetto di un forte sollevamento, che ha portato ad un marcato "ringiovanimento" dei corsi d'acqua, rinnovandone la forza erosiva (testimoni ne sono i depositi alluvionali terrazzati, che si rinvergono oggi anche ad altezze notevoli sopra gli alvei attuali e, come si vedrà più avanti, i grandi accumuli di "paleofrane" e le Deformazioni Gravitative Profonde di Versante); le faglie originatesi durante la fase distensiva sopra ricordata sono in molti casi ancora oggi attive, soprattutto in Lunigiana, determinando quindi condizioni di elevata pericolosità sismica, e sono molto spesso ben visibili anche morfologicamente.









FORMAZIONI GEOLOGICHE

Subsistema di Posticcio (BVM4) si tratta di depositi eterogenei costituiti da alternanze di conglomerati, sabbie e limi con elementi fino a 15 cm a tessitura clasto sostenuta con abbondante matrice sabbioso limosa.

Estratto da: Carta Geologica Foglio 248 LA SPEZIA, scala 1:50.000







Olocene

-  **Depositi alluvionali dei corsi d'acqua attuali**
Depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi accumulati lungo le principali aste fluviali o torrentizie, soggetti ad evoluzione degli ordinari processi fluviali.
-  **Depositi alluvionali terrazzati**
Depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi, fluviali. I terrazzi sono numerati, in ordine crescente, a partire dal più recente (b₁). I depositi dei terrazzi più vecchi (b₂-b₄) sono debolmente alterati.
-  **Depositi di spiaggia attuale**
Depositi ghiaiosi e sabbiosi di spiaggia emersa.
-  **Sistema deposizionale di foce del Fiume Magra**
Depositi prevalentemente sabbiosi di conoide.
-  **Sistemi deposizionali sublitoranei**
Depositi da siltoso-sabbiosi fino a sabbiosi.
-  **Sistema deposizionale del Golfo di La Spezia**
Depositi in fasce concentriche da sabbioso-siltose a pelitiche.
-  **Sistema deposizionale di piattaforma interna**
Depositi da siltosi a siltoso-sabbiosi, con microfaune anche dulcicole.
-  **Sistema deposizionale di piattaforma esterna e scarpata**
Depositi esclusivamente pelitici.

BACINO DI SARZANA

? - Pleistocene

-  **SISTEMA DELLA BASSA VAL DI MAGRA**
Ciottolami polimodali e limi, fluviali e di conoide alluvionale.
PLEISTOCENE
-  **subsistema di Posticcio (BVM₂)**
Conglomerati con diametro massimo fino a 15 cm, in strati lenticolari a base erosiva di spessore decimetrico-metrico massicci o grossolanamente gradati; sabbie medio-grossolane.
-  **subsistema di Ceparana (BVM₃)**
Conglomerati con diametro massimo fino a 15 cm, in strati lenticolari a base erosiva di spessore decimetrico-metrico massicci o grossolanamente gradati; sabbie medio-grossolane massicce; limi massicci moderatamente alterati caratterizzanti il tetto dell'unità.
-  **subsistema di S. Stefano Magra (BVM₄)**
Conglomerati con diametro massimo fino a 15 cm, in strati lenticolari a base erosiva di spessore decimetrico-metrico massicci o grossolanamente gradati; sabbie medio-grossolane massicce; limi massicci alterati caratterizzanti il tetto dell'unità.
-  **subsistema di S. Bartolomeo (BVM₅)**
Conglomerati con diametro massimo fino a 25 cm, in strati lenticolari a base erosiva di spessore decimetrico-metrico massicci o grossolanamente gradati; sabbie medio-grossolane massicce; limi massicci fortemente alterati caratterizzanti il tetto dell'unità.

INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO

Nello schema sottostante è riportata una planimetria schematica con l'ubicazione dei punti d'indagine.



LEGENDA:

DPSH: prova penetrometrica superpesante

HVSR: Prova sismica HVSR per la determinazione delle Vs30

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Finalità e Metodologia di Prova

I penetrometri utilizzati sono il DPM (Dynamic Probing Medium) e il DPSH (Dynamic Probing Super Heavy), secondo la classificazione ISSMFE (1988). In entrambi i casi il metodo di prova utilizzato consiste nel misurare il numero di colpi necessari di un maglio lasciato cadere da una determinata altezza, affinché sia infissa nel terreno per alcuni centimetri una batteria di aste aventi una punta conica di diametro variabile.

Di seguito si riportano le caratteristiche tecniche dei penetrometri utilizzati.

Penetrometri utilizzati classificati secondo CLASSIFICAZIONE ISSMFE (1988)				
TIPO	SIGLA di RIFERIMENTO	PESO MASSA BATTENTE	ALTEZZA CADUTA LIBERA	DIAMETRO PUNTA CONICA
super pesante	DPSH super heavy	63,5 Kg	0,75 m	50,8 mm

Dal numero di colpi N10-30 è possibile ricavare i valori di resistenza dinamica alla punta R_{pd} utilizzando la formula degli Olandesi:

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{A_p \cdot e \cdot (M + P + P_{aste})}$$

Correlazione con NSPT

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t * N$$

dove:

$$\beta_t = Q / Q_{SPT}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{SPT} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M = peso massa battente;
- M' = peso aste;
- H = altezza di caduta;
- A = area base punta conica;
- δ = passo di avanzamento.

Il coefficiente δ_t per il penetrometro DPSH superpesante utilizzato risulta pari a 1,5; mentre il coefficiente δ_t per il penetrometro DPM medio utilizzato risulta pari a 0,77.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Dal numero di colpi N30 è possibile ricavare i valori di resistenza dinamica alla punta Rpd utilizzando la formula degli Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{A_p \cdot e \cdot (M + P + P_{aste})}$$

dove:

Rpd = resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

M = massa battente (kg)

H = altezza di caduta (cm)

Ap = area della punta (cm²)

e = infissione per colpo pari a δ/N (cm) dove δ è l'infissione.

P = peso sistema di battuta (kg)

Paste = peso aste (kg)

Dall'elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche si possono dividere i depositi indagati in stratificazioni derivanti dall'omogeneità della consistenza alla penetrazione della punta standard riassumibile nel numero Nspt. La suddivisione risultante dalle tabelle sottostanti, quindi non è una reale stratigrafia dei depositi incontrati, ma una suddivisione indicativa del grado di consistenza del deposito:

DPSH 1



DPSH 1							
STRATO	PROFONDITA' [m]	SPESSORE [cm]	VALORI MEDI STRATO			STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIF. AGI '77)	
			N colpi [N ₁₀]	Rpd [Kg/cm ²]	N _{spt} [N]		
A	0,0 - 2,4	240	3	29	4	sciolto	
B	2,4 - 3,6	120	10	94	15	moderatamente addensato	
C	3,6 - 8,6	500	3	25	5	poco addensato	
D	8,6 - 9,2	100	15	108	23	moderatamente addensato	
D	9,6 - 14,0	440	7	45	10	poco addensato	
F	14,0 - 14,4	40	12	69	17	moderatamente addensato	

DPSH 2



DPSH 2							
STRATO	PROFONDITA' [m]	SPESSORE [cm]	VALORI MEDI STRATO			STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIF. AGI '77)	
			N colpi [N ₁₀]	Rpd [Kg/cm ²]	N _{spt} [N]		
A	0,0 - 2,0	200	1	13	2	sciolto	
B	2,0 - 5,2	320	8	75	12	moderatamente addensato	
C	5,2 - 12,4	720	5	36	7	poco addensato	
D	12,4 - 14,2	180	17	103	25	moderatamente addensato	

RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOFISICHE – EL.07

AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 delle NTC), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_vR , come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4.

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

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T^*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Categoria del suolo di fondazione

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l’effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull’individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento.

Per definire tali categorie, il D.M. 17/01/18 prevede, in questo caso, il calcolo del parametro $V_{s,30}$, ovvero della velocità equivalente (media pesata) di propagazione delle onde di taglio V_s entro 30 m di profondità dal piano di posa delle fondazioni.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo estratta dal D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”

A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.
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>

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, “...la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) NSPT_{,30} (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente Cu_{,30} (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina....”.

La velocità equivalente delle onde di taglio Vs_{,30} è definita dall'espressione

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente NSPT_{,30} è definita dall'espressione

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}.$$

La resistenza non drenata equivalente cu_{,30} è definita dall'espressione

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}.$$

Dove:

- hi spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- Vs,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- NSPT,i numero di colpi Nspt nell'i-esimo strato;
- Cu,i resistenza non drenata nell'i-esimo strato;
- N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
- M numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;
- K numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità.

Per la determinazione delle onde Vs30 sono state effettuate due misure di microtremore sismico ambientale a stazione singola su terreno libero. Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Viene definito microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino 10-15 [m/s²]² in termini di accelerazione. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio nelle esplosioni della sismica attiva.

Strumentazione impiegata

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata di 15 minuti ciascuna, sono state effettuate con un tomografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da due batterie AA da 1,5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.



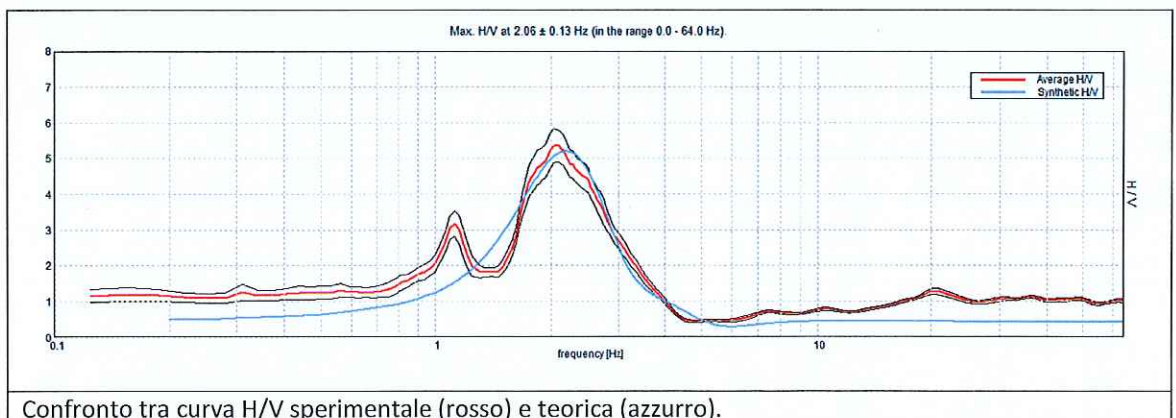
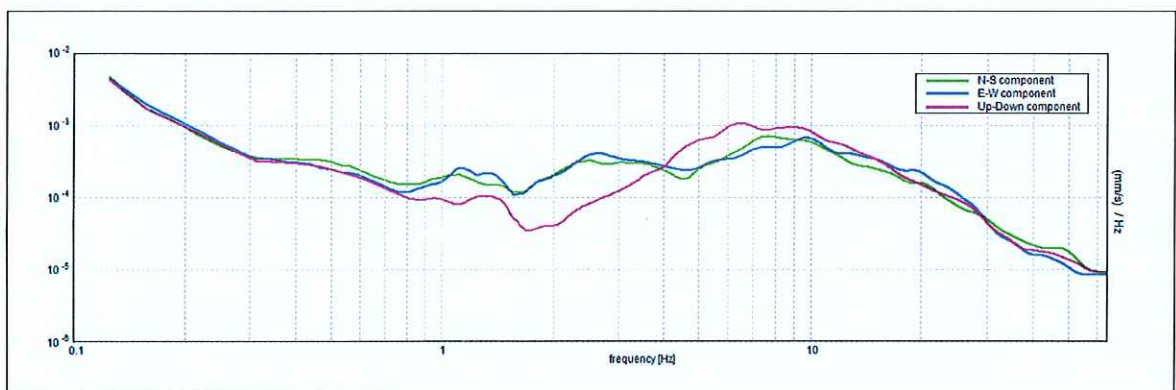
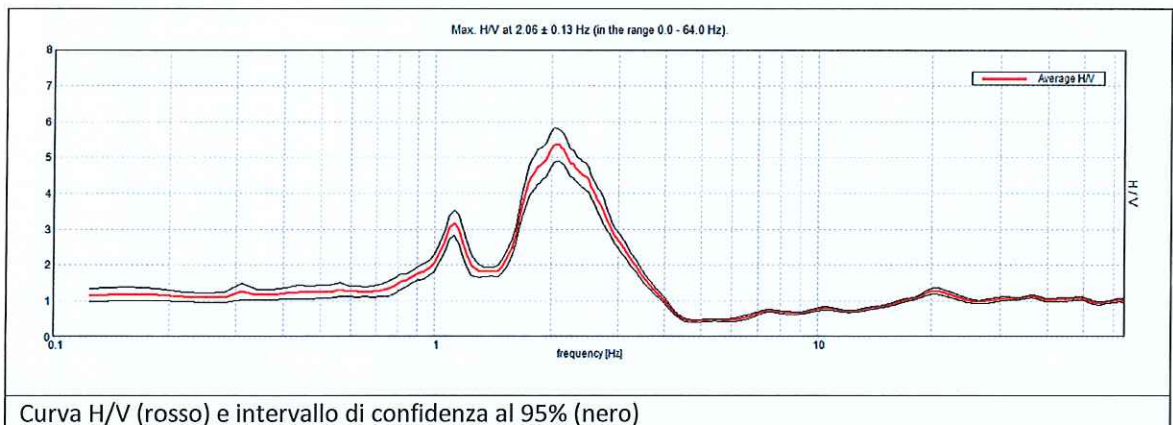
Risultati delle indagini sismiche

In corrispondenza dell'area di indagine sono state effettuate due misure del microtremore sismico con l'utilizzo della strumentazione sopra descritta.

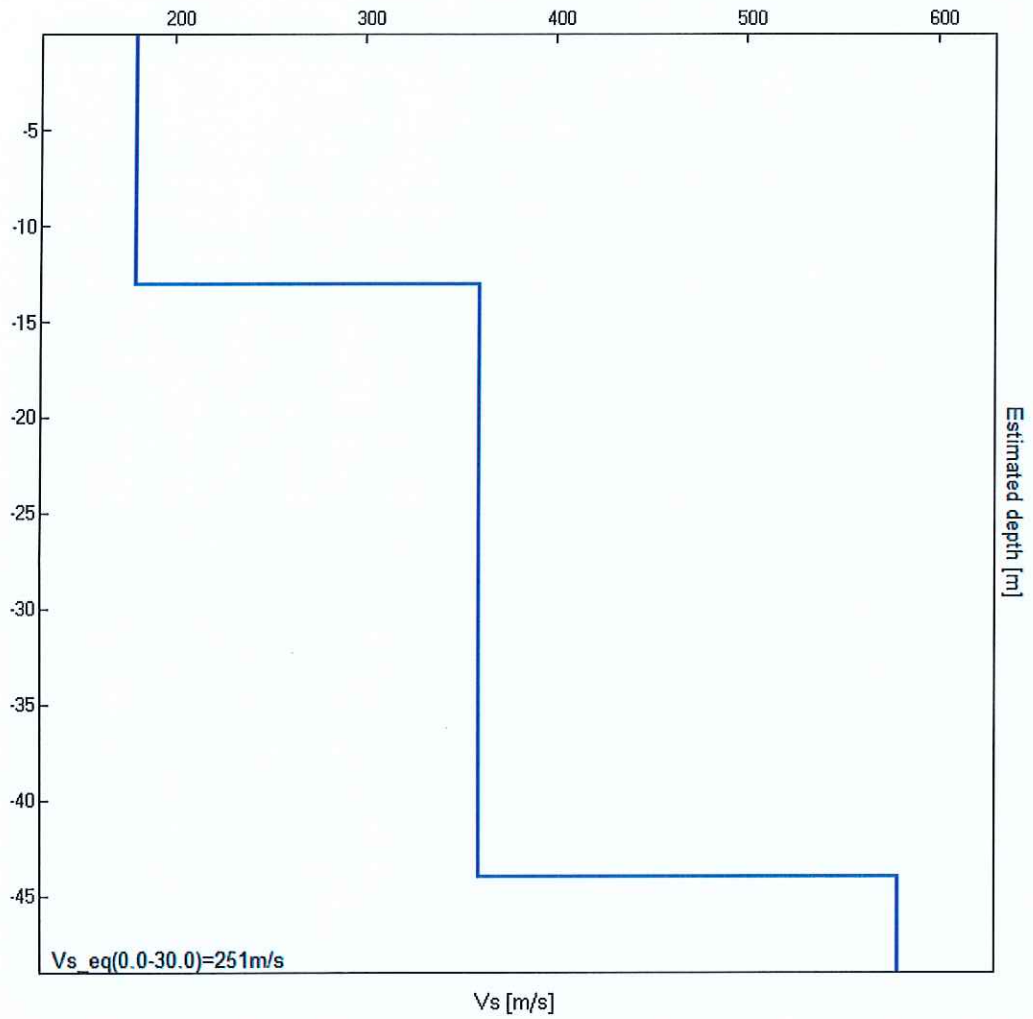
Si riporta che l'esecuzione delle inversioni sismiche è stata realizzata utilizzando i dati stratigrafici ottenuti dall'elaborazione delle prove penetrometriche.

Di seguito vengono proposti i dati sismici relativi alle misure sismiche realizzate nel sito di stretta pertinenza delle indagini.

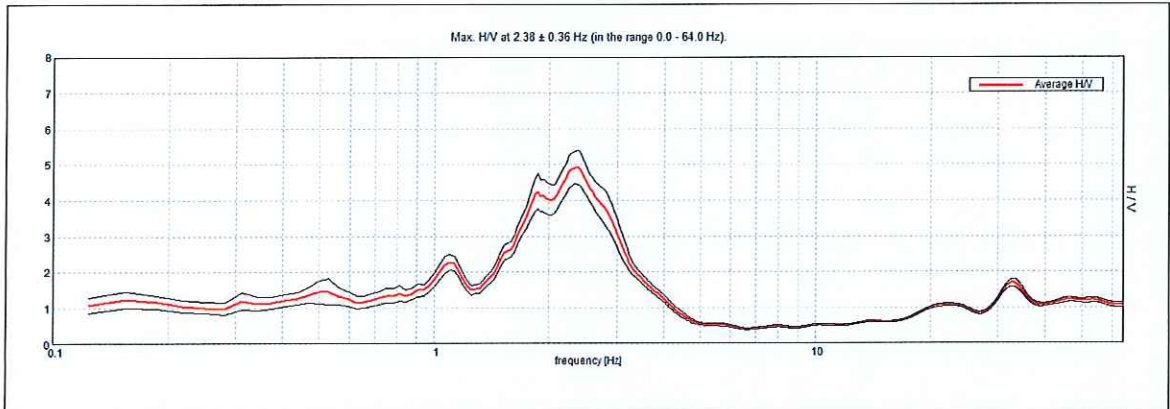
TROMINO 1



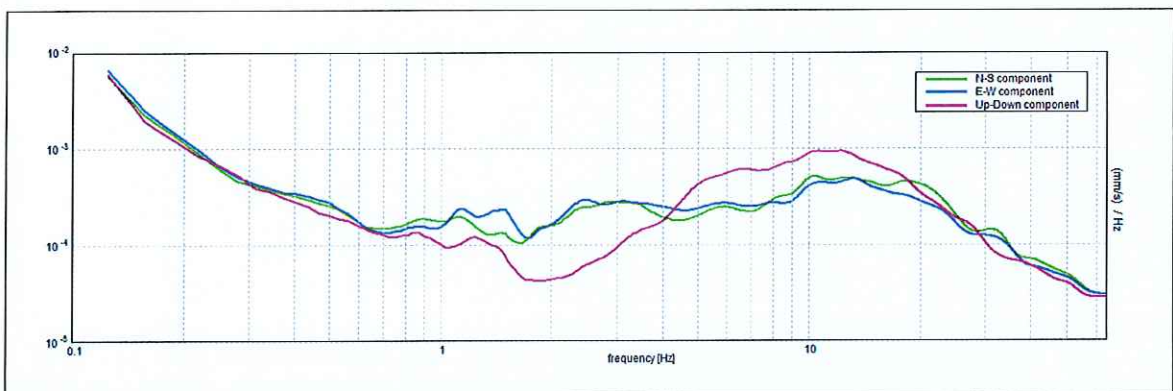
Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
13.00	13.00	180
44.00	31.00	360
inf.	inf.	580



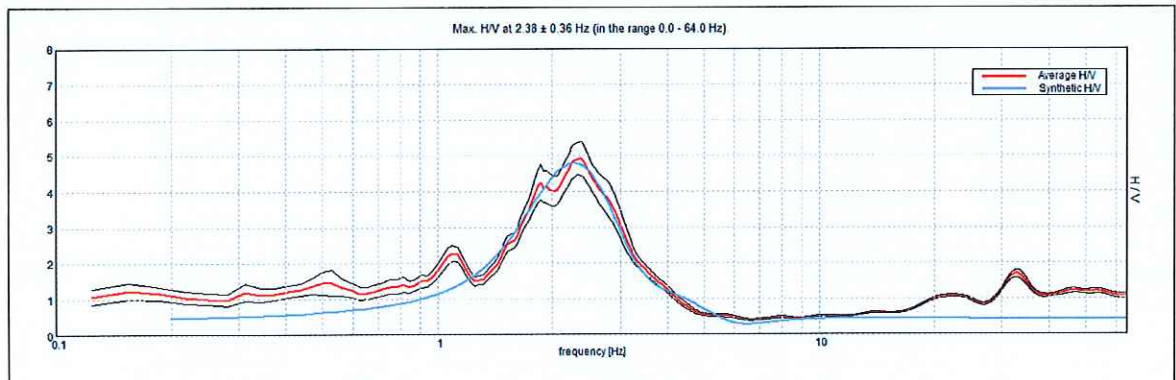
TROMINO 2



Curva H/V (rosso) e intervallo di confidenza al 95% (nero)

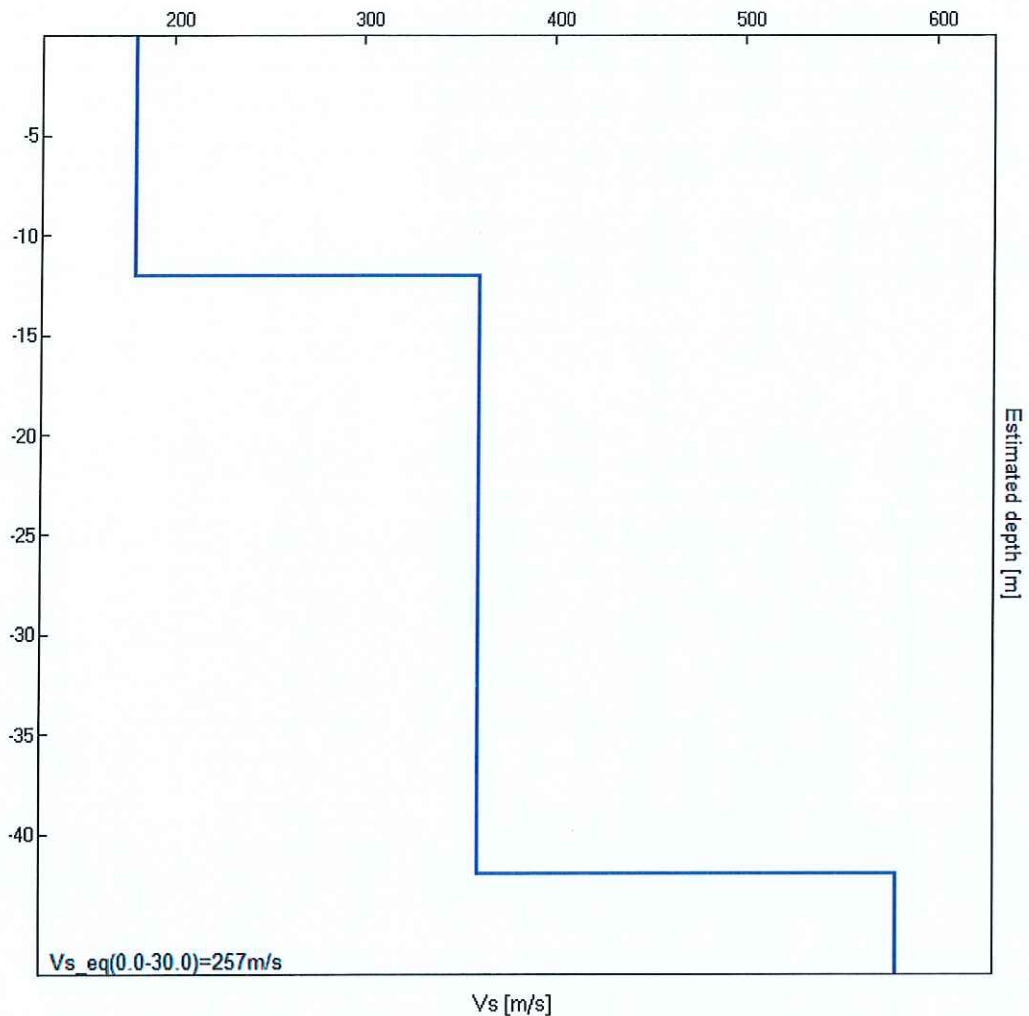


Spettri in velocità delle tre componenti del moto; il massimo di origine stratigrafica nella curva H/V è dato generalmente da un minimo nella componente verticale con o senza massimo nelle componenti orizzontali seguiti da un massimo su tutte e tre le componenti ad una frequenza all'incirca doppia.



Confronto tra curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (azzurro).

Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
12.00	12.00	180
42.00	30.00	360
inf.	inf.	580



Risultati

Dalle indagini sismiche effettuate è possibile calcolare la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni come espressamente richiesto dalla normativa vigente (Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17/01/2018).

$V_{s,30}$ da Tromino n° 1	$V_{s,30}$ da Tromino n° 2
$V_s(0 - 30) \approx 251$ m/s	$V_s(0 - 30) \approx 257$ m/s

In base a quanto riportato nel D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, con la quale sono stati approvati i criteri per l’individuazione delle zone sismiche, i terreni indagati nella presente campagna geognostica, possono essere inseriti all’interno della **categoria C**. A tale classe appartengono 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.”.

Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di V_s ricavati con questa metodologia, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.

Si precisa che, come per le altre tecniche di inversione di dati passivi, le assunzioni di fondo che risiedono nei modelli fanno sì che l'errore di stima del parametro V_s possa raggiungere, nelle condizioni peggiori, il 30%.



RELAZIONE GEOTECNICA – EL.07

Verifica alla liquefazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario ai sensi del § 7.11.3.4 del D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" valutare la necessità di procedere alla verifica della stabilità dell'opera in progetto nei confronti della liquefazione.

Tale fenomeno viene definito come la trasformazione di un materiale granulare dallo stato solido allo stato liquefatto a causa dell'aumento della pressione dell'acqua interstiziale e della corrispondente diminuzione della tensione efficace (Marcuson, 1978).

L'aumento della pressione neutrale è provocata dalla tendenza manifestata dai materiali granulari ad addensarsi a seguito di deformazioni di taglio ciclico. Questo fenomeno assume maggior risalto in terreni granulari di densità bassa e media, con basse caratteristiche di drenaggio (sabbie limose; sabbie e ghiaie limitate da strati di terreno poco permeabile).

Non appena il fenomeno della liquefazione si manifesta, il terreno rammollisce, consentendo lo sviluppo di rilevanti deformazioni cicliche. Nei terreni sciolti il rammollimento è accompagnato da perdita di resistenza al taglio.

L'analisi di un problema di liquefazione consiste nella valutazione di:

- la suscettibilità a liquefazione di un particolare deposito;
- l'eventuale attivazione del fenomeno;
- gli effetti della 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 accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

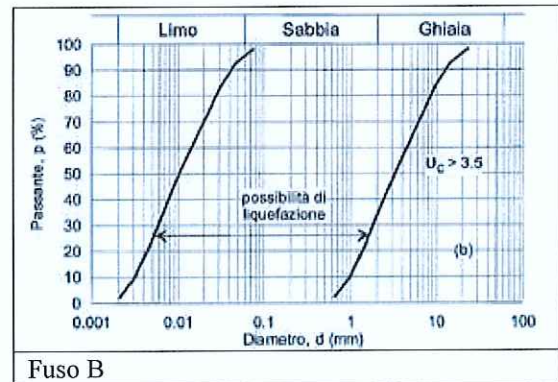
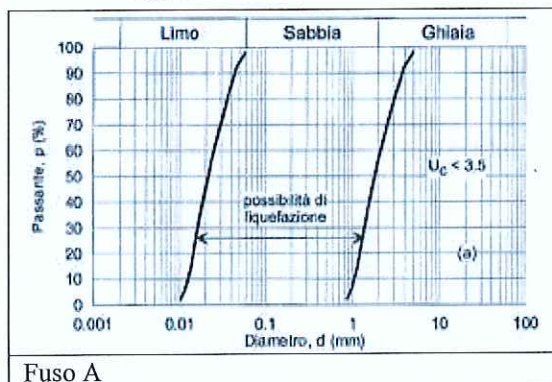
Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

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

- 1) eventi sismici attesi di magnitudo $M < 5$;
- 2) accelerazioni max attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) $< 0,1 g$;

Quando le condizioni 1 e 2 non risultino soddisfatte, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 3, 4 e 5.

- 3) profondità media stagionale della falda > 15 m dal p.c., per p.c. sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 4) 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 (SPT) normalizzata ad una σ'_v di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una σ'_v di 100 kPa;
- 5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura A nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U < 3,5$ ed in Figura B nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U > 3,5$.



Quando nessuna delle suddette condizioni è soddisfatta occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione degli strati sabbiosi sotto falda potenzialmente liquefacibili. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o prove cicliche di laboratorio, stimando l'accelerazione massima attesa l'adeguatezza del margine di sicurezza deve essere motivata e valutata dal progettista.

1.4 Modello geologico di sintesi per la progettazione

Le considerazioni dei paragrafi precedenti hanno permesso, in conformità del § 6.2.1 del D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, di identificare un **modello geologico del sito** tramite la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici e geomorfologici.

Si riportano pertanto nelle tabelle seguenti le principali unità stratigrafiche individuate nell'area in esame:

MODELLO GEOLOGICO							
STRATO	INTERPRETAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL DEPOSITO	PROFONDITÀ	SPESSORE STRATO	γ_m	C_u	C'	ϕ'_m
		[m]	[cm]	[kg / cm ³]	[daN / cm ²]	[daN / cm ²]	[°]
1	Depositi di riporto antropico e terreni naturali rimaneggiati, di natura prevalentemente sabbioso limosa	0,00 – 2,00	200	1800	---	---	27
2	Depositi prevalentemente granulari di natura sabbiosa mediamente compatto	2,00 – 4,50	250	1850	---	---	30
3	Depositi prevalentemente granulari di natura sabbiosa poco compatto	4,50 – 12,40	790	1800	---	---	29
4	Depositi prevalentemente granulari di natura sabbiosa compatto	12,40 – 14,00	160	1850	---	---	33

Dove:

- γ_m = peso di volume (daN/m³)
- C' = coesione efficace (daN /cm²)
- C_u = coesione non drenata (daN /cm²)
- ϕ'_m = angolo di attrito (°)

CONCLUSIONI

Le verifiche fatte, ricavate dalla ricerca e bibliografica; dal rilevamento dell'area e dalle prove in sito effettuate permettono di trarre le seguenti conclusioni:

1. Dal punto di vista **geomorfologico** l'area è in zona pianeggiante in prossimità del torrente Falcinallo e a qualche centinaio di metri dal Fiume Magra, ad una quota topografica di circa 20 m S.L.d.M.. Gli elementi geomorfologici che più hanno influito sull'evoluzione del sito sono gli eventi gravitativi e colluviali del versante a ovest dell'area di stretta pertinenza, predisposti da un inquadramento strutturale deformativo che ha impostato un'ampia piega vergente verso sud ovest e di un sollevamento deformativo che ha portato un rinnovamento degli agenti erosivi in essere.

2. La **stratigrafia** osservata indirettamente con le prove penetrometriche riferiscono di un sito sostanzialmente omogeneo dal punto di vista della natura dei depositi stratigrafici presenti, con delle alternanze cicliche di depositi compatti e poco compatti di natura sostanzialmente granulare sabbiosa, tali depositi sono stati documentati in bibliografia e denominati Subsistema di Posticciole coincidendo con quanto indicato nella documentazione esistente.

3. Dal punto di vista **idrogeologico** l'area è fortemente influenzata dalla stratigrafia di natura sostanzialmente granulare che è provvista di una buona permeabilità naturale. Nei fori lasciati liberi dalle prove penetrometriche è stato misurato il livello di falda che risulta stabile ad una profondità di circa 3,2m dal piano campagna. Il livello misurato indica un livello suscettibile di variazioni stagionali e potrebbe subire delle consistenti variazioni, in caso di necessità si consiglia di eseguire un monitoraggio prolungato nel tempo per misurare tali variazioni.

4. Dalle prove in sito eseguite si è potuto stabilire, sulla base dell'indagine sismica, l'appartenenza del suolo alla **categoria di sottosuolo tipo 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) e alla **categoria topografica T1**.

5. Dalle verifiche di suscettibilità alla liquefazione risulta che **NON si possono escludere fenomeni di liquefazione dei terreni attraversati**, in caso di necessità si consiglia di eseguire delle indagini di sito specifiche con prelievo di campioni per dare indicazioni sulla classe granulometrica delle sabbie riscontrate indirettamente tramite le prove penetrometriche ed eventuali prove geofisiche in foro di sondaggio (Cross Hole).

6. Si conferma una generale fattibilità delle opere previste con le seguenti prescrizioni:

- si consiglia di prevedere adeguate opere ed accorgimenti per la salvaguardia delle acque di ruscellamento.
- non effettuare alcun movimento terra senza prima avvertire la Direzione Lavori che valuterà se è necessaria anche la presenza del geologo;
- contattare tempestivamente lo scrivente per gli opportuni accertamenti nel caso in cui:
 - ✓ venissero riscontrate delle evidenze stratigrafiche diverse da quelle ipotizzate nella presente relazione;
 - ✓ si rendessero necessarie delle lavorazioni in periodi piovosi e si riscontrasse presenza d'acqua in un'area inerente la zona in oggetto di indagini.

Vicenza, 20 Dicembre 2018

Dott. Geol. Paolo Cornale



Allegati: Tabulati e grafici delle prove penetrometriche

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n° 1

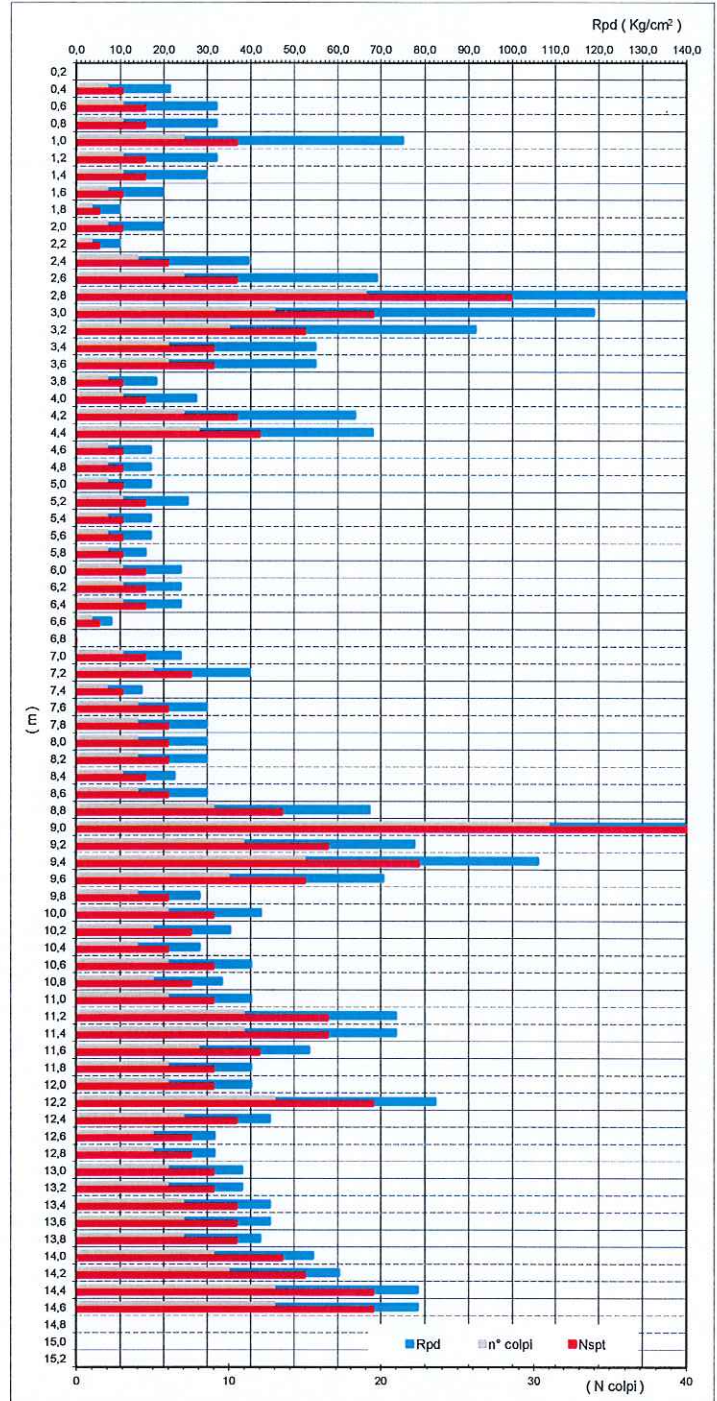
Committente: Iconia Ingegneria Civile S.r.l. - Viale Lisbona, 28/A - 35127 Padova

Data: 14.12.18

Cantiere: Caserma Forestale di Sarzana e Compendio n. 5 - Via Boettola traversa II snc

Falda: -3,00 m

n. aste	Profondità (m)	Numero di colpi N	R _{pd} (Kg/cm ²)	N _{spt}
1	0,0 - 0,2			
	0,2 - 0,4	2	21,5	3
	0,4 - 0,6	3	32,2	5
	0,6 - 0,8	3	32,2	5
	0,8 - 1,0	7	75,1	11
1,0 - 1,2	3	32,2	5	
2	1,2 - 1,4	3	29,6	5
	1,4 - 1,6	2	19,8	3
	1,6 - 1,8	1	9,9	2
	1,8 - 2,0	2	19,8	3
	2,0 - 2,2	1	9,9	2
	2,2 - 2,4	4	39,5	6
	2,4 - 2,6	7	69,2	11
3	2,6 - 2,8	19	173,9	29
	2,8 - 3,0	13	119,0	20
	3,0 - 3,2	10	91,5	15
	3,2 - 3,4	6	54,9	9
	3,4 - 3,6	6	54,9	9
	3,6 - 3,8	2	18,3	3
	3,8 - 4,0	3	27,5	5
	4,0 - 4,2	7	64,1	11
4	4,2 - 4,4	8	68,2	12
	4,4 - 4,6	2	17,1	3
	4,6 - 4,8	2	17,1	3
	4,8 - 5,0	2	17,1	3
	5,0 - 5,2	3	25,6	5
	5,2 - 5,4	2	17,1	3
5,4 - 5,6	2	17,1	3	
5	5,6 - 5,8	2	16,0	3
	5,8 - 6,0	3	23,9	5
	6,0 - 6,2	3	23,9	5
	6,2 - 6,4	3	23,9	5
	6,4 - 6,6	1	8,0	2
	6,6 - 6,8	0	0,0	0
	6,8 - 7,0	3	23,9	5
7,0 - 7,2	5	39,9	8	
6	7,2 - 7,4	2	15,0	3
	7,4 - 7,6	4	30,0	6
	7,6 - 7,8	4	30,0	6
	7,8 - 8,0	4	30,0	6
	8,0 - 8,2	4	30,0	6
	8,2 - 8,4	3	22,5	5
	8,4 - 8,6	4	30,0	6
	8,6 - 8,8	9	67,5	14
	8,8 - 9,0	31	219,2	47
9,0 - 9,2	11	77,8	17	
9,2 - 9,4	15	106,1	23	
9,4 - 9,6	10	70,7	15	
9,6 - 9,8	4	28,3	6	
9,8 - 10,0	6	42,4	9	
10,0 - 10,2	5	35,4	8	
10,2 - 10,4	4	28,3	6	
8	10,4 - 10,6	6	40,1	9
	10,6 - 10,8	5	33,5	8
	10,8 - 11,0	6	40,1	9
	11,0 - 11,2	11	73,6	17
	11,2 - 11,4	11	73,6	17
	11,4 - 11,6	8	53,5	12
	11,6 - 11,8	6	40,1	9
	11,8 - 12,0	6	40,1	9
9	12,0 - 12,2	13	82,5	20
	12,2 - 12,4	7	44,4	11
	12,4 - 12,6	5	31,7	8
	12,6 - 12,8	5	31,7	8
	12,8 - 13,0	6	38,1	9
	13,0 - 13,2	6	38,1	9
	13,2 - 13,4	7	44,4	11
13,4 - 13,6	7	44,4	11	
10	13,6 - 13,8	7	42,3	11
	13,8 - 14,0	9	54,4	14
	14,0 - 14,2	10	60,4	15
	14,2 - 14,4	13	78,5	20
	14,4 - 14,6			
	14,6 - 14,8			
	14,8 - 15,0			
15,0 - 15,2				



STRATO	PROFONDITA' (m)	SPESSORE (m)	VALORI MEDI			VALUTAZIONE DELLO STATO DI ADDENSAMENTO
			N colpi	Rpd	Nspt	
A	0,0 - 2,4	2,4	3	29	4	sciolto
B	2,4 - 3,6	1,2	10	94	15	moderatamente addensato
C	3,6 - 8,6	5,0	3	25	5	poco addensato
D	8,6 - 9,6	1,0	15	108	23	moderatamente addensato
D	9,6 - 14,0	4,4	7	45	10	poco addensato
F	14,0 - 14,4	0,4	12	69	17	moderatamente addensato

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n° 2

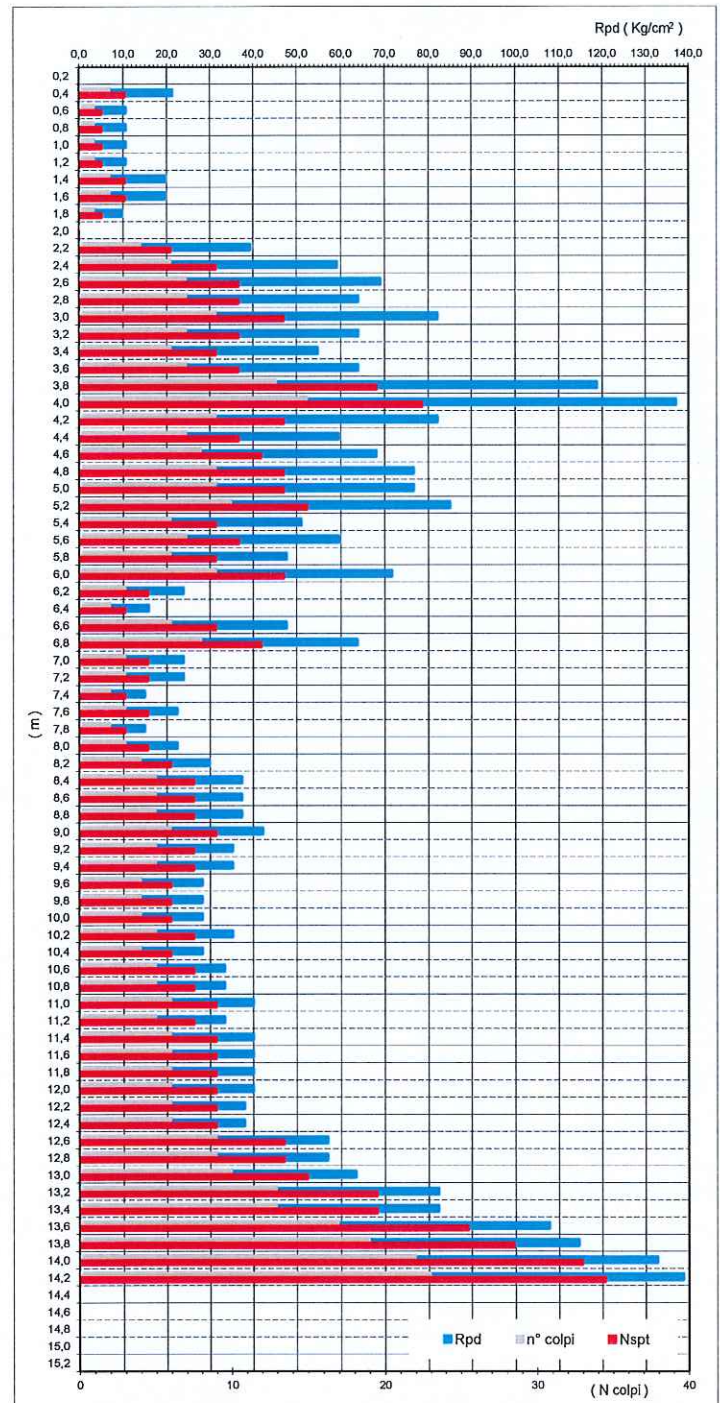
Committente: Icona Ingegneria Civile S.r.l. - Viale Lisbona, 28/A - 35127 Padova

Data: 14.12.18

Cantiere: Caserma Forestale di Sarzana e Compendio n. 5 - Via Boettola traversa II snc

Falda: -3,20 m

n. aste	Profondità (m)	Numero di colpi N	R _{pd} (Kg/cm ²)	N _{spt}
1	0,0 - 0,2	2	21,5	3
	0,2 - 0,4	1	10,7	2
	0,4 - 0,6	1	10,7	2
	0,6 - 0,8	1	10,7	2
	0,8 - 1,0	1	10,7	2
2	1,0 - 1,2	1	10,7	2
	1,2 - 1,4	2	19,8	3
	1,4 - 1,6	2	19,8	3
	1,6 - 1,8	1	9,9	2
	1,8 - 2,0	0	0,1	0
	2,0 - 2,2	4	39,5	6
3	2,2 - 2,4	6	59,3	9
	2,4 - 2,6	7	69,2	11
	2,6 - 2,8	7	64,1	11
	2,8 - 3,0	9	82,4	14
	3,0 - 3,2	7	64,1	11
	3,2 - 3,4	6	54,9	9
	3,4 - 3,6	7	64,1	11
4	3,6 - 3,8	13	119,0	20
	3,8 - 4,0	15	137,3	23
	4,0 - 4,2	9	82,4	14
	4,2 - 4,4	7	59,7	11
5	4,4 - 4,6	8	68,2	12
	4,6 - 4,8	9	76,7	14
	4,8 - 5,0	9	76,7	14
	5,0 - 5,2	10	85,3	15
	5,2 - 5,4	6	51,2	9
6	5,4 - 5,6	7	59,7	11
	5,6 - 5,8	6	47,9	9
	5,8 - 6,0	9	71,8	14
	6,0 - 6,2	3	23,9	5
	6,2 - 6,4	2	16,0	3
	6,4 - 6,6	6	47,9	9
7	6,6 - 6,8	8	63,8	12
	6,8 - 7,0	3	23,9	5
	7,0 - 7,2	3	23,9	5
	7,2 - 7,4	2	15,0	3
	7,4 - 7,6	3	22,5	5
8	7,6 - 7,8	2	15,0	3
	7,8 - 8,0	3	22,5	5
	8,0 - 8,2	4	30,0	6
	8,2 - 8,4	5	37,5	8
	8,4 - 8,6	5	37,5	8
	8,6 - 8,8	5	37,5	8
9	8,8 - 9,0	6	42,4	9
	9,0 - 9,2	5	35,4	8
	9,2 - 9,4	5	35,4	8
	9,4 - 9,6	4	28,3	6
	9,6 - 9,8	4	28,3	6
	9,8 - 10,0	4	28,3	6
10	10,0 - 10,2	5	35,4	8
	10,2 - 10,4	4	28,3	6
	10,4 - 10,6	5	33,5	8
	10,6 - 10,8	5	33,5	8
	10,8 - 11,0	6	40,1	9
	11,0 - 11,2	5	33,5	8
11	11,2 - 11,4	6	40,1	9
	11,4 - 11,6	6	40,1	9
	11,6 - 11,8	6	40,1	9
	11,8 - 12,0	6	40,1	9
	12,0 - 12,2	6	38,1	9
	12,2 - 12,4	6	38,1	9
12	12,4 - 12,6	9	57,1	14
	12,6 - 12,8	9	57,1	14
	12,8 - 13,0	10	63,5	15
	13,0 - 13,2	13	82,5	20
	13,2 - 13,4	13	82,5	20
	13,4 - 13,6	17	107,9	26
13	13,6 - 13,8	19	114,8	29
	13,8 - 14,0	22	132,9	33
	14,0 - 14,2	23	138,9	35
	14,2 - 14,4			
	14,4 - 14,6			
	14,6 - 14,8			
14	14,8 - 15,0			
	15,0 - 15,2			



STRATO	PROFONDITA' (m)	SPESSORE (m)	VALORI MEDI			VALUTAZIONE DELLO STATO DI ADDENSAMENTO
			N colpi	Rpd	Nspt	
A	0,0 - 2,0	2,0	1	13	2	sciolto
B	2,0 - 5,2	3,2	8	75	12	moderatamente addensato
C	5,2 - 12,4	7,2	5	36	7	poco addensato
D	12,4 - 14,2	1,8	17	103	25	moderatamente addensato