COMUNE DELLA SPEZIA
PROVINCIA DELLA SPEZIA
REGIONE LIGURIA

PROGETTO DI SISTEMAZIONE D'AREA IN LOCALITÀ POMARA – VARISELLA

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

IL COMMITTENTE: C.R.A. Centro Recupero Ambiente s.r.l.

IL TECNICO: Dott. Geologo Angela Sartelli



-Aprile 2018-

DOTT. GEOL. ANGELA SARTELLI
Via Chiasso Roggi 16/c - 55013 Capannori (LU)
Cell: 328/2781414
e-mail: geosarte@gmail.com

INDICE

1. Premessa e obiettivi dello studio;
2. Normativa di riferimento;
3. Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento e azioni sulle costruzioni
4. Zonizzazione geologica del P.U.C. e Piano di Bacino;
5. Caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geomorfologiche e geotecniche;
6. Caratterizzazione fisico meccanica e geotecnica dei terreni;
7. Indagini sismiche;
8. Note sismiche;
9. Conclusioni;
10. Allegati;

1-PREMESSA E OBBIETTIVI DELLO STUDIO

Su incarico del C.R.A. Centro Recupero Ambiente s.r.l., è stata redatta la presente relazione geologica e sismica sul progetto di sistemazione d'area in Località Pomara – Varisella nel Comune di La Spezia.

Il progetto prevede inoltre la sistemazione delle aree esterne con il livellamento del piazzale e la realizzazione di terre armate a sostegno.

2-NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'indagine in questione ha come obiettivo la verifica della compatibilità dell'opera in rapporto alle condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dei terreni, secondo quanto previsto dalle vigenti disposizioni di Legge:

- Decreto ministeriale 14/01/2008, Testo Unitario – Norme tecniche per le Costruzioni;
- Decreto ministeriale 17/01/2018, Testo Unitario – Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007;
- Eurocodice 8 (1998), Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture; Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003);
- Eurocodice 7,1 (1997), Progettazione geotecnica – Parte I: Regole generali – UNI;
- Eurocodice 7,2 (2002), Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – UNI;
- Eurocodice 7,3 (2002), Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove in sito (2002) – UNI;
- O.P.C.M. n. 3274/2003;
- O.P.C.M. n. 3519/2006 (Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche per l'aggiornamento e degli elenchi delle medesime zone);
- L.R. 22/01/1999 n°4 Boll. Uff. Regionale 10/02/1999 n°3; disciplina degli interventi in materia forestale – vincolo idrogeologico e successive modifiche ed integrazioni;
- D.G.R. n. 530 del 16/05/2003 ("Individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche dei comuni della Regione Liguria");
- D.G.R. n. 1308 del 24/10/2008 ("Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria");

- D.G.R. n. 1362 del 1911/2010 ("Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria");

3-VITA NOMINALE, CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO E AZIONI SULLE COSTRUZIONI

Vita Nominale
La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata (par. 2.4.2 NTC).
La vita nominale dell'opera in progetto è 50 anni.

Classe d'uso
In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso, la classe d'uso dell'opera in progetto è:

- ***Classe II****: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

Il coefficiente C_U in questo caso risulta pari a **1** come dalla tabella 2.4.II delle NTC.

Periodo di riferimento per l'azione sismica
Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U (par. 2.4.3 NTC):

$V_R = V_N \times C_U =$

V_R= 50 anni

Tabella riepilogativa

Vita nominale V_N	50 anni
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso C_u	1
Periodo di riferimento dell'azione sismica V_R	50

4-ZONIZZAZIONE GEOLOGICA DEL P.U.C. E PIANO DI BACINO

Dalla consultazione della documentazione geologica del Piano Urbanistico Comunale, il sito d'intervento ricade in area C0, ovvero "area con suscettibilità d'uso condizionata".

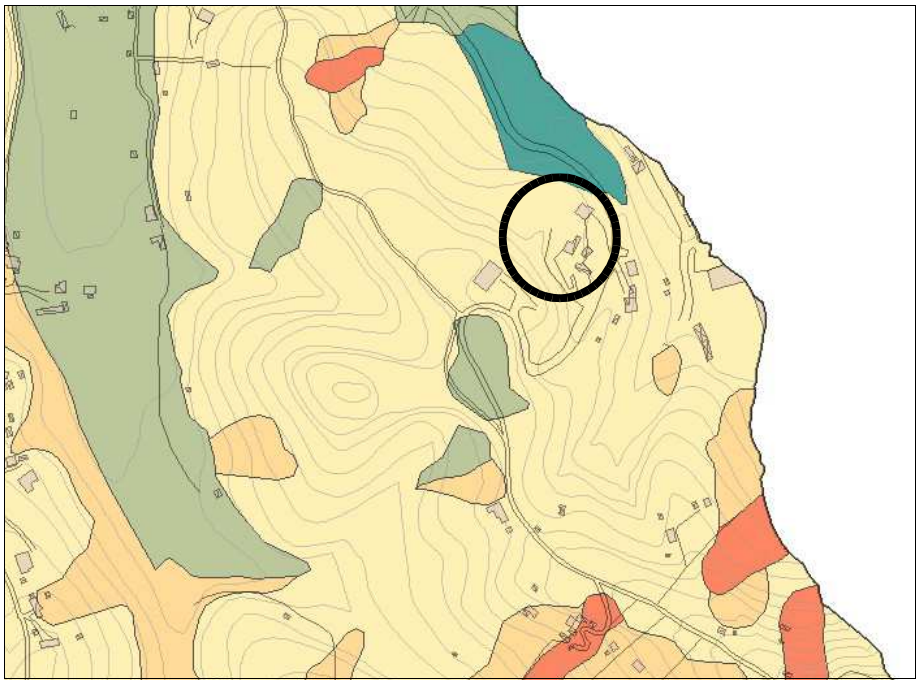
Aree con condizionamenti di ordine geologico in senso lato eliminabili con interventi di bassa difficoltà ed onerosità (C0).

In questa "classe" sono state inserite le aree con condizioni di moderata pericolosità geomorfologica, che possono agevolmente superate attraverso l'adozione ed il rispetto di modesti accorgimenti tecnici, di bassa difficoltà ed onerosità, realizzabili a livello di progetto esecutivo, esclusivamente nell'ambito del singolo lotto edificatorio e/o di un intorno

significativo.

TIPO IVb: ogni altro intervento modificatorio e ogni altra costruzione edilizia di qualsiasi destinazione e fruizione, i quali comportino scavi e sbancamenti, o riporti, o strutture murarie di sostegno, o scarpate libere, o volumi edilizi eccedenti i limiti considerati nei punti precedenti.

MODO 5/a:in relazione alle diverse fasi, nel modo 5/a, dovrà essere fornito:
-*nella fase di progetto*: relazione geologica e geologico - tecnica esecutiva di 2° livello;
-*nella fase di realizzazione*: relazione geologica e geologico - tecnica esecutiva di 3° livello alle indagini geognostiche di tipo "completo";
-*nella fase di fine lavori, collaudo e consegna*: relazione geologica di fine lavori e collaudo.

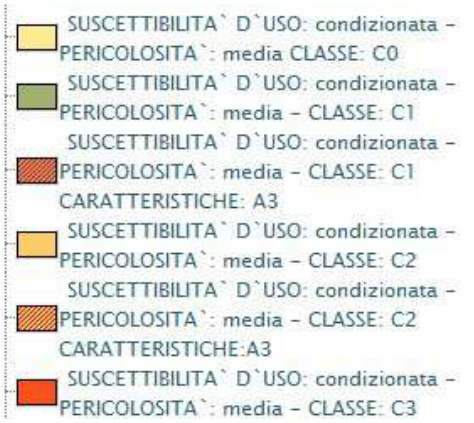


STRALCIO DELLA CARTA DI ZONIZZAZIONE GEOLOGICA – PUC LA SPEZIA – NON IN SCALA

LEGENDA

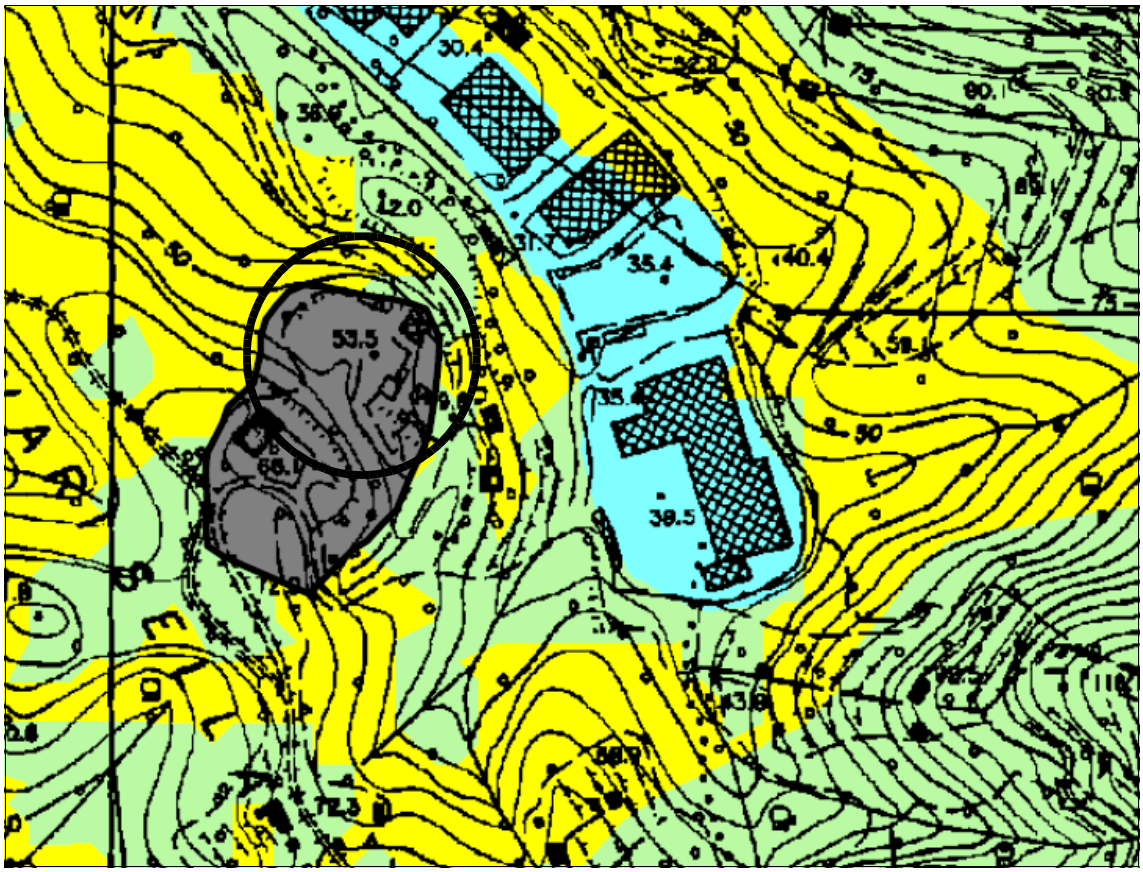


Area di studio



Dalla consultazione del Piano di Bacino – Ambito 20 - Golfo della Spezia "Carta della suscettività al dissesto dei versanti" il sito d'intervento ricade all'interno delle "Classi Speciali: cave, discariche e grossi riporti".
Le aree adiacenti il sito sono invece classificate come P1 "suscettività al dissesto bassa" e P2 "suscettività al dissesto media".

L'area in esame non è sottoposta a vincolo idrogeologico, come da legge regionale 22/01/1999 n°4 e da Regio Decreto 30/12/1923 n°3267 e 16/05/1926 n°1126.
Il sito rientra invece nelle aree vincolate ai sensi del D.Legs. n° 42 del 22.01.2004 art. n° 142 *(Aree tutelate per legge).*



STRALCIO DEL PIANO DI BACINO AMBITO 20 – NON IN SCALA

LEGENDA

Area di studio

P0	Suscettività al Dissesto Molto Bassa	P3a P3b	Suscettività al Dissesto Alta
P1	Suscettività al Dissesto Bassa	P4	Suscettività al Dissesto Molto Alta
P2	Suscettività al Dissesto Media		Classe speciale: cave, discariche e grossi riporti

5-CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E TETTONICHE

Morfologia e idrografia
La zona d'intervento è situata in località Pomara, nel Comune di La Spezia, ad una quota media di circa 50 metri slm, su di un versante terrazzato esposto a Est.

Il sito è collocato in un pendio avente una inclinazione media, con andamento terrazzato. L'areale si presenta intensamente antropizzato nella zona di fondovalle e scarsamente nei rilievi circostanti.

Sul sito direttamente interessato dai lavori l'idrografia superficiale è assente, e le acque piovane che non s'infiltrano scorrono a valle senza creare ristagni od erosione.

E' presente un impluvio a Sud del del sito, che scorre in direzione Est, tombinato nella parte inferiore.

Geologia
Dal punto di vista geologico, il substrato litoide è rappresentato dalle Quarziti e filladi, appartenenti all'unità tettonica di Massa, ed in particolare al Gruppo del Verrucano.

Detta formazione è litologicamente costituita quarziti grigio rosate ben stratificate, talora con livelletti basali microanagenitici; nella parte alta alle quarziti si intercalano filladi e metasiltiti grigie o verdastro-violacee (Carnico).

Sul sito di studio il substrato non è direttamente visibile perché ricoperto da un iniziale strato di riporto compattato, seguito da uno strato detritico limoso-argilloso. Il substrato è visibile poco più a Sud del sito lungo strade di accesso privato ed alla base di alcune fasce terrazzate.

Il substrato si presenta in scadenti condizioni di conservazione ed appare molto alterato, in alcuni casi assimilabile a detrito.

Dalle prove eseguite in sito, emerge che i primi 60 cm sono costituiti da riporto compattato, seguito da un deposito detritico costituito da limo argillosa con la presenza di clasti il cui spessore varia dai 10 ai 12 m di profondità. A tale deposito fa seguito il substrato quarzitico, inizialmente alterato per circa 3.

Idrogeologia
Circa le caratteristiche idrogeologiche, il deposito detritico è caratterizzato da una media permeabilità per porosità, in funzione della matrice limosa presente nel deposito. Il substrato è poco permeabile per fratturazione.

Durante le indagini geognostiche è stata rilevata una falda posta all'interfaccia tra il substrato substrato ed il detrito, ad una profondità variabile in base alla posizione sul versante.

Geomorfologia
Dal punto di vista geomorfologico l'areale indagato non presenta indizi di movimenti gravitativi in atto o avvenuti in passato, quali la presenza di terreno ribassato, aperture ecc..
Inoltre, anche da un'osservazione degli edifici ubicati nell'areale, al di là delle vetustà di alcuni, non presentano indizi riferibile a movimenti gravitativi.

6-CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA E GEOTECNICA DEI TERRENI

DETRITO
Allo scopo di determinare le caratteristiche stratigrafiche e valutare i parametri geotecnici dei

terreni sono stati realizzati direttamente sul sito 2 sondaggi a carotaggio continuo, spinti S1 fino a 20 m e S2 fino a 10 m dal piano campagna.

Inoltre è stata realizzata direttamente sul sito, in occasione di studi precedenti, una prova penetrometrica dinamica pesante DPSH e 3 pozzetti di escavazione.

I parametri geotecnici e le principali caratteristiche del materiale desumibili dalle prove effettuate sono riassunti nei seguenti grafici e tabelle:

PROVE IN SITO

CAROTAGGI

S1
0 – 1,3 m: Terreno di riporto – asfalto;
1,3 – 12 m: Terreno di riporto costituito da limo-argilloso con presenza di clasti.
SPT (3 m) 10, 7, 8 – SPT (6 m) 7, 9, 62 - SPT (12) 10, 13, 24;
12 – 20 m: Substrato litoide
SPT (15 m) 11, 14, 25 – SPT (18 m) 13, 19, 26

S2
0 – 1,3 m: Terreno di riporto – cemento;
1,3 – 9,7 m: Terreno di riporto costituito da limo-argilloso con presenza di clasti.
SPT (3 m) 10, 8, 9 – SPT (6 m) 9, 12, 11 - SPT (9) 10, 16, 23;
9,7 – 10 m: Substrato litoide;

DPSH1

Strato	Descrizione	Profondità	γ (t/mc)	γ sat. (t/mc)	Φ (°)	Cu (kg/cmq)	Mod. Poisson
1	Riporto compattato	0,6	2	2,2	37	0	0,28
2	Riporto detritico	10	1,6	1,9	28	0	0,34

SUBSTRATO
Allo scopo di determinare le caratteristiche geomeccaniche del substrato è stato effettuato un rilievo geomeccanico di dettaglio e sono state fatte prove sclerometriche con il martello di Schmidt sugli affioramenti.

Il substrato appartiene alle quarziti, che nella zona d'intervento si presenta in scadenti condizioni di conservazione.

Circa l'attribuzione dei parametri fisico-meccanici che lo contraddistinguono, sono stati utilizzati i dati ricavati sul terreno uniti a valori reperibili in bibliografia applicando il metodo di Bieniawski (1979) che si basa sulla determinazione dell'indice RMR come sommatoria di indici parziali relativi a:

1. resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta;
2. indice RQD (Rock Quality Designation), estrapolato dai valori di spaziatura;
3. spaziatura dei giunti di discontinuità;
4. condizione dei giunti di discontinuità (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, presenza di materiale di riempimento);
5. condizioni idrauliche;

I valori degli indici parziali sono stati determinati sulla base della seguente tabella, scegliendo, parametro per parametro, la classe che meglio rappresenta l'effettiva situazione dell'ammasso roccioso in esame.

A - Classification parameters and their ratings

PARAMETER			RANGES OF VALUES						
1	Streing of intact rock material	Point-load strengt index	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred		
		Uniassial compressive strengt	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces OR Gouge < 5 mm thinck OR Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thinck OR Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel lenght	None	< 10 litres/min	10 - 25 litres/min	25 - 125 litres/min	>125 litres/min		
		Ratio joint water pressure / maior principal stress	0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General condition	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		

Total Rating	100 – 81	80 - 61	60 – 41	40 – 21	< 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Pessimo

La sommatoria dei coefficienti numerici dei sei fattori fornisce un indice globale delle condizioni geomeccaniche della massa (Rock Mass Rating) da cui si ricavano i s parametri geomeccanici.

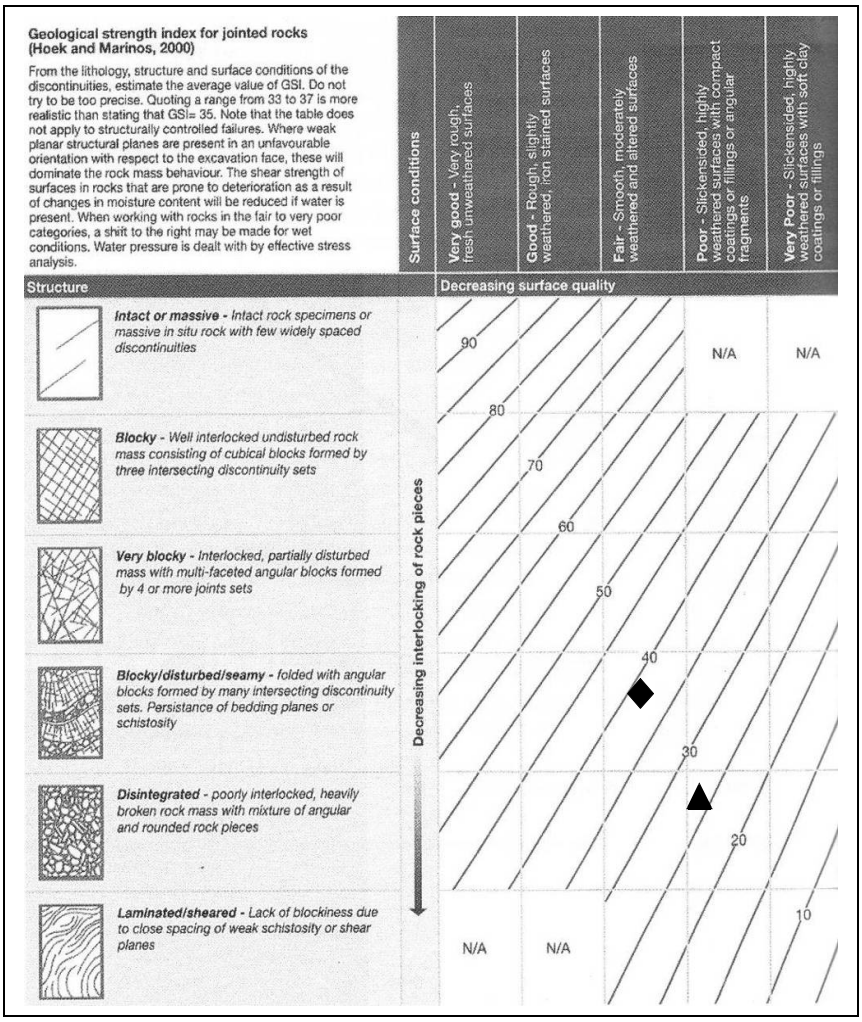
Substrato alterato: RMR=32

Angolo di attrito	φ	21	°	Bieniawski (1970)
Coesione	c	0,16	MPa	Bieniawski (1970)
Peso di volume	γ	2,2	t/mc	

Substrato: RMR=44

Angolo di attrito	φ	27	°	Bieniawski (1970)
Coesione	c	0,22	MPa	Bieniawski (1970)
Peso di volume	γ	2,4	t/mc	

Oltre alla classificazione di Bieniawski, l'ammasso roccioso è stato classificato anche tramite il GSI (Geological Strenght Index), un indice di qualità dell'ammasso roccioso variabile da 5 a 100, funzione delle condizioni geomeccaniche e del grado di alterazione.



Abaco per la stima del GSI. ▲ Substrato alterato; ◆ Substrato;

Parametri geotecnici

Analizzando i risultati delle varie prove eseguite, si possono quindi riassumere i seguenti parametri geotecnici:

Strato	Prof. (m)	Prof. (m)	Spess. (m)	Φ (°)	Cu (kg/cmq)	γ (t/mc)	Descrizione
1	0	0,6	0,6	37	0	2	Riporto
2	0,6	12	11,4	28	0	1,6	Limo argilloso
3	12	15	3	21	0,16	2,2	Substrato alterato
4	15	oltre		27	0,22	2,4	Substrato

7-INDAGINI SISMICHE

Allo scopo di determinare le caratteristiche sismiche del sito di indagine, sono state prese a riferimento le indagini sismiche eseguite sul sito in studi precedenti, ed in particolare 4 linee sismiche in onde P e 3 linee sismiche MASW.

Di seguito si riportano in risultati più significativi, ed in particolare:

- Indagine sismica Masw n.1
- Indagine sismica in onde P n.4

7.1 MASW

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di geofoni posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10Hz e 70-100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidezza del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in tre fasi:

- calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione apparente numerica;
- calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo Lai-Rix (1998) ed individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V , modificando SV opportunamente, lo spessore h, le velocità delle onde di taglio SV (o in alternativa il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica

corrispondente al modello di suolo assegnato;

L'affidabilità del profilo di velocità Vs trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software Winmasw (Eliosoft).
Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 5 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*). La sorgente è stata posta ad una distanza di 2, 3 e 5 m dal primo geofono (*Optimum Field Parameters of an MASW Survey",* Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).

Oltre alla prova MASW eseguita sul sito adiacente dal sottoscritto, sono stata eseguite 3 linee sismiche MASW direttamente sul sito durante studi precedenti. Tutte le linee sismiche hanno portato al medesimo risultato, ovvero ad individuare un suolo di categoria "B".

Tabella riassuntiva dell'acquisizione MASW

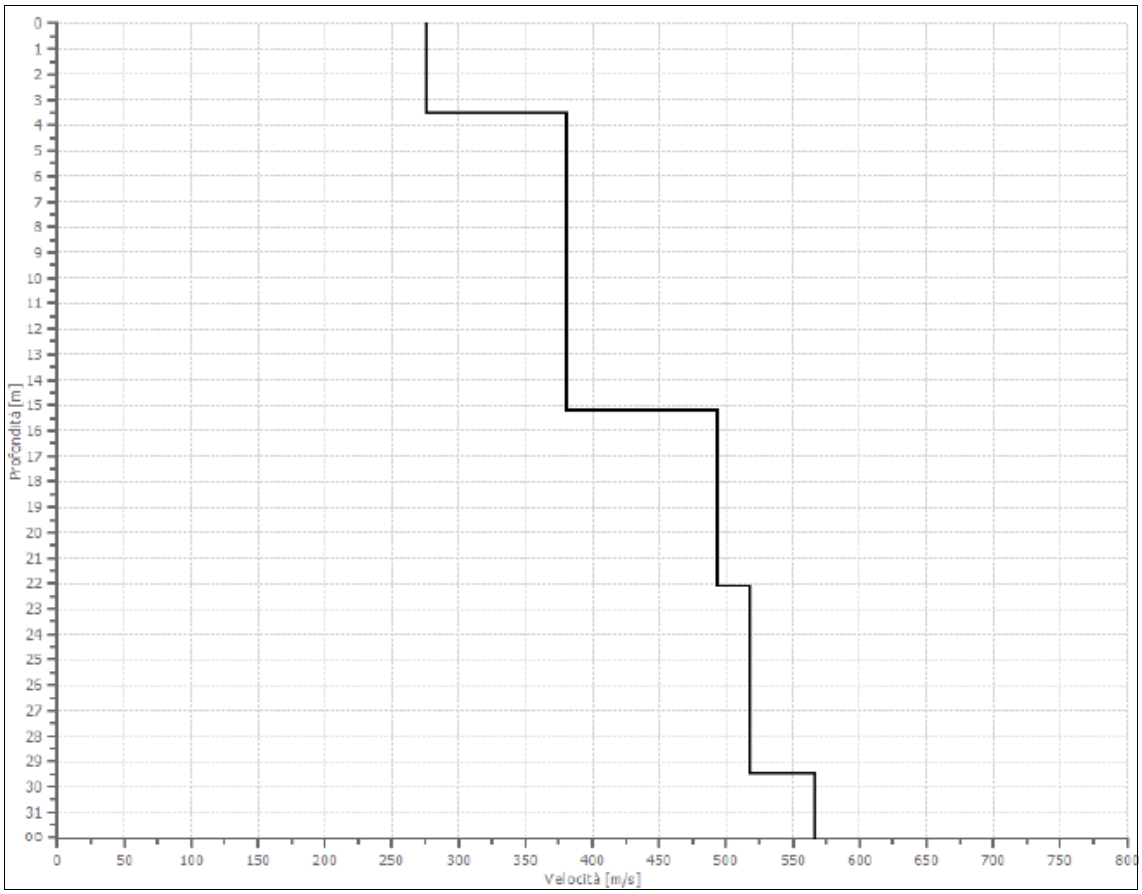
N° di geofoni	12
Distanza intergeofonica	2 m
Lunghezza stesa	24 m
N°di shot	3
Intervallo di campionamento	4000Hz/250µS
Tempo di acquisizione	1,5sec
Gain	45db

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato precedentemente, è possibile calcolare il valore delle Vseq, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro un massimo di 30 m di profondità delle onde di taglio.

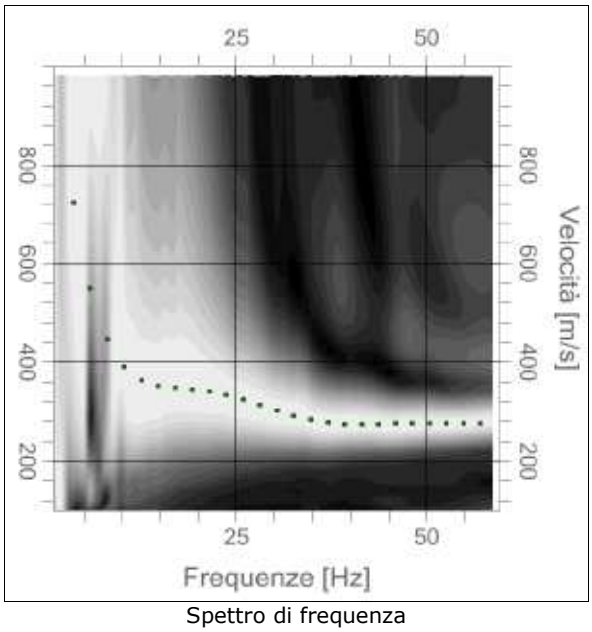
$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Per il calcolo delle Vseq si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 17.01.2018 (Aggiornamento delle *"Norme tecniche per le costruzioni"*):

h_i spessore dell'i-esimo strato;
$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
N numero di strati;
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.



Profilo verticale Vs30



Spettro di frequenza

Dal profilo verticale calcolato si deduce una Vs30 pari a **413 m/sec** (best model), corrispondente ad un suolo di categoria **B** (si veda tabella sottostante).

vs da piano campagna			
Strato	**Vs**	**Hi**	**Hi/Vi**
1	276,1	3,5	0,013
2	380,4	11,73	0,031
3	493,3	6,9	0,014
4	517,9	7,36	0,014
5	567,1	0,51	0,001
SOMMA		30	**0,07**
	Vs30	**413,16**	

7.2 Indagine di sismica a rifrazione

7.2.1 metodologia ed acquisizione

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o bi-rifratte (head wave): le onde analizzate sono quelle birifratte, cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza.

I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche; il modello interpretativo del mezzo investigato è di tipo elastico, omogeneo, continuo ed isotropo, mentre la profondità totale di indagine è legata alla lunghezza dello stendimento di ricevitori.

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde P è articolata nelle seguenti fasi fondamentali:

- Individuazione dei primi arrivi attraverso l'osservazione dei sismogrammi e l'operazione di picking, previa elaborazione dei segnali ed operazioni di filtraggio anche consecutivo con diverse tipologie di filtro digitale;
- Ricostruzione delle dromocrone delle onde P e scelta del modello di sottosuolo da utilizzare nell'interpretazione (numero di strati);
- Linearizzazione delle dromocrone e calcolo delle velocità di propagazione delle onde elastiche analizzate e dei relativi tempi di intercetta;
- Ricostruzione del modello del sottosuolo con calcolo della profondità di ciascun strato omogeneo, continuo ed isotropo tramite il metodo del tempo di intercetta applicabile a ciascun punto di scoppio (metodo a griglia shot-point); questo metodo è applicabile in situazioni litostratigrafiche approssimabili a modelli stratificati a strati piani orizzontali e/o inclinati.

L'elaborazione dei sismogrammi è stata effettuata con un software dedicato che consente di effettuare il picking dei primi arrivi e la rappresentazione delle dromocrone; per le analisi interpretative è stato utilizzato il software WinSism versione 11 – Seismic Refraction Processing Software (2004) della W-GeoSoft, associato al software di interpretazione tomografica Rayfract, ed il software Interprex (che utilizza come tecnica di interpretazione il Metodo Reciproco Generalizzato (G.R.M.), ideato da Palmer (1980)) per una ulteriore elaborazione a favore della determinatezza del modello calcolato.

7.2.2 Stendimento

L'indagine è consistita in uno stendimento singolo di sismica a rifrazione di lunghezza variabile in funzione delle disponibilità logistiche, lungo il quale sono stati disposti e collegati in serie 12 geofoni monocomponente (verticale) del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con distanza intergeofonica pari a **3**m.

- due scoppi simmetrici (end-shots) esterni allo stendimento ad una distanza di **9** metri dal geofono più vicino;
- due scoppi simmetrici (mid-shots) interni allo stendimento ad una distanza di **1,5** metri dal geofono più vicino;
- uno scoppio (mid-shot) al centro dello stendimento stesso tra i geofoni 6 e 7.

La lunghezza totale dello stendimento, compresi i due end-shot è di **51** m.

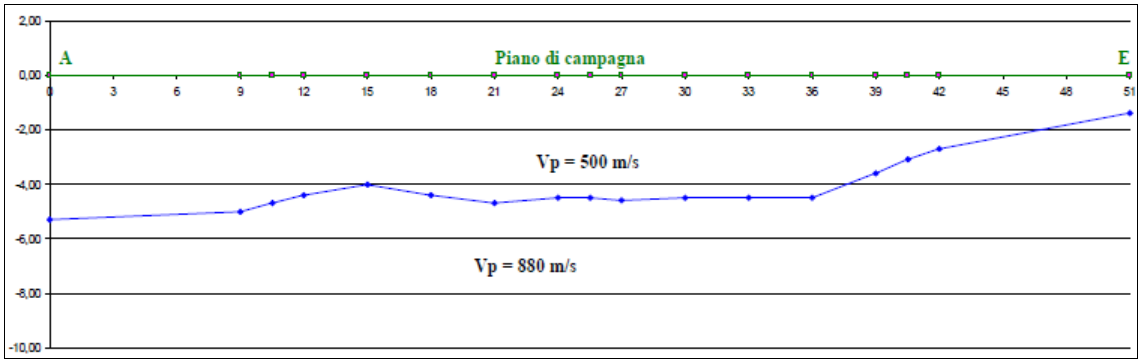
7.2.3 Risultati ed interpretazione del modello

A seguito della modellizzazione effettuata si è desunto il modello geologico dell'area interessata; possiamo suddividere il suolo in **due** layer principali identificati da una lettera:

- **A**: Layer superficiale. La Vp è stimata intorno ai 500 m/sec e la sua estensione in profondità è variabile tra 2 e 5,5 m circa dal p.c.; è interpretabile come detrito;
- **B**: Si tratta di un layer avente velocità Vp di circa 880 m/sec; interpretabile come roccia alterata e fratturata;

Tabella riassuntiva dell'acquisizione di sismica a rifrazione

N° di geofoni	12
Distanza intergeofonica	3 m
Lunghezza stesa	51 m
N°di shot	5
Intervallo di campionamento	5000Hz/200µS
Tempo di acquisizione	0,3sec
Gain	Modulabile da 27 a 50db

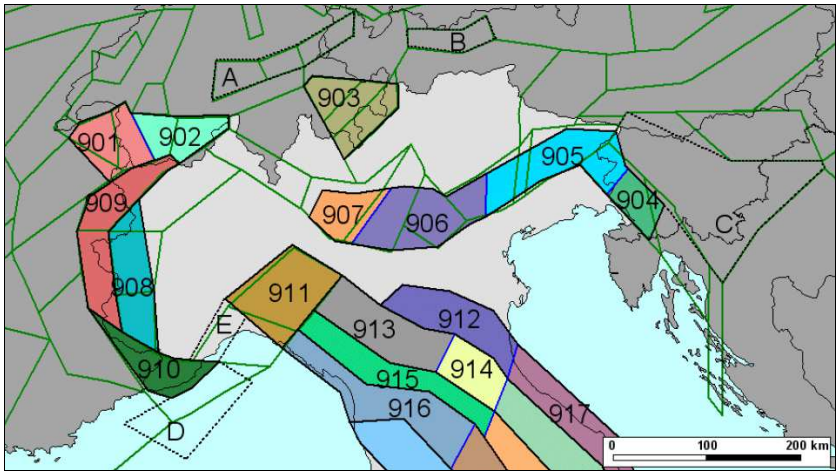


INTERPRETAZIONE SEZIONE SISMICA

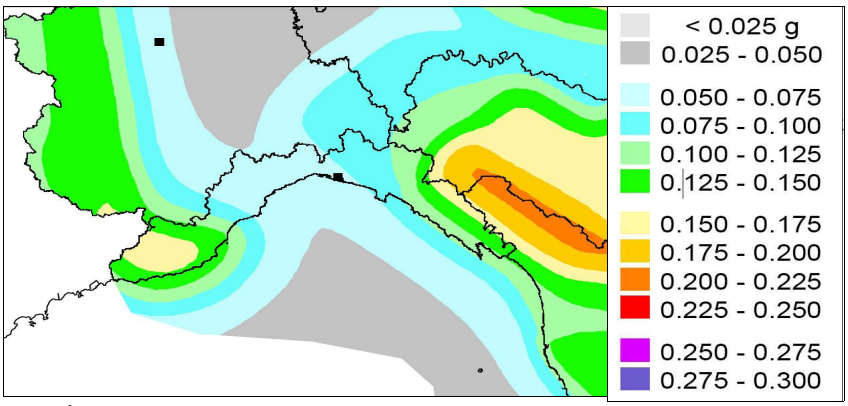
8-NOTE SISMICHE

Zonazione sismogenetica

Dall'esame della cartografia di zonazione sismogenetica ZS9 l'area in esame si colloca nella zona 916 che è classificata come settore in distenzione tirrenica definito dal modello sismotettonico di Meletti ed al. (2000). Questa zona è caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati.



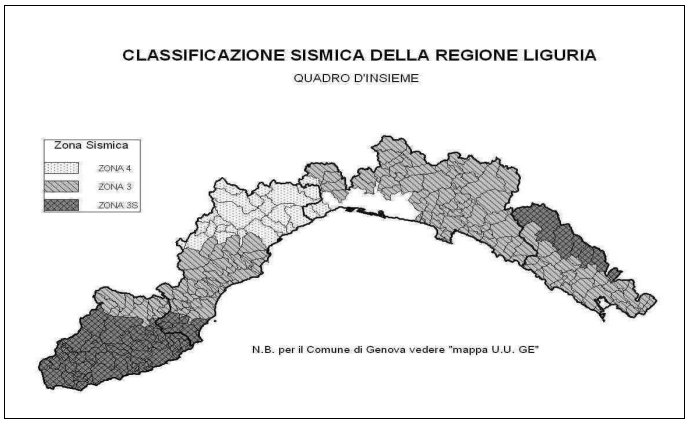
Zonazione sismogenetica dell'Italia Nord-Occidentale (da GNDT)



Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (da INGV)

Classificazione sismica

In base al D.G.R. n. 1362/10 ("Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"), il territorio del Comune di La Spezia è inserito in zona 3, corrispondente ad un valore di accelerazione orizzontale ag = 0,15 g.



Classificazione sismica della Regione Liguria

Categoria di suolo

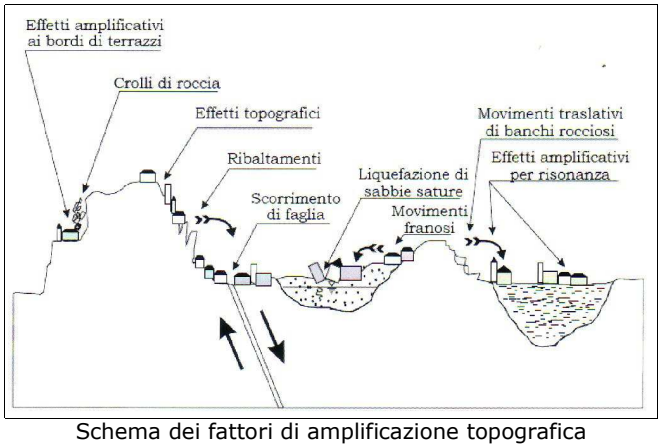
Per quanto riguarda i valori delle Vs, sulla base della masw effettuata nella campagna di indagini è stato possibile stimare i valori di Vs nei primi 30 m di suolo. Pertanto, la categoria del suolo di fondazione, ai fini della definizione dell'azione sismica è assimilabile alla categoria come "**B**" e cioè: "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", secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2018.

Coefficiente di amplificazione topografica St

Per quanto riguarda l'amplificazione sismica la morfologia dei luoghi influenza gli effetti del sisma, ed infatti si identificano tre conformazioni tipiche:

a) **conca**: conformazione rocciosa a conca con un riempimento di terreno soffice. Si realizzano fenomeni di rifrazione delle onde sismiche che risultano concentrate in una zona localizzata al centro della conca.
b) **pendio**: è dimostrato che le accelerazioni lungo il pendio sono maggiori rispetto al suolo pianeggiante.
c) **vetta**: rappresenta il caso più pericoloso. Le azioni sismiche si focalizzano sul punto sommitale in cui le azioni risultano notevolmente incrementate.

Il sito di intervento è collocato in un pendio, pertanto sono possibili fenomeni di maggiori accelerazioni sismiche dovute alla topografia. La categoria topografica è **T2** (tabella 3.2.IV NTC) e il coefficiente di amplificazione topografica risulta **St=1,2**.



Schema dei fattori di amplificazione topografica

Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento" V_R espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" P_{VR}.
La pericolosità sismica è definita in termini di:
-accelerazione orizzontale massima attesa "ag" in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale categoria T1;
-ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia ultimi che di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.
Gli stati limite ultimi (SLU) dinamici sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

Gli stati limite di esercizio (SLE) dinamici sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO)
- Stato Limite di Danno (SLD)

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 e del D.M 17 gennaio 2018, infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente"; l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati* limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

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

PARAMETRI SISMICI

Sito in esame.

latitudine:	44,102153
longitudine:	9,88865
Classe:	2
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18485	Lat: 44,0794	Lon: 9,8712	Distanza: 2889,217
Sito 2	ID: 18486	Lat: 44,0815	Lon: 9,9408	Distanza: 4754,557
Sito 3	ID: 18264	Lat: 44,1314	Lon: 9,9379	Distanza: 5103,991
Sito 4	ID: 18263	Lat: 44,1293	Lon: 9,8683	Distanza: 3431,618

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B	
Categoria topografica:	T2	
Periodo di riferimento:	50anni	
Coefficiente cu:	1	
Operatività (SLO):		
Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]

ag:	0,042 g	
Fo:	2,520	
Tc*:	0,226	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,052 g	
Fo:	2,514	
Tc*:	0,245	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,127 g	
Fo:	2,407	
Tc*:	0,291	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,164 g	
Fo:	2,375	
Tc*:	0,299	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,480
St:	1,200
Kh:	0,012
Kv:	0,006
Amax:	0,588
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,460
St:	1,200
Kh:	0,015
Kv:	0,008
Amax:	0,736
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,410
St:	1,200
Kh:	0,044
Kv:	0,022
Amax:	1,798
Beta:	0,240

SLC:

Ss:	1,200
Cc:	1,400
St:	1,200
Kh:	0,057
Kv:	0,028
Amax:	2,318
Beta:	0,240



Nodi del reticolo sismico di riferimento della zona in esame

Liquefazione

Per quanto concerne la liquefazione viene valutata la possibilità dell'insorgenza del fenomeno sui terreni di fondazione in concomitanza di eventi sismici.

Affinché possa aver origine tale fenomeno, che porta una brusca riduzione della resistenza al taglio a causa di sovrappressioni interstiziali indotte a seguito di una sollecitazione sismica, i terreni devono presentare particolari caratteristiche; è noto, infatti, che soggetti a liquefazione sono in particolare i depositi monogranulari fini, saturi, a bassa densità relativa.

Nel caso in esame, vista la situazione geologica, si ritiene che il fenomeno non abbia possibilità di verificarsi.

9-CONCLUSIONI

Dalla disamina delle tavole progettuali si conferma la fattibilità geologica del progetto di sistemazione d'area in Località Pomara – Varisella nel Comune di La Spezia, da parte della C.R.A. Centro Recupero Ambiente s.r.l..

Gli interventi in progetto riguardano la riprofilatura del versante con il riempimento del piazzale e la messa in opera di terre armate a protezione della scarpata.
Per tali opere si prescrive che:

1. I riporti dovranno essere eseguiti sistemando il materiale scaricato in strati di circa 50 – 70 cm di spessore, adeguatamente compattati con mezzo meccanico, in modo da ottenere buoni parametri di resistenza ed evitare eccessivi assestamenti;
2. Per evitare che l'acqua d'infiltrazione possa instaurare accumuli idrici, e quindi sovrapressioni, è necessario realizzare un sistema drenante alla base del riporto composto da un letto drenante di circa 20 cm di spessore e/o trincee drenanti;
3. Su tutta la zona dovrà essere predisposta, curata e mantenuta in efficienza la regimazione idrica delle acque meteoriche convogliandole direttamente alla rete di scolo esistente evitandone la dispersione nel sottosuolo;
4. Completata la profilatura della scarpata con la realizzazione delle terre armate, si dovrà procedere alla semina di essenze erbacee ed arbustive antierosione e successivamente essenze vegetali arboree.

In fase esecutiva si porrà particolare attenzione che il piano di fondazione delle terre armate sia il più omogeneo possibile eliminando o bonificando eventuali sacche o lenti di materiale molto compressibile, sostituendo queste ultime con ghiaia e ghiaietto compattati.

A tergo delle terre armate dovrà essere predisposto adeguato drenaggio per lo smaltimento delle acque di infiltrazione ed evitare così sovrapressioni.

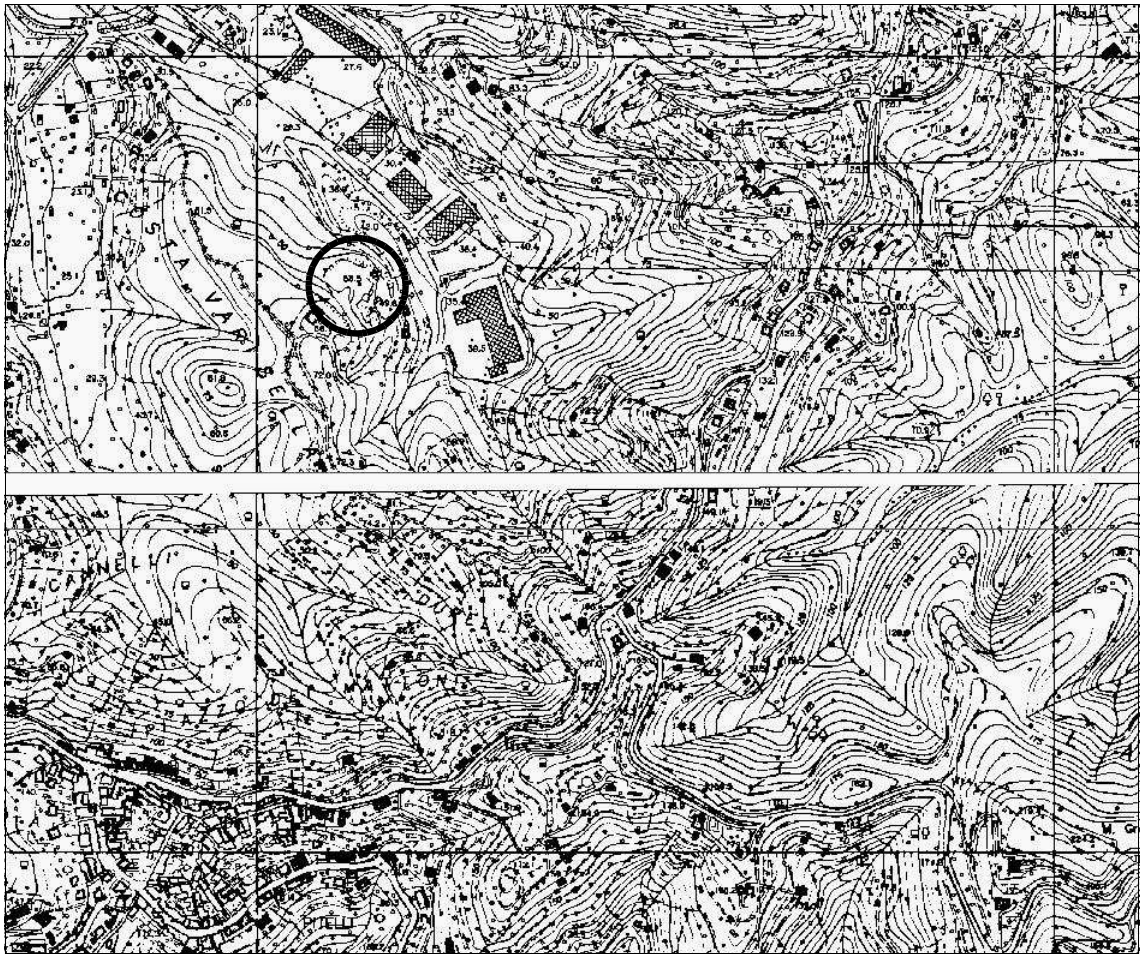
Alle superfici così sistemate dovrà essere fornita idonea pendenza laterale per lo smaltimento delle acque piovane verso le reti di scolo naturali.

Nel rispetto delle modalità realizzative suggerite non si ravvisano, per quanto di competenza, prescrizioni di carattere geologico se non le usuali cautele di cantiere.; in ogni caso, tutti gli interventi dovranno essere attentamente verificati in fase di esecuzione lavori e adattati alle situazioni che dovessero risultare difformi da quanto previsto.

Il tecnico incaricato
Dott. Geologo Angela Sartelli



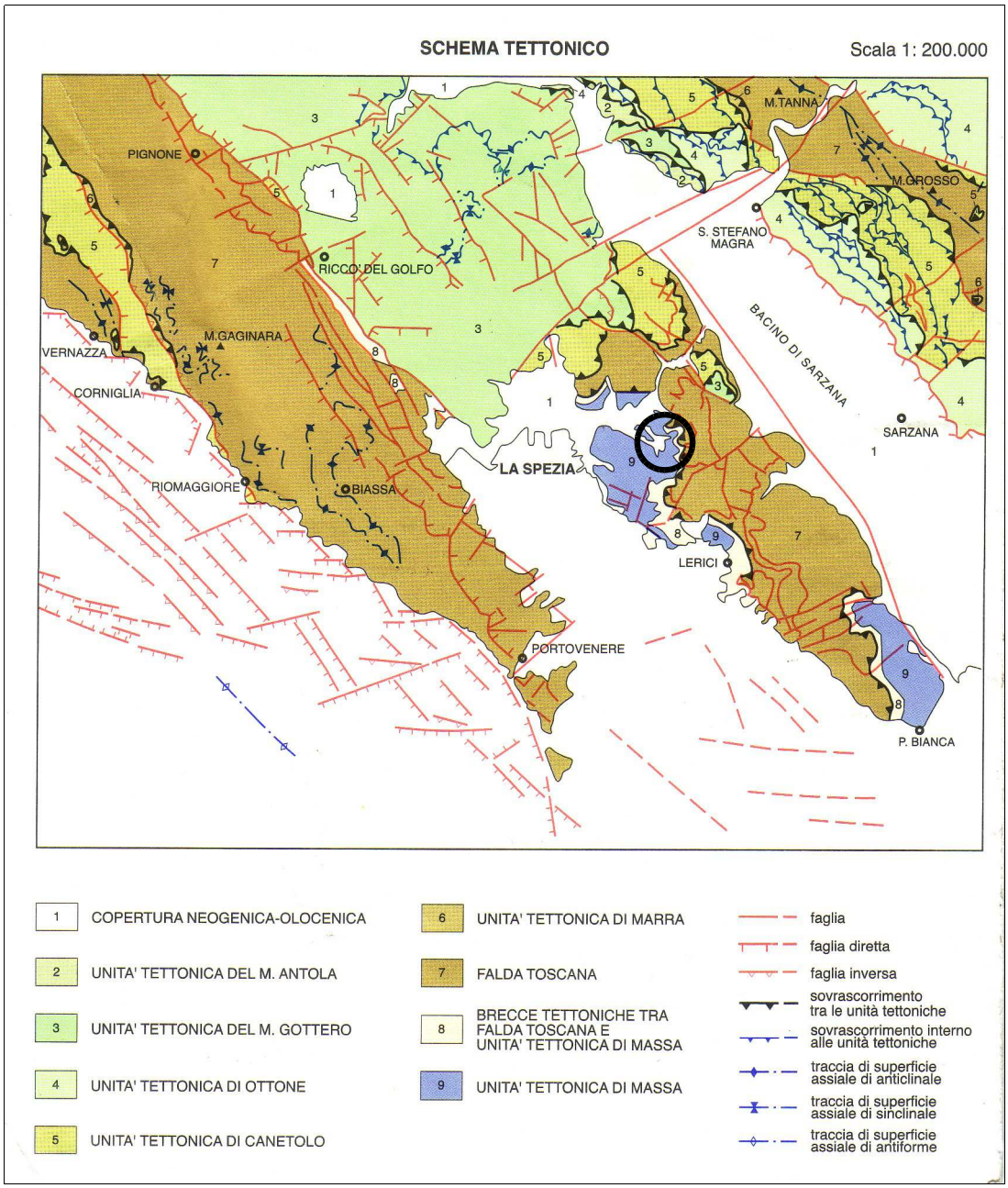
10-ALLEGATI



INQUADRAMENTO TERRITORIALE – SCALA 1:10000

LEGENDA

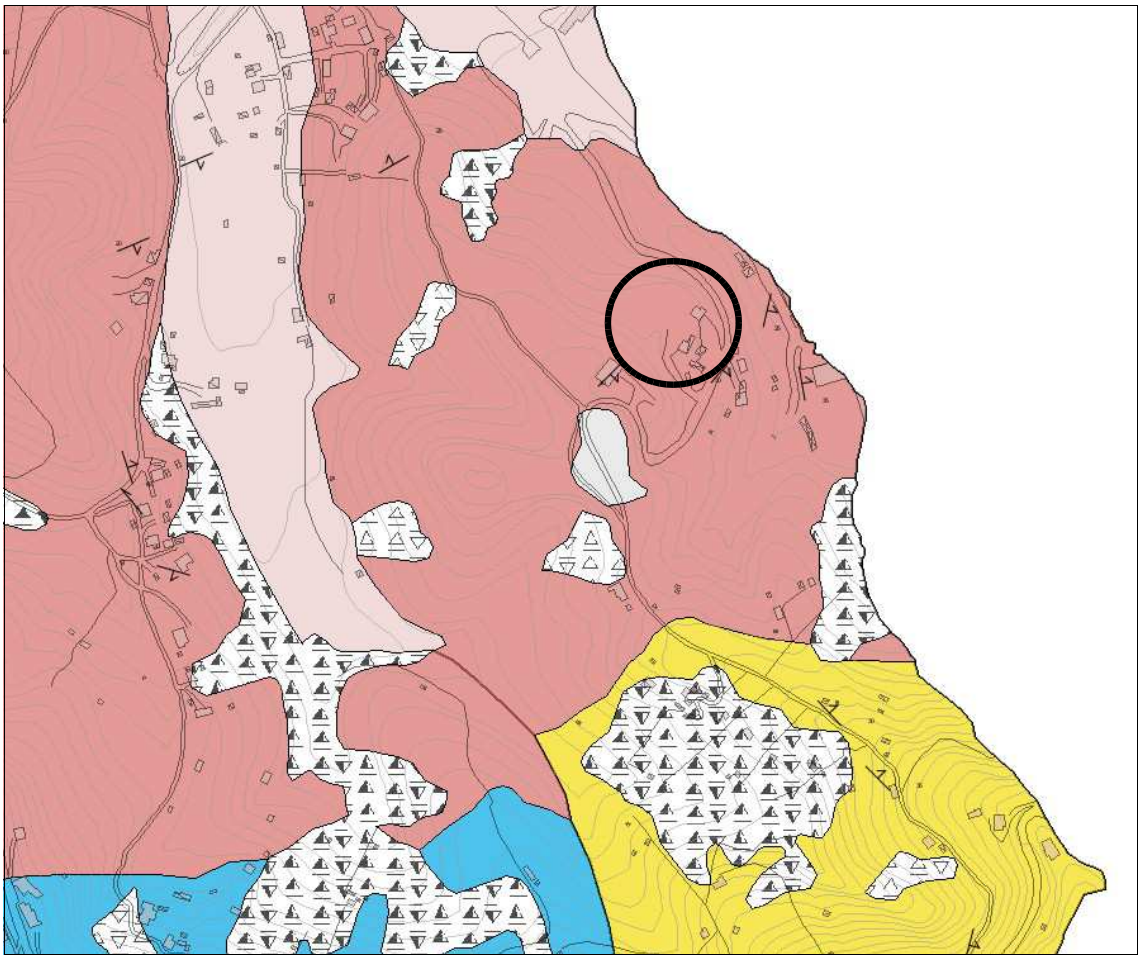
Area di studio



SCHEMA GEOLOGICO DELLA VAL DI MAGRA E DEL GOLFO DELLA SPEZIA

LEGENDA

Area di studio



CARTA GEOLOGICA PUC DI LA SPEZIA – NON IN SCALA

LEGENDA

Area di studio

Coperture detritiche da massi a ciottoli da 1,5 a 3 m

Coperture detritiche da ciottoli ad argilla da 1,5 a 3 m

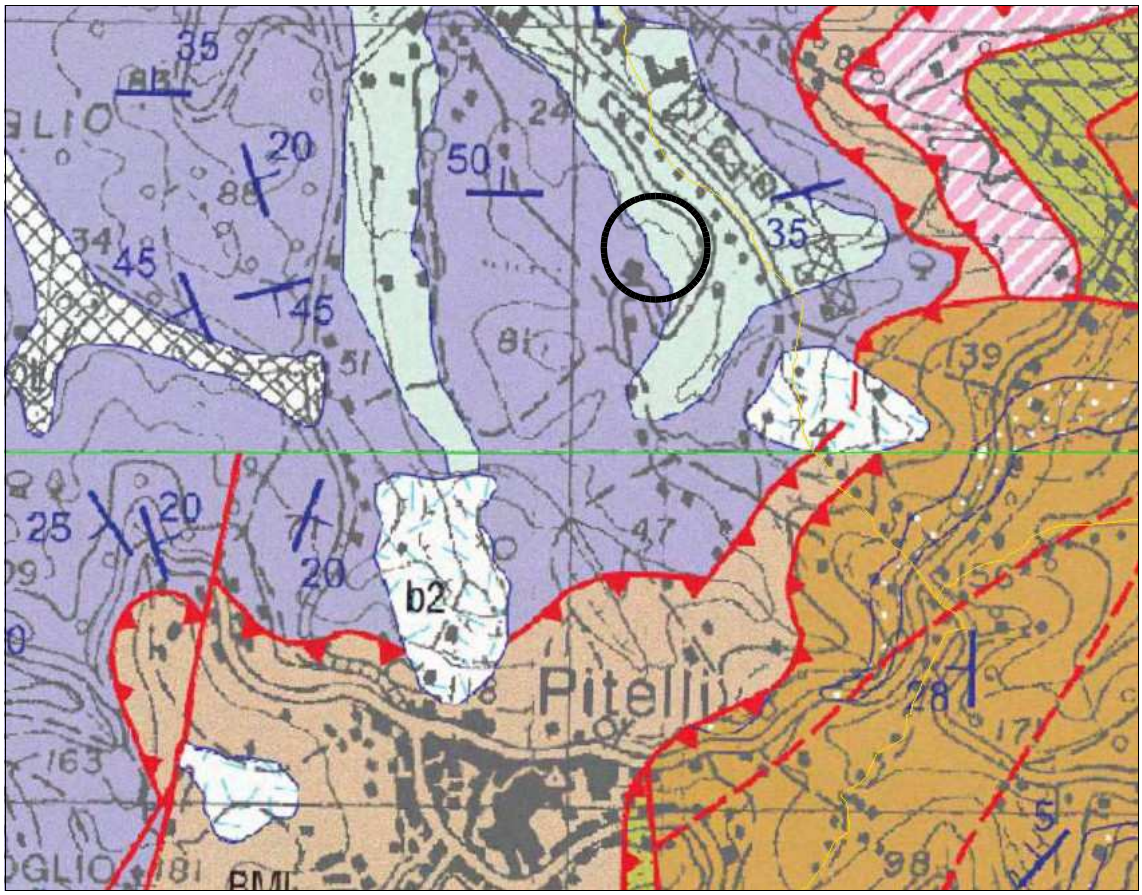
Coperture detritiche da massi a sabbie > 5 m

Arenaria macigno

Scisti policromi

Maiolica

Quarziti



STRALCIO CARTOGRAFIA CARG – DA CARTA 1:25000

LEGENDA

Area di studio

MAC – Arenaria Macigno

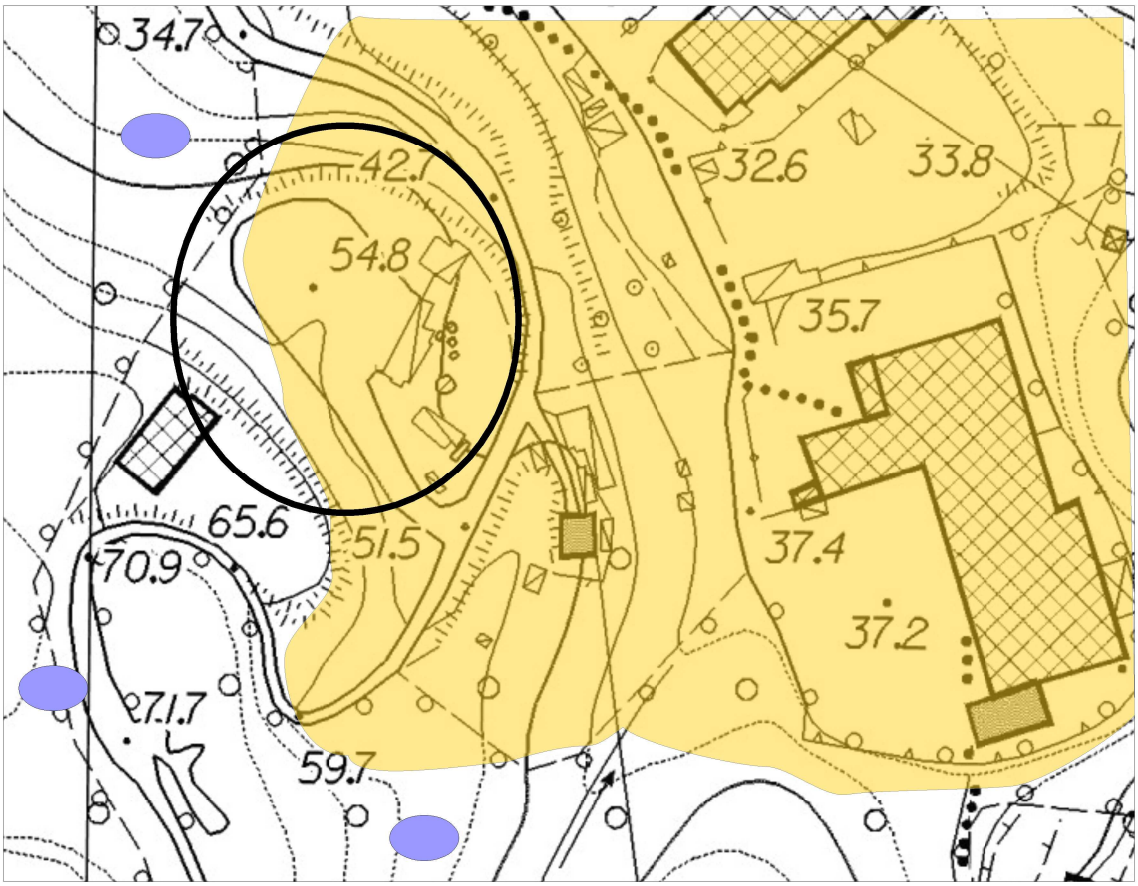
STO – Scaglia Toscana

MAI – Maiolica

BML – Brecce di Maralunga

QZF – Quarziti e Filladi

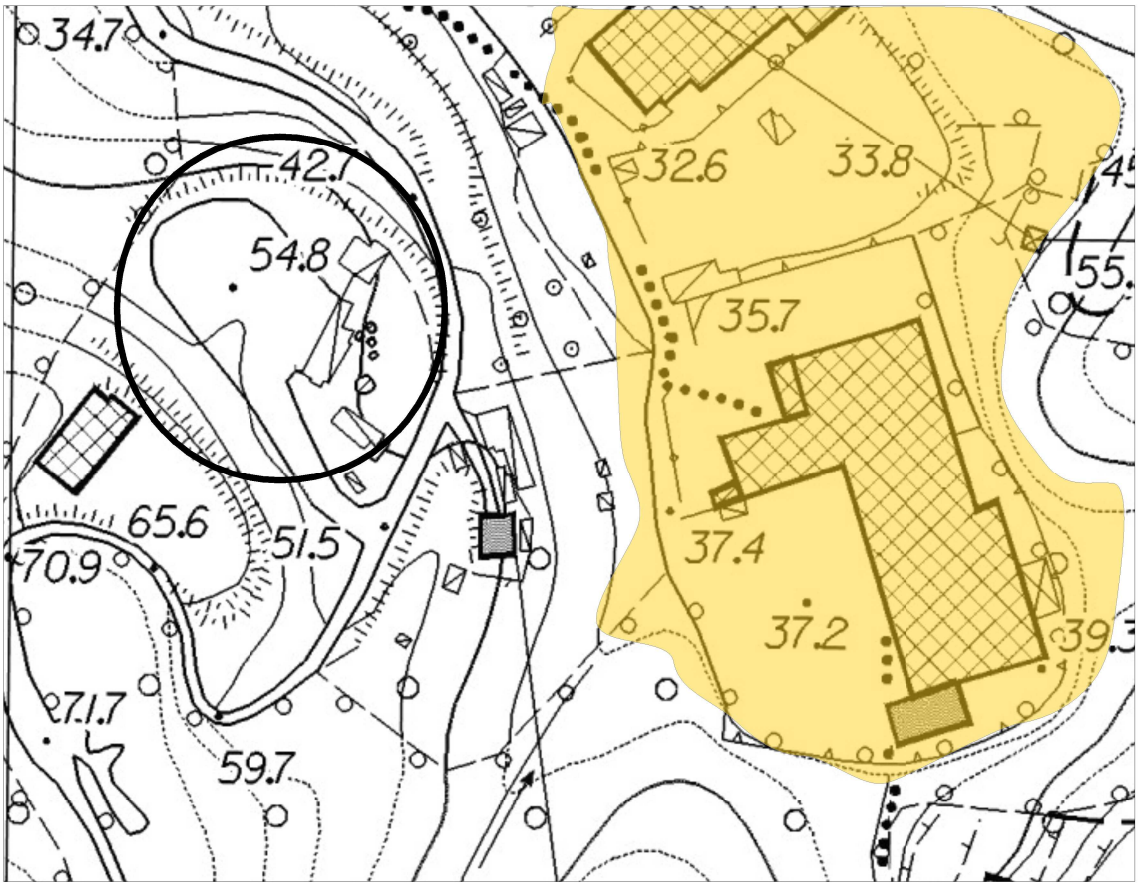
----- Faglia



CARTA GEOLOGICA – SCALA 1:2000

LEGENDA

- Area di studio
- Deposito alluvionale terrazzato e riporto antropico
- Quarziti e detrito sottile (1-3 m)
- Affioramenti



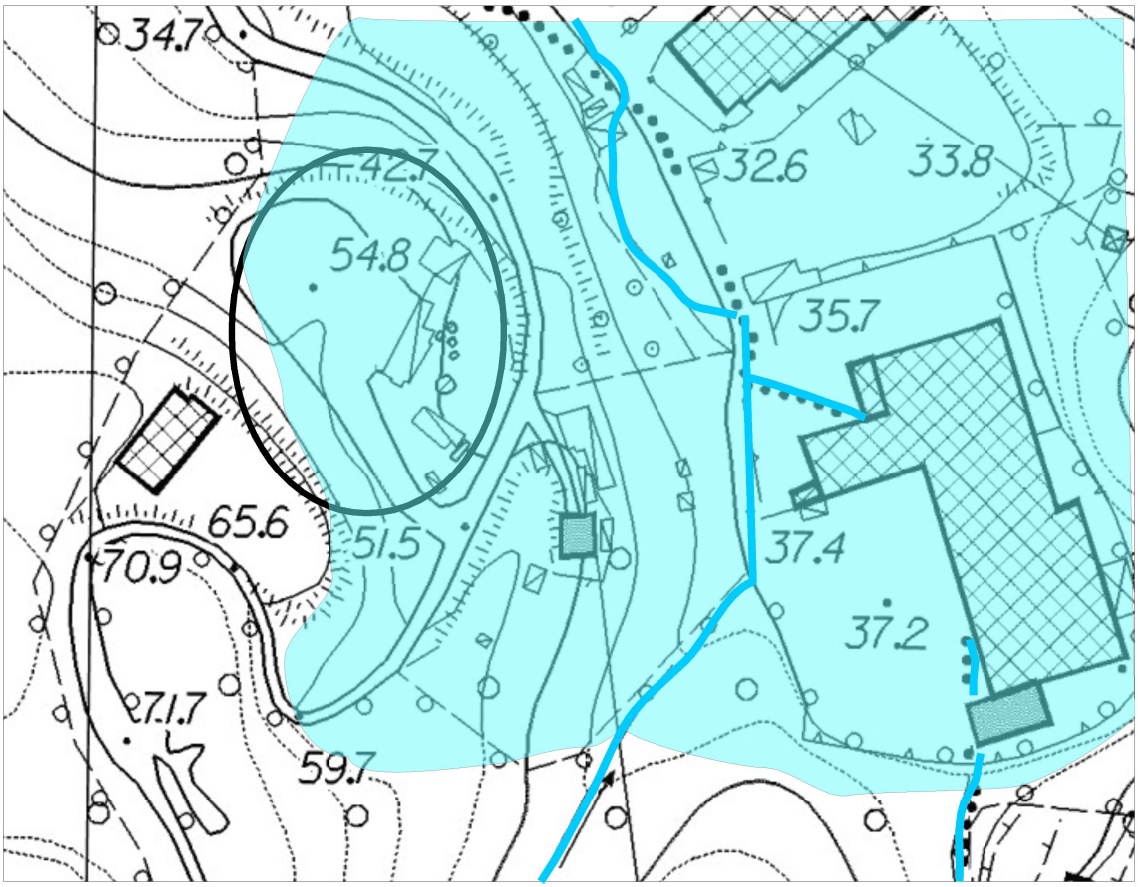
CARTA GEOMORFOLOGICA – SCALA 1:2000

LEGENDA

Area di studio

Area di fondovalle

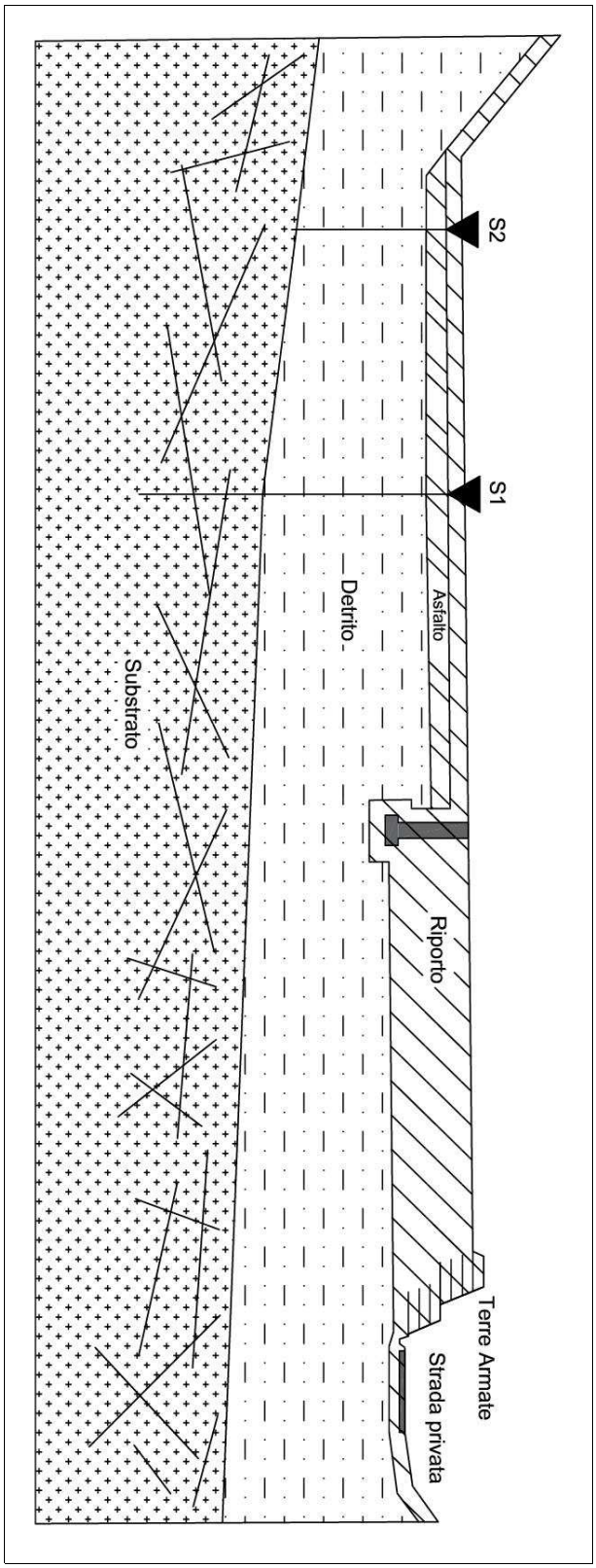
Zona di versante mediamente acclive



CARTA IDROGEOLOGICA – SCALA 1:2000

LEGENDA

- Area di studio
- Deposito alluvionale permeabile per porosità
- Substrato scarsamente permeabile per fratturazione
- Impluvio



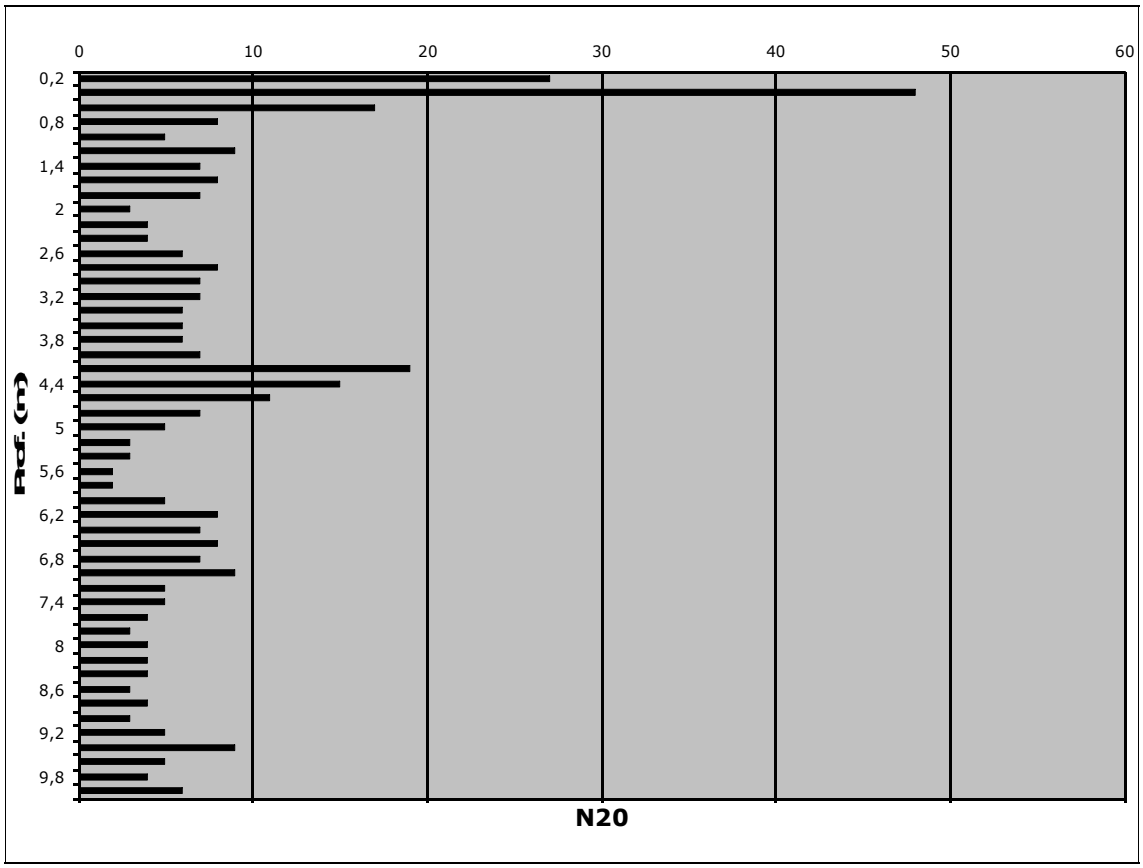
SEZIONE GEOLOGICA RIFERITA A QUELLA DI PROGETTO – SCALA 1:500



IMMAGINE SATELLITARE ED UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE – SCALA 1:1500

LEGENDA

- Carotaggi
- Prova penetrometrica pesante DPSH
- Stesa sismica MASW
- Stesa sismica tomografica
- Traccia sezione



ISTOGRAMMA PROVA PENETROMETRICA **DPSH1**

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



FOTO 1: PROVA PENETROMETRICA DPSH



FOTO 2: STENDIMENTO LINEA SISMICA N.4



FOTO 3: STENDIMENTO LINEA SISMICA MASW N.1



FOTO 4: CAROTAGGIO S1



FOTO 5: CAROTAGGIO S2