



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.

Ex Caserma Pietro Crespi - fabbricato caserma
Via Strato 2, Imperia

Responsabile Unico del Procedimento
arch. Riccardo Blanco

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

EL 05 RF
EL 07 RGEO
EL 08 CT
REV.

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

File: EL 05 RF, EL 07 RGEO, EL 08 CT

n. Elab.:



INDAGINI E RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA CASERMA "PIETRO CRESPI" di IMPERIA

Rif. 18CO14033

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 CT	4
ANALISI DEI VINCOLI	5
RELAZIONE GEOLOGICA – EL 07 RGeo	6
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE	11
SCAVI FONDAZIONALI – EL.05 RF	15
RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOFISICHE – EL 07	22
CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	22
INDAGINE SISMICA DI TIPO ATTIVO IN ARRAY (M.A.S.W.)	22
Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate	25
Indagine sismica attiva (M.A.S.W.) n. 1	25
Indagine sismica attiva (M.A.S.W.) n. 2	27
Categoria di sottosuolo di fondazione	29
RELAZIONE GEOTECNICA – EL 07	31
Verifica alla liquefazione	31
1.3 MODELLAZIONE GEOLOGICA	33
1.3.1 Analisi geologico-stratigrafica e geomorfologica	33
1.3.2 Analisi idrogeologica	33
1.4 MODELLO GEOLOGICO DI SINTESI PER LA PROGETTAZIONE	34
CONCLUSIONI	35

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 "Pietro Crespi" situata in via Strato n. 2 nel Comune di Imperia (cod bene IM0098). 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. 3 scavi fondazionali;
- n. 2 prove sismiche attive MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) per la determinazione delle Vs30

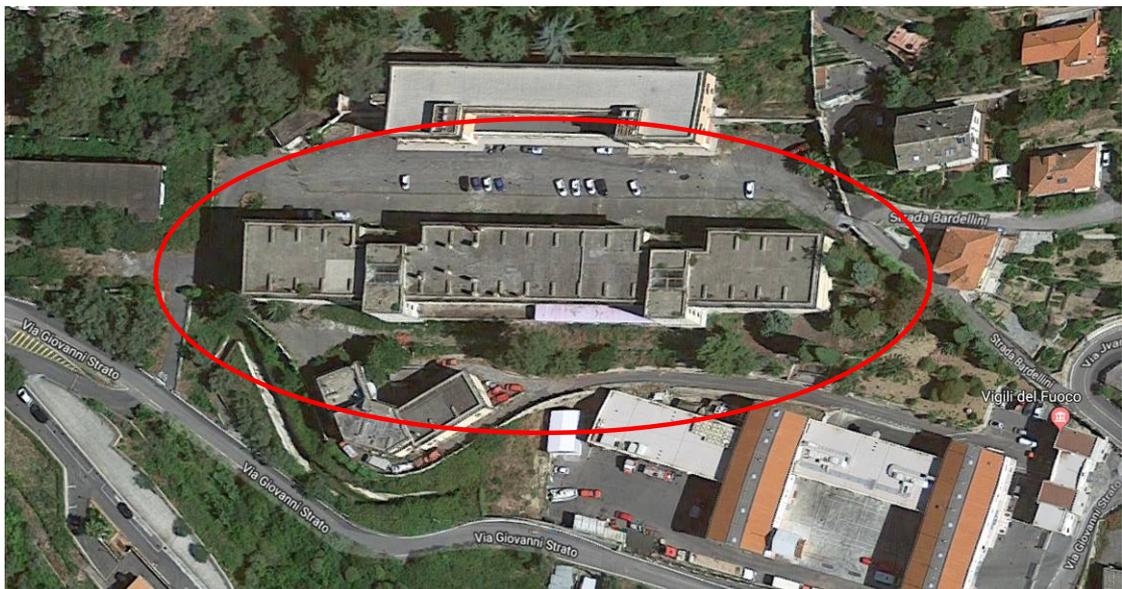
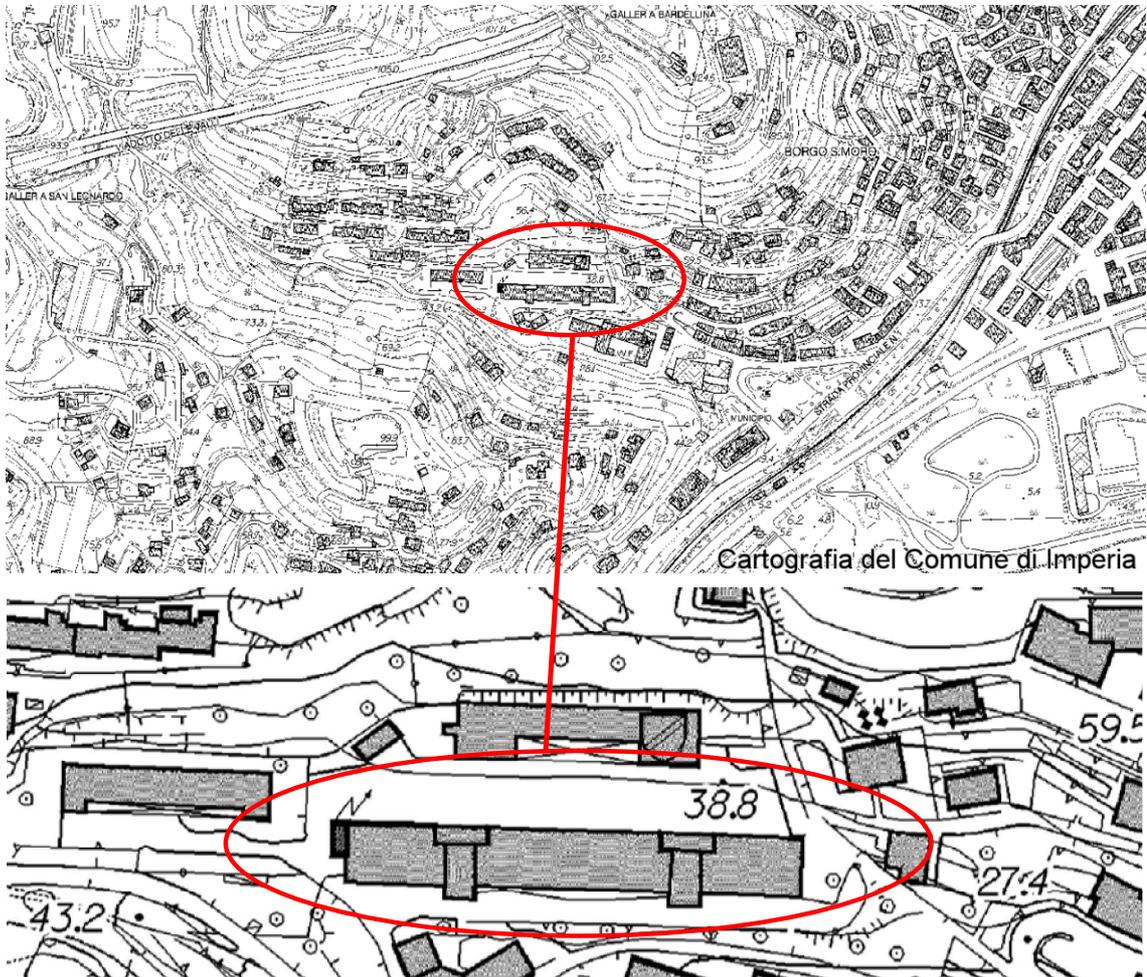


I risultati sono compendati nelle pagine seguenti.

RELAZIONE TOPOGRAFICA – EL 08 CT

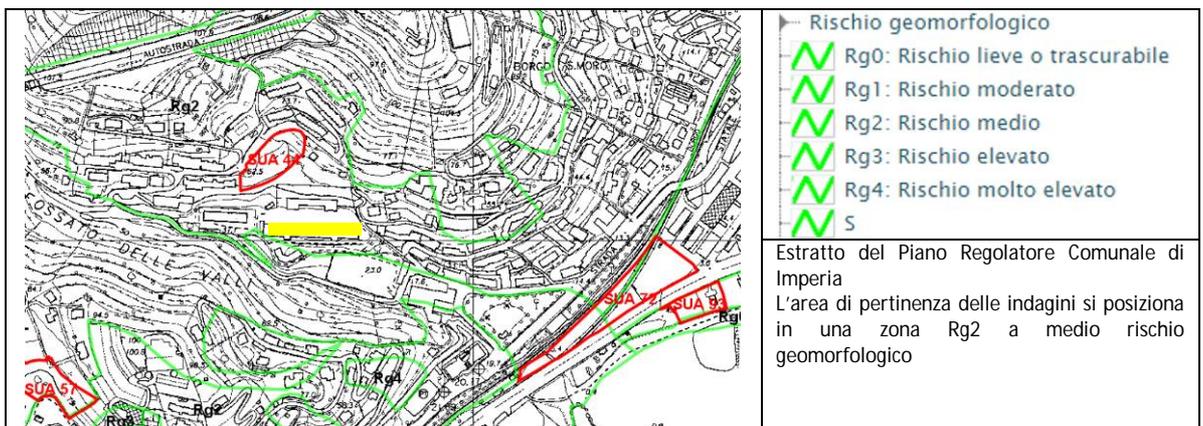
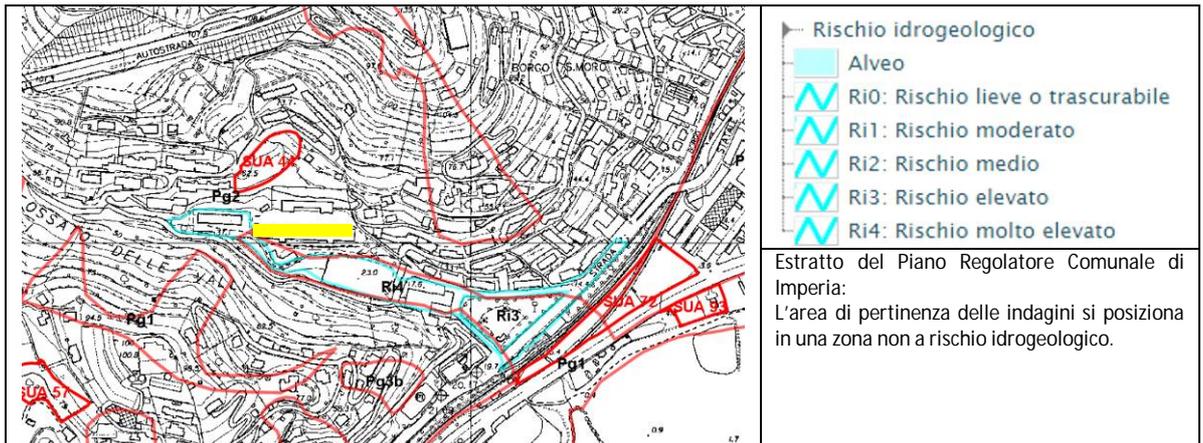
L'area oggetto delle indagini è situata nel Comune di Imperia.

Fig. 2 - Tratto da: Carta Tecnica Regionale della Liguria 1:5000. Elemento 259094



ANALISI DEI VINCOLI

Dalla consultazione delle carte di governo del territorio risulta che l'area in oggetto è posta in una zona nel comune di Imperia sul versante esposto a sud ad una quota topografica di circa 60m S.L.d.M.. Le maggiori evidenze nell'area circostante sono inerenti la presenza del tracciato autostradale posto a nord e di un'area ad elevato rischio idrogeologico posta a sud; nell'area di stretta pertinenza delle indagini non è inserito nessun rischio potenziale deducibile dalle carte dei vincoli visibili nel sito del comune di Imperia.



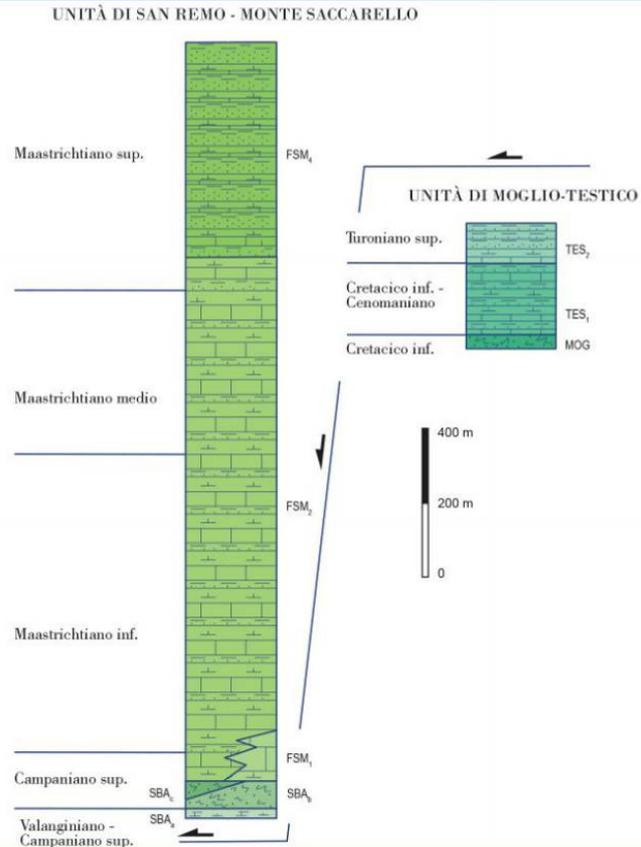
la valle, questo come gli altri corsi d'acqua hanno sviluppo con andamento circa NNW-SSE.

Oltre alle formazioni naturali si riscontra che la fascia costiera è intensamente urbanizzata in relazione all'attività turistica, i tratti terminali dei corsi d'acqua sono sistemati e canalizzati, i torrenti minori spesso sono stati ristretti. Nella fascia costiera sono stati messi in opera moli e strutture ortogonali alla costa a salvaguardia delle spiagge e strutture balneari o per indurre sedimentazione e tra le opere più evidenti spicca

il porto di Imperia particolarmente sviluppato; tutte queste opere hanno irrigidito il sistema costiero condizionandone l'evoluzione.

Nelle zone retrostanti la costa l'apporto antropico è evidente nella sistemazione dei versanti con modellamenti a terrazze inizialmente per le coltivazioni dell'ulivo, va sottolineato che laddove non viene rinnovata la manutenzione del territorio le aree sono soggette a processi gravitativi frequenti e diffusi.

SCHEMA DEI RAPPORTI STRATIGRAFICI DEL SUBSTRATO PRE-PLIOCENICO

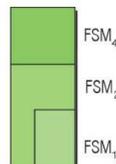


FORMAZIONI GEOLOGICHE

B2 Coltri Eluvio colluviali si tratta di depositi eterogenei con clasti eterometrici immersi in abbondante matrice limoso sabbiosa. Tali accumuli derivano da alterazione del substrato in situ e deposizione a seguito della loro mobilitazione ad opera combinata di fenomeni gravitativi e delle acque di ruscellamento superficiale. Nel sito di stretta pertinenza delle indagini si hanno spessori fino a 2,0-2,5m. Morfologicamente si dispongono in superfici a debole inclinazione.

FSM4 Flysh di S Remo suddiviso in 4 membri nell'area di pertinenza si individua il Membro di S Lorenzo (**FSM4**) in cui prevalgono strati arenacei argilliti e marnosi con rare intercalazioni marnose ed arenacee di spessore di 1-2 m.

Estratto da: Carta Geologica F.259 "Imperia", scala 1:50.000



FLYSCH DI SAN REMO

Strati arenaceo-argillitico-marnosi, con rare intercalazioni di calcilutiti e rari strati marnoso-arenacei (FSM₄; membro "San Lorenzo" - Foglio 258-271 "San Remo"); spessore massimo di circa 600 m; marne ed arenarie calcaree costituenti strati torbiditici, con spessori inferiori a quelli del membro basale sottostante (FSM₂); presenti inoltre livelli calcilutitici passanti a strati marnoso-arenacei e arenaceo-argillitici (FSM₁; membro "Villa Faraldi"); tale membro presenta uno spessore massimo stimato in circa 1500 m; marne e arenarie calcaree costituenti potenti strati torbiditici, organizzati in sequenze positive, con porzione sommitale calcilutitica; presenza di rari strati arenaceo-argillitici; spessore di circa 80 m (FSM₁; membro "Capo Mele").

L'intera formazione è costituita da torbiditi depositatesi in ambiente pelagico profondo, al disopra della sottostante Formazione di San Bartolomeo. Lo spessore massimo totale della formazione può raggiungere i 2200 m.

FSM₄ è attribuito al **MAASTRICHTIANO SUP.** (Zone CC25 pp. - CC26).

FSM₂ al **CAMPANIANO SUP. p.p.-MAASTRICHTIANO SUP. p.p.** (Zone CC22 - CC25)

FSM₁ al **CAMPANIANO SUP.-MAASTRICHTIANO INF.** (Zone CC22-CC23)



Depositi di frana antica: depositi gravitativi di materiale eterogeneo ed eterometrico, antichi di frana quiescente o stabilizzata.
PLEISTOCENE - OLOCENE

DEPOSITI QUATERNARI

AREE EMERSE



Detriti di versante: depositi di origine gravitativa di spessore variabile, costituiti da materiali eterometrici, spigolosi talora con prevalenza di grossi blocchi, non cementati con scarsa matrice.



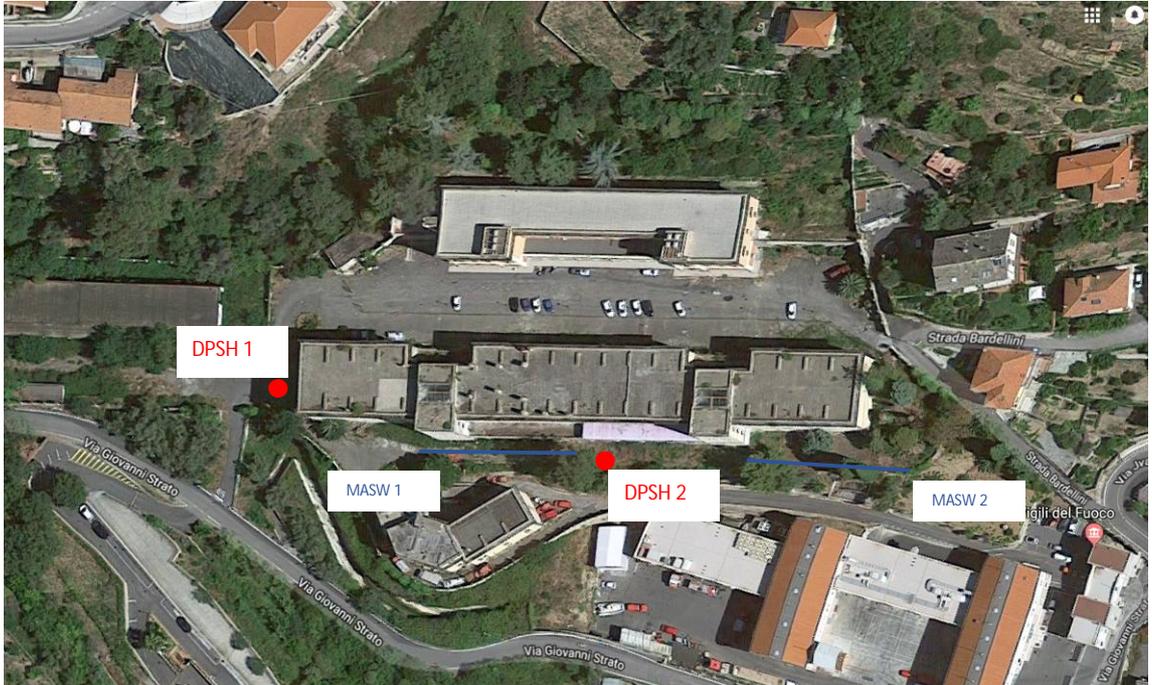
Coltri eluvio colluviali : coperture detritiche di spessore medio elevato dovute ad alterazione in situ e in seguito mobilizzate da processi di versante, costituite da clasti eterometrici di varia litologia in matrice pelitica e/o sabbioso-ghiaiosa con copertura pedogenetica, assai spesso rimaneggiata.

Pliocene - Olocene		b	Depositi alluvionali: depositi ciottolosi, ghiaiosi e/o sabbiosi, accumulati lungo le principali aste torrentizie, soggetti ad evoluzione per processi fluviali attuali.
		g ₂	Depositi di spiaggia: depositi ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi di spiaggia emersa, di origine sia naturale che artificiale.
		a _{1r}	Depositi di frana recente: depositi gravitativi di materiale eterogeneo ed eterometrico con e senza segni di riattivazione.
		h	Depositi antropici
		b _{A13}	Depositi alluvionali terrazzati: depositi ghiaiosi e sabbiosi talora con intercalazioni limose, posti lungo le valli principali a varie quote rispetto all'alveo attuale. Frequente presenza di suolo da poco a molto evoluto. <i>PLEISTOCENE MEDIO - OLOCENE</i>

	40	Strati diritti		Cava attiva e inattiva
	60	Strati rovesciati		Sorgente
	30	Superficie di scistosità		Pozzo per acqua
		Contatto stratigrafico		Sondaggio esplorativo
		Faglia		Cavità ipogea
		Faglia inversa		Conoide detritico
		Faglia trascorrente sinistra		Conoide alluvionale
		Sovrascorrimento		Deformazione gravitativa profonda di versante
		Faglia sepolta		Traccia di sezione geologica
		Faglia diretta sepolta		
		Faglia inversa sepolta		
		Faglia con prevalente componente trascorrente		
		Traccia di superficie assiale di antiforme		
		Traccia di superficie assiale di antiforme sepolta		
		Traccia di superficie assiale di sinforme		
		Traccia di superficie assiale di sinforme sepolta		

INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO

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

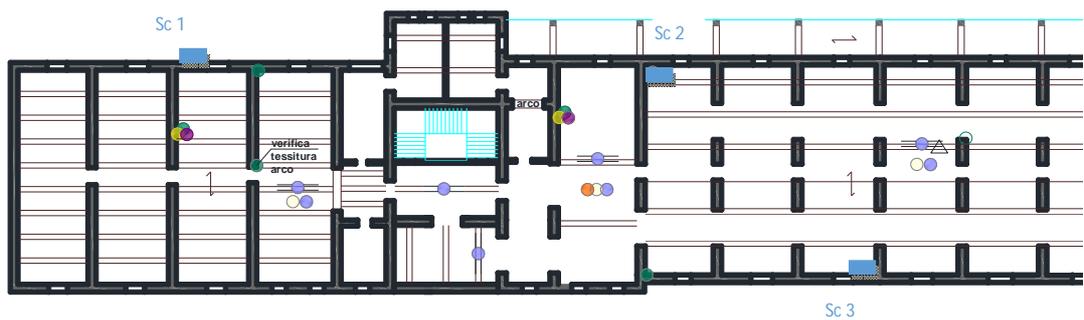


LEGENDA:

DPSH: prova penetrometrica superpesante

MASW: Prova sismica attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) per la determinazione delle Vs30

Sc 1: scavo fondazionale



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
medio	DPM medium	30 Kg	0,20 m	35,7 mm

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

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

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 Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. 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 QSPT 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 δt per il penetrometro DPSH superpesante utilizzato risulta pari a 1,5;
mentre il coefficiente δt 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	- 0,8	80	4	47	7	Rimaneggiato antropico
B	0,8	- 1,2	40	19	199	28	moderatamente addensato
C	1,2	- 2,0	80	8	77	12	moderatamente addensato
D	2,0	- 3,0	100	30	281	44	molto 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 - 1,0	100	10	107	15	Rimaneggiato antropico
B	1,0 - 1,4	40	24	242	35	addensato
C	1,4 - 2,6	120	16	160	24	moderatamente addensato
D	2,6 - 3,0	40	36	330	54	molto addensato

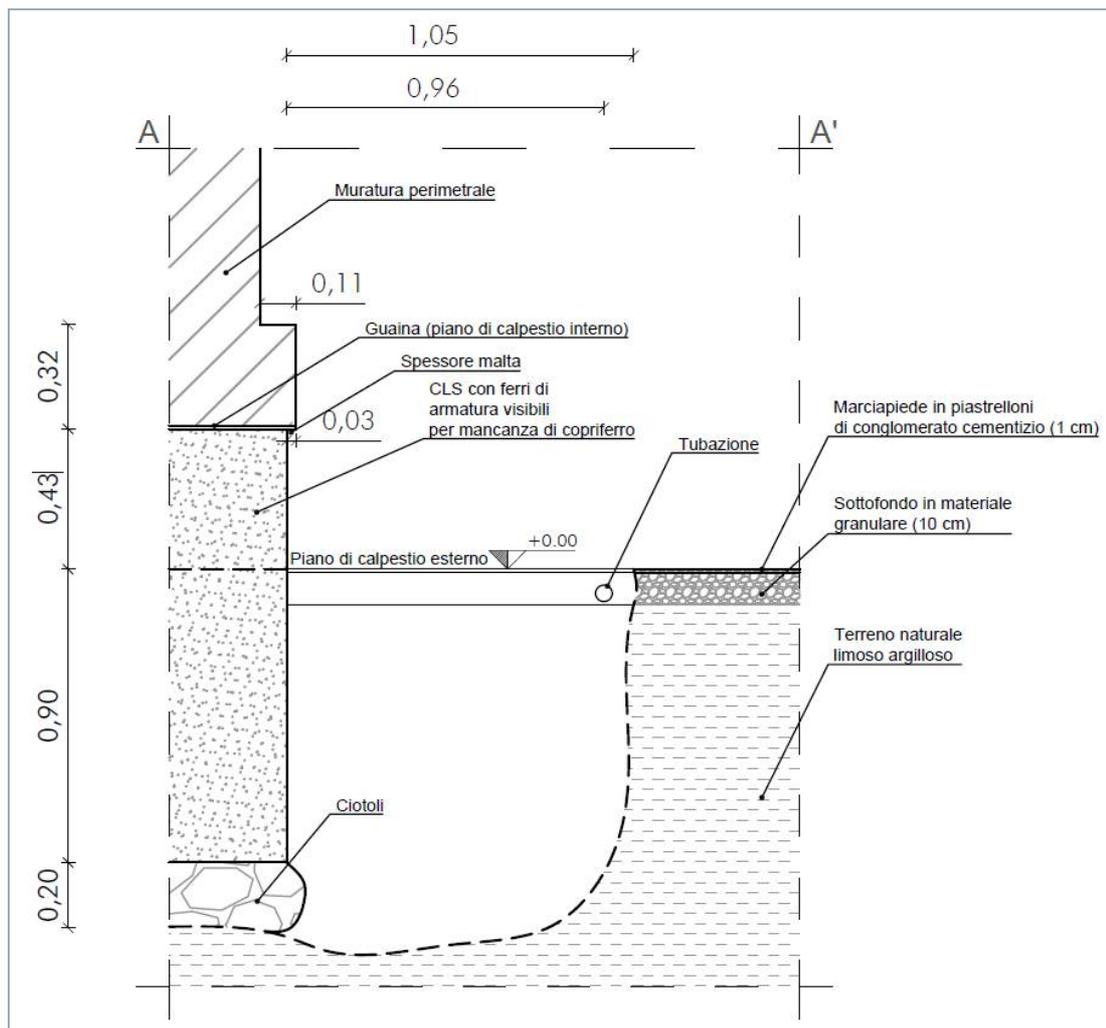
SCAVI FONDAZIONALI – EL.05 RF

Finalità e Metodologia di Prova

Allo scopo di un'osservazione diretta del terreno prossimo al piano campagna e dell'interazione tra quest'ultimo e le strutture fondazionali degli edifici, nonché allo scopo di un'osservazione diretta della geometria fondazionale sono stati eseguiti tre scavi fondazionali, fino al limite inferiore della fondazione con osservazione diretta dell'intradosso.

SCAVO FONDAZIONALE n° 1: lo scavo fondazionale n° 1 è stato eseguito nella facciata della struttura. Il piano di scavo inizia dal piano di calpestio esterno coincidente con una marciapiede a piastrelloni di conglomerato cementizio seguiti da un sottofondo in materiale granulare; al di sotto si rinviene del terreno naturale di natura limoso argillosa.

Sul lato della struttura è stata messa a nudo la fondazione con un approfondimento dello scavo fino a circa 1,5 m dal piano pavimento. La struttura muraria perimetrale si allarga di 11 cm rispetto al muro in elevazione, prosegue in continuità per circa 32 cm fuori terra, per poi posare su una fondazione in calcestruzzo armato che resta fuori terra per 43 cm e si approfondisce per altri 90 cm sotto il piano di calpestio. L'intradosso di fondazione è quindi a -90 cm a partire dal piano di calpestio e si posa su un livelletto di ciotoli facente funzione di bonifica del piano di appoggio.





Scavo 1 Sezione schematica della fondazione



Foto panoramica dello scavo 1 eseguito in esterno



Foto panoramica dello scavo 1; non è visibile alcun allargamento della fondazione in CLS armato, l'intradosso è posto a -90 cm dal piano di calpestio.

SCAVO FONDAZIONALE n° 2: lo scavo fondazionale n° 2 è stato eseguito all'interno della struttura (vedasi planimetria). Il piano di scavo inizia dalla pavimentazione a cui segue un massetto di 10 cm ed un sottofondo di materiale naturale misto granulare a ciottoli in matrice limoso argillosa di spessore 40 cm; il deposito sottostante di origine naturale è di prevalentemente limoso argilloso.

Sul lato della struttura è stato messa a nudo la fondazione con un approfondimento dello scavo fino a circa 1,5 m dal piano pavimento. La struttura verticale del muro perimetrale prosegue in profondità per circa 11 cm in calcestruzzo e poi è visibile una guaina interposta ad un allargamento verso l'interno di spessore 8 cm sul muro lato mare e un allargamento verso l'interno di spessore 5 cm sul muro perpendicolare al lato mare. A partire da tale quota si osserva un approfondimento della fondazione di calcestruzzo per altri 120 cm e quindi un intradosso di fondazione a -131 cm dal piano di calpestio; sull'ultima parte prima del piano di posa è visibile un dente di circa 6 cm che allarga il piano di contatto con il terreno naturale.

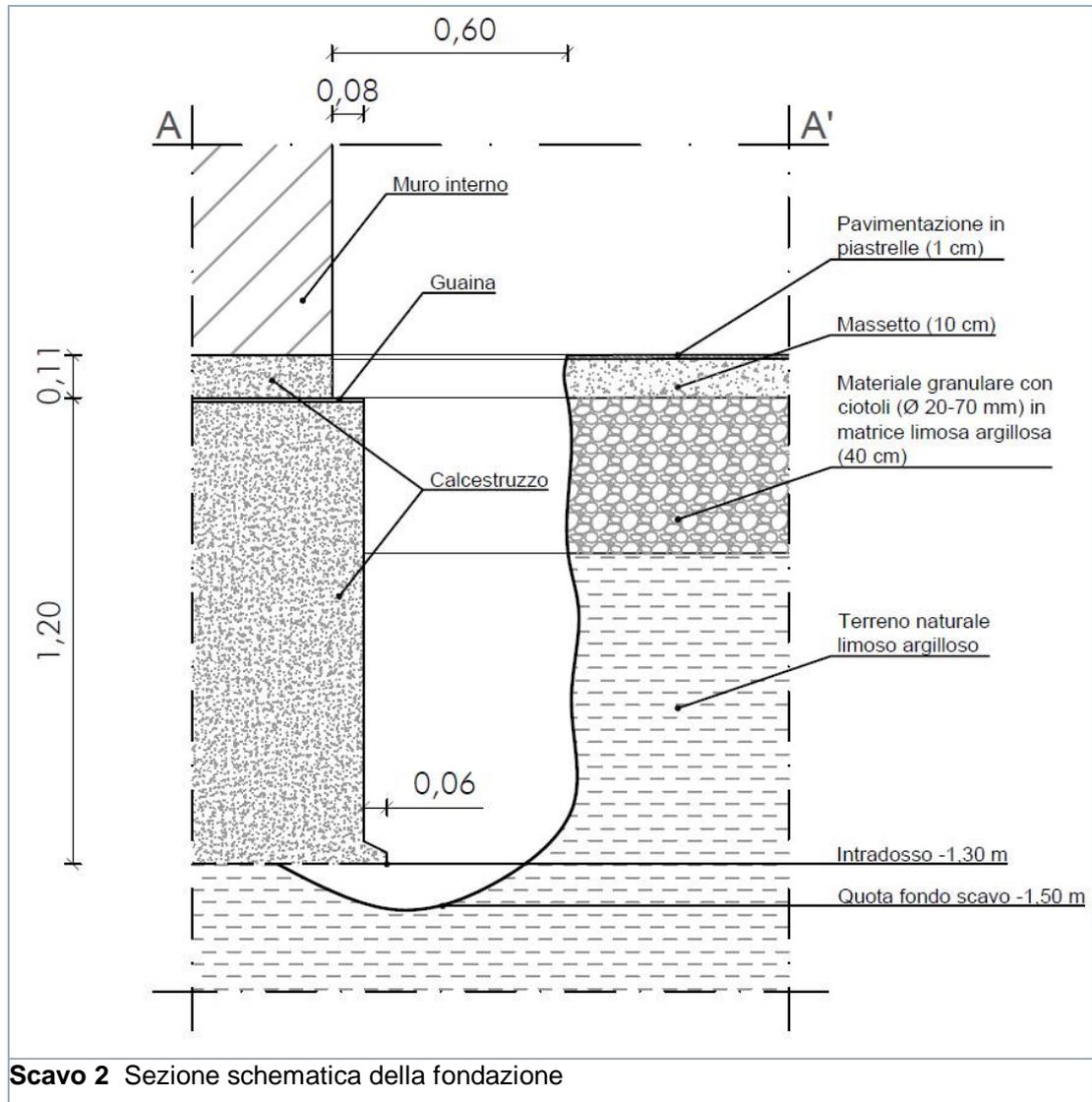




Foto
panoramica
dello **scavo 2**



Foto dello scavo 2; visibile l'allargamento della fondazione a -0,11 cm dal piano di calpestio. L'intradosso si trova a 1,30 m dal piano di calpestio.

SCAVO FONDAZIONALE n° 3: lo scavo fondazionale n° 3 è stato eseguito all'interno della struttura (vedasi planimetria). Il piano di scavo inizia dalla pavimentazione a cui segue un massetto di 10 cm ed un sottofondo di materiale naturale misto granulare a ciottoli in matrice limoso argillosa di spessore 40 cm; il deposito sottostante di origine naturale è di prevalentemente limoso argilloso.

Sul lato della struttura è stato messa a nudo la fondazione con un approfondimento dello scavo fino a circa 1,5 m dal piano pavimento. La struttura verticale del muro perimetrale prosegue in profondità per circa 40 cm con una struttura in calcestruzzo, si osserva un piccolo allargamento di 4 cm e con una ripresa di getto, un ulteriore approfondimento di 36 cm di calcestruzzo. La porzione sottostante infine si allarga di circa 25 cm e con una una ulteriore ripresa di getto un approfondimento di circa 44cm fino all'intradosso di fondazione posto a circa 130 cm dal piano di calpestio.

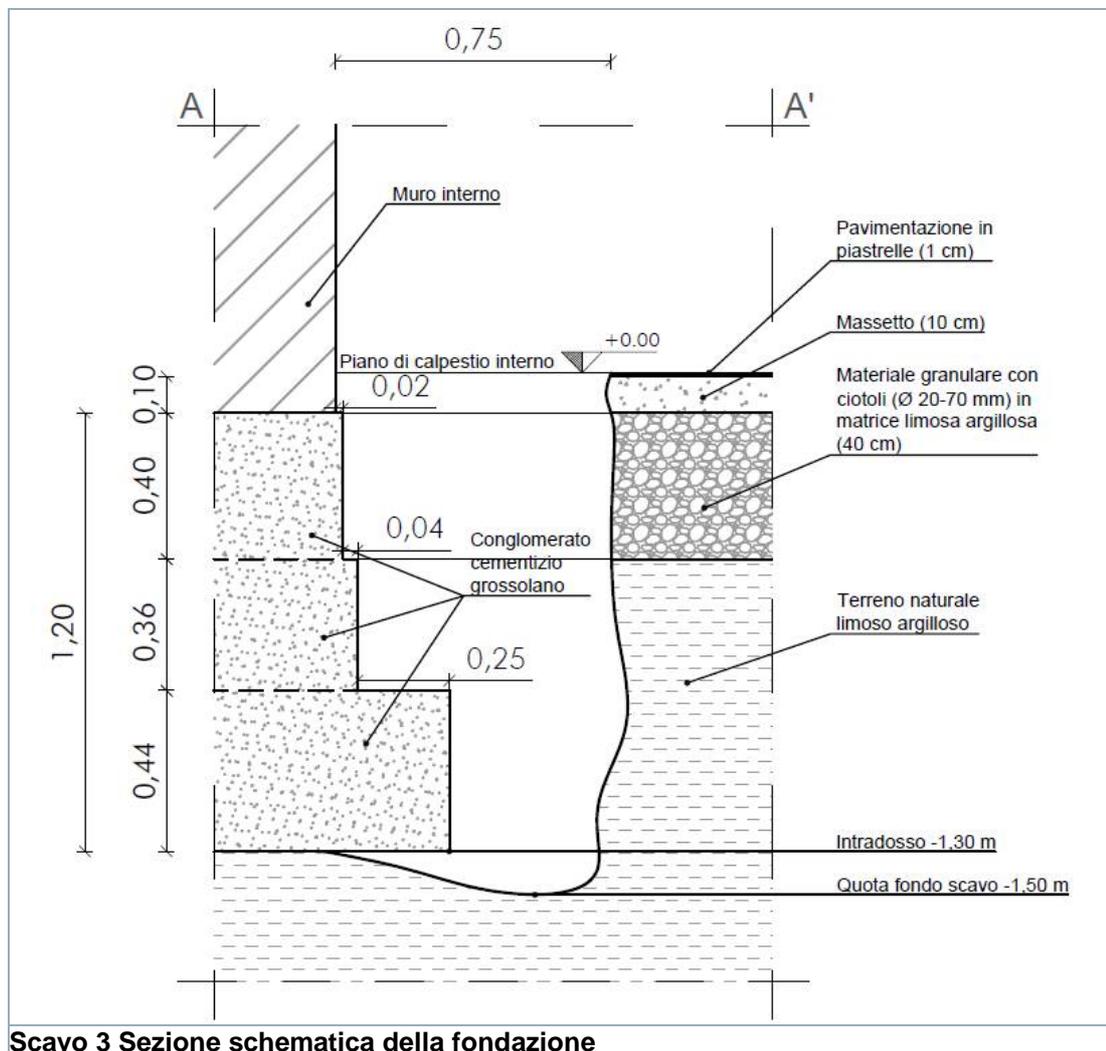




Foto panoramica dello scavo 3



Foto dello scavo 3; visibile l'allargamento della fondazione di 25 cm a quota -80cm dal piano di calpestio. Il manico dell'utensile è la quota di intradosso: -130 cm.

RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOFISICHE – EL 07

Cenni teorici e strumentazione utilizzata

Indagine sismica di tipo attivo in array (M.A.S.W.)

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito **dispersione in frequenza** ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico – matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura M.A.S.W. viene presentata nel 1999 in seguito agli studi effettuati dal Kansas Geological Survey (Park et al., 1999). L'acquisizione simultanea di molti canali, che aumentano la ridondanza statistica, insieme alla semplicità delle operazioni, permettono al M.A.S.W. di superare pienamente le limitazioni incontrate con precedenti metodi. La strumentazione necessaria è composta da uno stendimento sismico di 12 o più geofoni verticali e dal sismografo. L'energizzazione viene effettuata ad hoc a varie distanze e con varie ripetizioni (tecnica stacking) per sommare algebricamente i segnali ottenuti rendendo in tal modo la potenza del segnale superiore a quella del rumore di fondo.

Una particolare analisi spettrale permette di distinguere il modo fondamentale da quelli superiori per ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs per successiva inversione 1-D. La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione teorica approssimativamente coincidente con la curva sperimentale. Questa delicata fase di interpretazione è comunemente detta fase di inversione e può avvenire in maniera automatica e/o manuale.

La configurazione utilizzata è riportata nella seguente tabella:

Linea	Configurazione	N° geofoni	Lunghezza linea
MASW n°1	Lineare	9	27
MASW n°2	Lineare	9	27

Non sono presenti sostanziali variazioni di quota lungo la linea di acquisizione e quindi il sito può essere considerato orizzontale. Il sampling rate utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato deve essere sufficiente per consentire all'impulso emesso dalla sorgente di propagarsi da un estremo all'altro dell'array, ed inoltre consentire la naturale attenuazione su tutti i ricevitori. Nel caso in questione, dopo aver osservato nel monitor del ricevitore la prima acquisizione, è stato deciso di assumere una lunghezza temporale di circa 1 s, più che sufficiente per il nostro scopo.



Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}}$$

dove: V_s = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];
 H = profondità alla quale si desidera stimare V_s [m] (30 m in caso di V_{s30});
 h_i = spessore dello strato i – esimo [m];
 v_i = velocità delle onde V_s all'interno dello strato i – esimo [m/s].

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borcherdt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	V_s min [m/s]	V_s media [m/s]	V_s max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

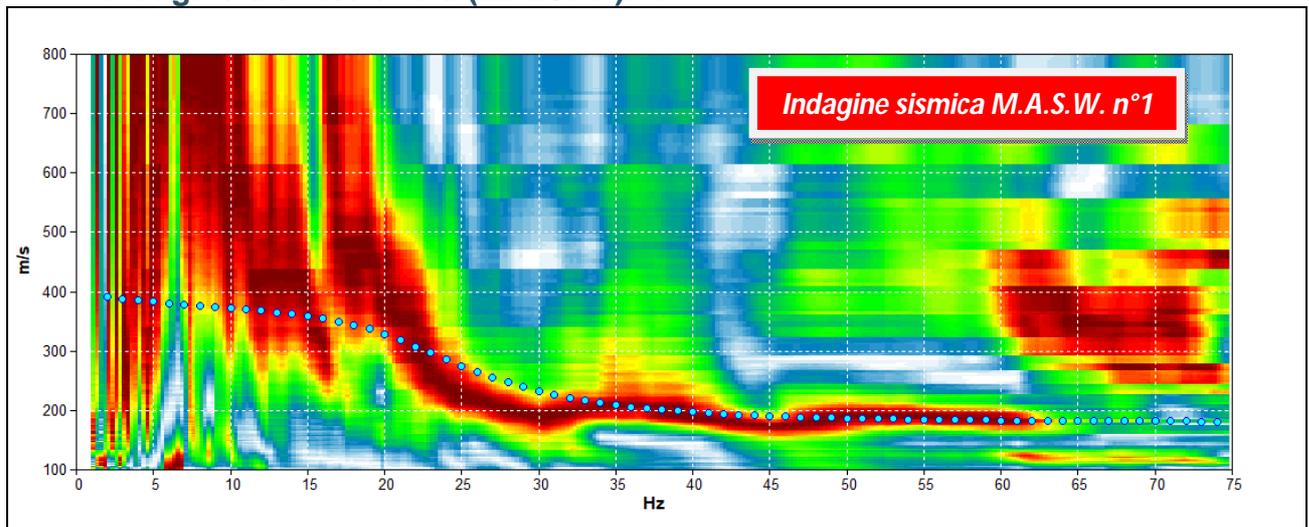
Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

L'utilizzo della tecnica sismica ha permesso di ottenere un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. Le indagini M.A.S.W. hanno individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S.

L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata poiché la coerenza del segnale è buona e lo spettro di velocità è ben definito nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate.

La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale addensato fino a circa 5,0-7,0 m dal p.c. locale caratterizzato da una Vs di circa 200-300 m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato (vedi modelli sismo - stratigrafici interpretativi riportati a seguire).

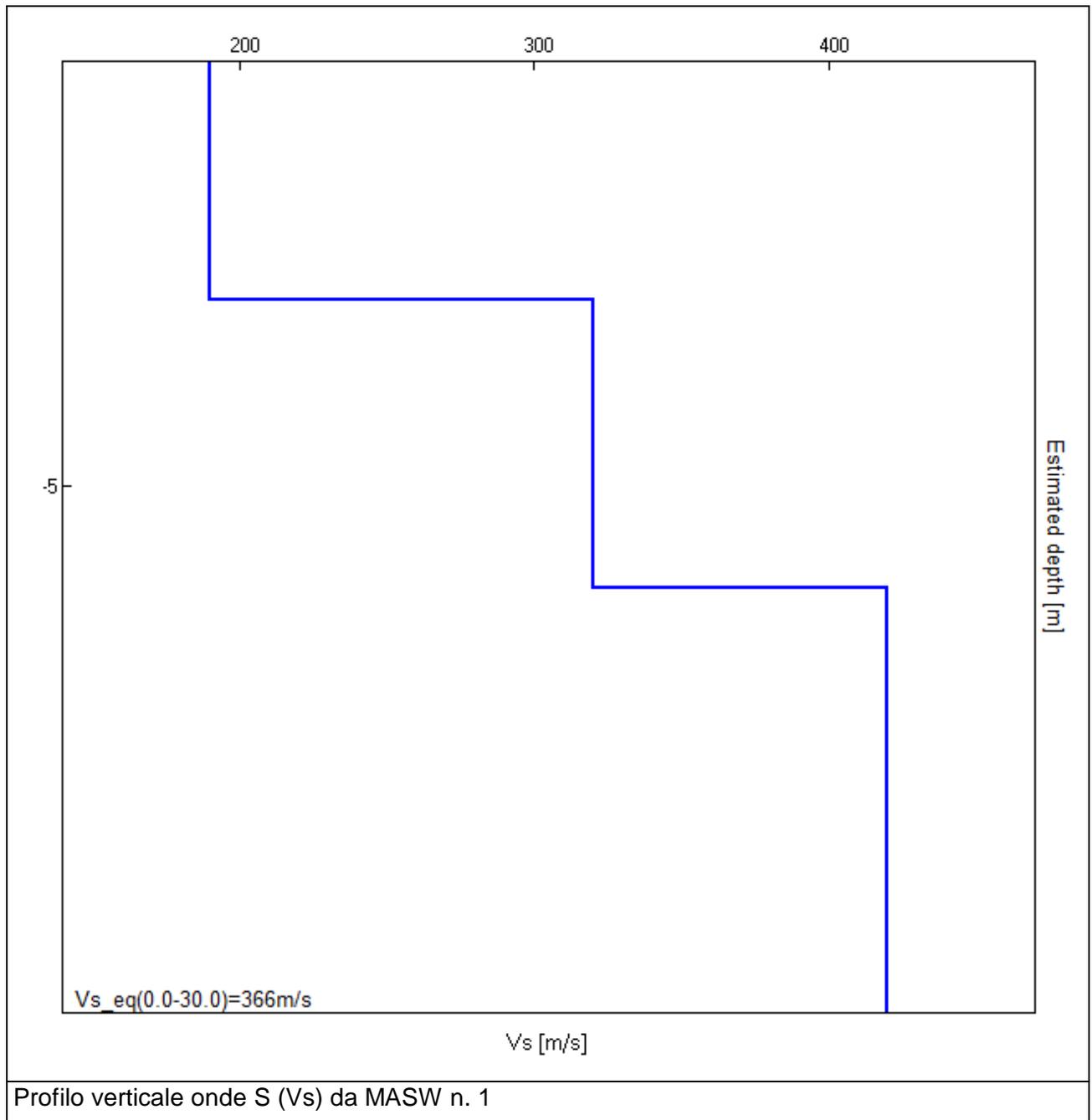
Indagine sismica attiva (M.A.S.W.) n. 1



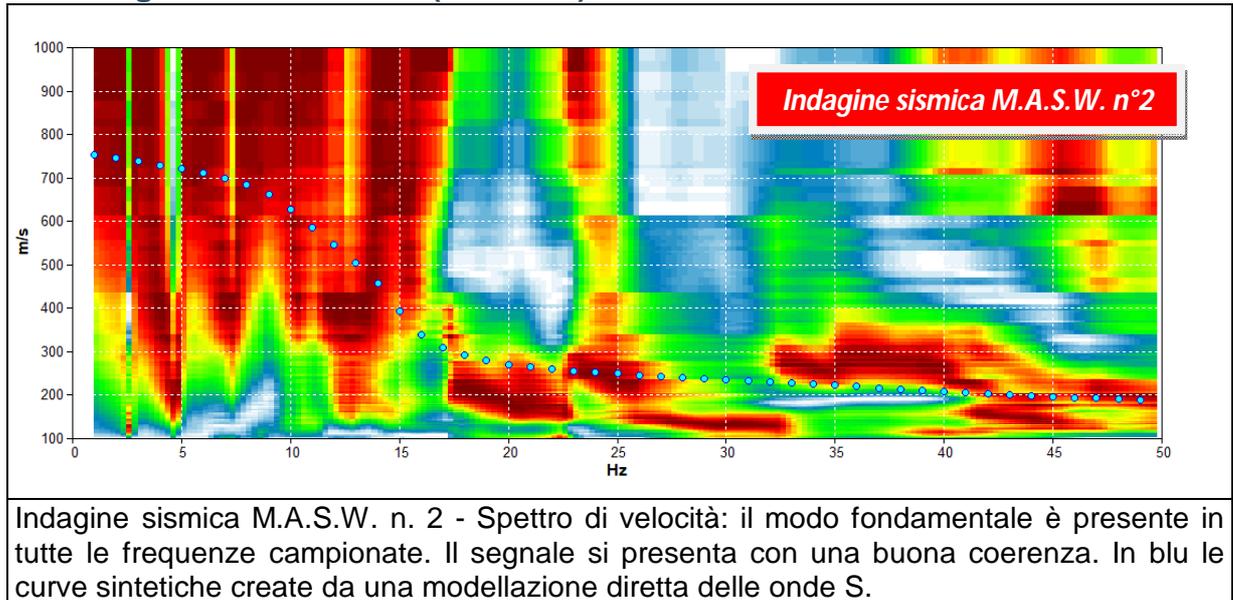
Indagine sismica M.A.S.W. n. 1 - Spettro di velocità: il modo fondamentale è presente in tutte le frequenze campionate. Il segnale si presenta con una buona coerenza. In blu le curve sintetiche create da una modellazione diretta delle onde S.

Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (modello sismo - stratigrafico interpretativo).

Indagine sismica M.A.S.W. n° 1	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	190	2,8	0,0 - 2,8
II SISMOSTRATO	320	3,4	2,8 - 6,2
II SISMOSTRATO	420	-	>6,2

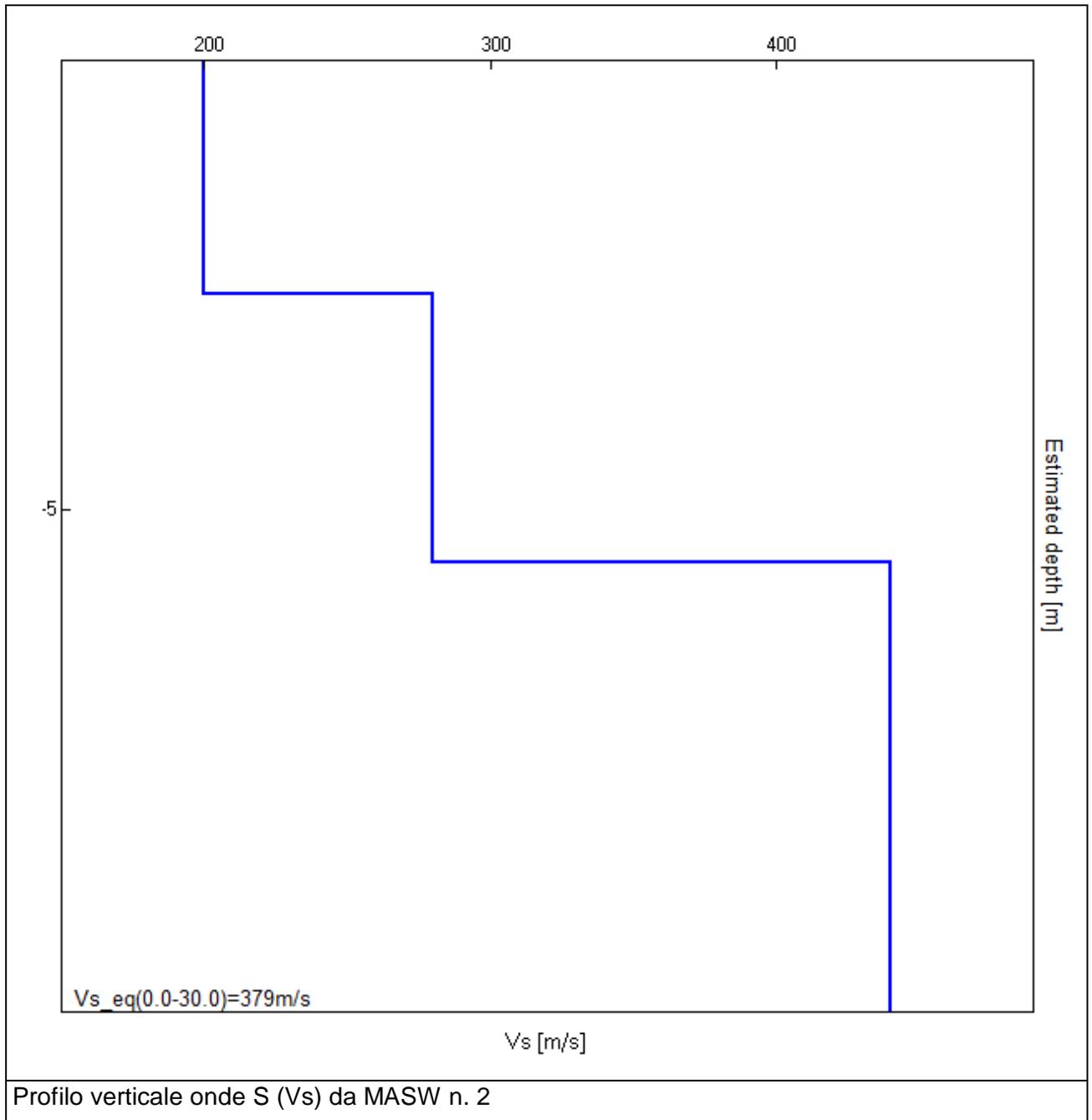


Indagine sismica attiva (M.A.S.W.) n. 2



Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (modello sismo - stratigrafico interpretativo).

Indagine sismica M.A.S.W. n° 1	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	200	2,6	0,0 - 2,6
II SISMOSTRATO	280	3,0	2,6 - 5,6
II SISMOSTRATO	440	-	>5,6



Categoria di sottosuolo 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</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

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

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).

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$ da MASW n° 1	$V_{s,30}$ da MASW n° 2
0 m dal p.c.	$V_s(0 - 30) \approx 366$ m/s	$V_s(0 - 30) \approx 379$ 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 B**. A tale classe appartengono i depositi definiti "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s."

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. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" è stata valutata 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.

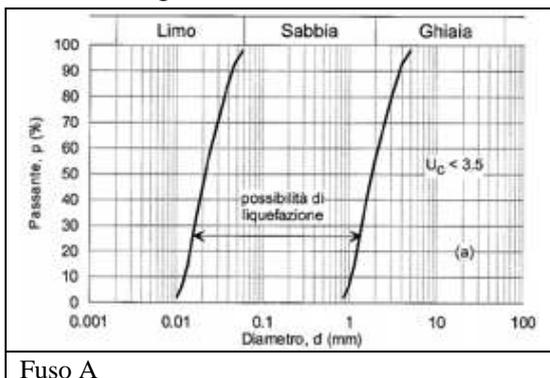
Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

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

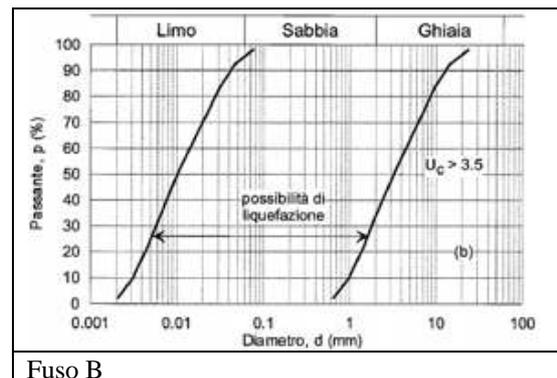
- 1) eventi sismici attesi di magnitudo $M < 5$;
- 2) accelerazioni max attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) $< 0,1 g$;

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 $\sigma'v$ di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una $\sigma'v$ 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 $U > 3,5$.



Fuso A



Fuso B

Nel caso in esame la profondità media stagionale della falda è maggiore di 15 m dal piano campagna pertanto la verifica può essere omessa.

1.3 MODELLAZIONE GEOLOGICA

1.3.1 Analisi geologico-stratigrafica e geomorfologica

Dal punto di vista geomorfologico l'area di stretta pertinenza delle indagini è situata in un versante esposto a sud ad una quota topografica di circa 60 m S.L.d.M..

Il principale elemento morfogenetico attuale è rappresentato dalla gravità ed in parte potrebbe essere coadiuvato da fenomeni pluviometrici estremi o da fenomeni di ruscellamento diffuso che a tratti potrebbero concentrarsi in rivoli e quindi provocare fenomeni di evoluzione del versante e coinvolgere eventuali strutture presenti. Il fenomeno è inoltre accentuato dall'intensa urbanizzazione della zona che ha obliterato le principali forme naturali di superficie.

1.3.2 Analisi idrogeologica

In nessuno dei fori eseguiti durante le indagini geognostiche è stata rilevata la presenza di falda freatica stabile. Vista la stratigrafia non si ritiene possibile la presenza di un livello di falda permanente anche se sospeso, ma sono possibili effimere venute d'acqua correlate con eventi meteorici che drenano con lentezza vista l'abbondante matrice interstiziale dei depositi.

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 ghiaiosa con matrice limoso argillosa	0,00 – 1,00	100	1800	---	---	27
2	Depositi prevalentemente granulari di natura ghiaiosa con matrice sabbioso limoso	1,00 – 1,40	40	1800	---	---	32
3	Depositi prevalentemente granulari di natura ghiaiosa con matrice sabbioso limoso, maggiormente compattato	1,40 - 3,00	160	1800	---	---	36

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 posta su un versante esposto a sud a circa 60 m SLdM. Gli elementi geomorfologici che più hanno influito sull'evoluzione del sito sono gli eventi gravitativi innescati da eventi meteorici naturali o anche da concentrazioni d'acqua convogliata da opere antropiche come chiusure di corsi d'acqua a fini edificatori o per semplice incuria dei versanti che favoriscono i ruscellamenti concentrati e conseguenti coinvolgimenti delle strutture presente (muri a secco o altro). L'evoluzione antropica dell'area ha inoltre condizionato l'area soprattutto nel canalizzare i ruscelli di ordine minore, che attualmente sono quasi del tutto obliterati, nel ricavare terrazzamenti ad uso agricolo o urbanistico.

2. La **stratigrafia** osservata indirettamente con le indagini geognostiche riferiscono di un sito sostanzialmente omogeneo dal punto di vista della natura dei depositi stratigrafici presenti, ma con delle notevoli differenze per quanto riguarda gli spessori e la disposizione degli stessi.

- si riscontra in tutta l'area un primo livello con terreni rimaneggiati ad opera antropica, costituiti da depositi eterogenei di inerti ghiaiosi con matrice limoso argillosa, con spessore di circa 1,0 m;
- deposito mediamente compatto con spessore di 40 cm gradualmente verso il basso il grado di compattazione comincia ad aumentare fino al passaggio al successivo livello;
- deposito in continuità stratigrafica con il precedente dal punto di vista della natura dei depositi con un grado di compattazione superiore che si accentua fino a raggiungere il limite di esercizio della strumentazione.

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. Ciò nonostante le variazioni della quantità e della natura della matrice interstiziale possono creare dei livelli con un drenaggio scarso con conseguenti ristagni d'acqua, in particolare in concomitanza con eventi meteorici di una certa intensità, ma che comunque non permettono lo stabilirsi di un livello freatico permanente.

4. Dalle prove in sito eseguite si è potuto stabilire, sulla base dell'indagine sismica, l'appartenenza del suolo alla **categoria di sottosuolo tipo B** (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto

consistenti) e alla **categoria topografica T1**.

5. Nel caso in esame, vista la mancanza di una falda stabile con media stagionale superiore a 15 m e vista la risposta delle prove penetrometriche, che indirettamente non sono compatibili con depositi interpretabili con sabbie pulite ben gradate, si rientra nelle opzioni indicate nel paragrafo 3.2 II delle norme NTC 17.01.18 per cui la verifica alla liquefazione può essere omessa.
6. Si conferma una generale fattibilità delle opere previste con le seguenti precisazioni:
 - si consiglia di prevedere adeguate opere ed accorgimenti per la salvaguardia delle acque di ruscellamento in particolare nel versante posteriore della struttura di stretta pertinenza delle indagini.
 - 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