

COMUNE DI TERRICCIOLA
Provincia di Pisa



**MIGLIORAMENTO SISMICO E RIQUALIFICAZIONE
DELLA SCUOLA PRIMARIA “DAMIANO CHIESA” E
SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO
“ALESSANDRO DA MORRONA”**

Relazione Geologica

Maggio 2019

INDICE

1 – PREMESSA	2
2 –METODOLOGIA E CONTENUTI	3
3 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	4
3.1 – GEOLOGIA	4
3.1.1 - ALLUVIONI RECENTI ED ATTUALI - OLOCENE	5
3.1.2 - SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA	5
3.2 – CARTA GEOMORFOLOGICA	6
3.2.1 - AGENTI MORFOGENETICI.....	7
4 – STRUMENTI SOVRAORDINATI	8
5.- INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
5.1.- Aspetti morfologici, geologici ed idrografici	8
5.2 – Considerazioni sulla pericolosità idraulica e geologica	9
6 – INDAGINI E RILEVAMENTI IN SITO	11
6.1. – Sondaggio a carotaggio continuo e prove penetrometriche di riferimento	11
6.2.- Penetrometrie dinamiche DPSH – numero di riferimento 67 – Tav. 2	13
6.3. – Studi geognostici – campagna 2019	13
6.4. – Misure piezometriche	14
7 - CARATTERIZZAZIONE SISMICA	14
7.1 – Studi sismici	18
7.2 - Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura	18
7.3–DOWN HOLE	20
7.4 –Periodo di riferimento dell’azione sismica	21
7.5 - Categorie di suolo e condizioni topografiche	22
7.6 – Pericolosità sismica e parametri sismici	22
8 – VERIFICA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	25

ELENCO TAVOLE

1 Inquadramento topografico ed ortofotocarta	scala 1:2.000
2 Carta geomorfologica e dei dati di base	scala 1:2.000
3 Carta della pericolosità geomorfologica	scala 1:1.000
4 Carta dell’acclività	scala 1:2.000
5 Ubicazione delle indagini	scala 1:500
6 Planimetria e sezione geologica	scala 1:400

ELENCO ALLEGATI

- ALLEGATO 1** – Sondaggi geognostici di riferimento
- ALLEGATO 2** – Prove penetrometriche di riferimento- campagna 2013
- ALLEGATO 3** – Logs stratigrafico - campagna 2019
- ALLEGATO 4** – HVSr- campagna 2013
- ALLEGATO 5** – Indagini sismica DOWNHOLE - campagna 2019

1 – PREMESSA

Per incarico dell'Amministrazione Comunale di Terricciola è stato eseguito uno studio geologico, geognostico e geofisico finalizzato alla definizione del modello tecnico di sottosuolo posto in corrispondenza dell'edificio pubblico denominato "Scuola primaria Damiano Chiesa e Scuola secondaria di primo grado Alessandro da Morrone" posta in via del Chianti 3/3a - Terricciola.

Tale studio, finalizzato al miglioramento sismico e di riqualificazione della scuola, sarà eseguito mediante realizzazione di rinforzi fondali con l'utilizzo di micropali tipo tubifix. L'indagine è stata condotta in ottemperanza delle seguenti direttive:

- *Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003;*
- *Deliberera G.R.T. n° 1114/2003*
- *Ordinanza P.C.M. n° 3362/2004 e 3505/2006;*
- *Legge Regionale n° 58 del 16 ottobre 2009;*
- *Delibera G.R.T. n° 460/2010;*
- *Delibera G.R.T. n° 802/2011;*
- *Decreto Ministeriale 17/01/2018 - Testo unitario Norme Tecniche per le Costruzioni.*
- *Circ 21 gennaio 2019, n° 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17-01-2018.*

- *Del. G.R.T. n. 431 del 19.06.06, "Riclassificazione sismica del territorio regionale: Attuazione del - D.M. 14.9.2005 e O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006";*
- *Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 luglio 2009, n. 36/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico;*
- *Allegato A del D.P.G.R. n.53/R del 25 ottobre 2011 - Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche;*
- *L.R. 24 luglio 2018 n° 41 - Disposizioni in materia rischio alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n° 49 . Modifiche alla L.R: 80/2015 e L.R. 65/2014 –*
- *Variante PAI di adeguamento al Piano di Gestione Rischio Alluvione del Distretto adottato con Decreto del Segretario Generale n° 39 del 12/06/2018;*

oltre che dalle seguenti leggi e strumenti di governo del territorio sovraordinati:

- *Legge Regionale 10 novembre 2014, n. 65 "Norme per il governo del territorio";*
- *Piano di Indirizzo Territoriale (P.I.T.) 2005-2010 approvato dalla Regione Toscana con D.C.R. n. 72 del 24.07.2007, con particolare riferimento all'art.36 - Lo statuto del territorio Toscano - Misure generali di salvaguardia - All. A, elaborato 2 del P.I.T.;*
- *Piano Stralcio "Assetto Idrogeologico" - Autorità di Bacino del Fiume Arno (P.A.I.) - approvato con D.P.C.M. del 06.05.2005;*
- *Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (P.T.C.) - D.C.P. n. 100 del 27.07.2006.*
- *Distretto Settentrionale - Piano di Gestione delle Acque - Comitato Istituzionale Integrato del 3 marzo 2016;*

Secondo la Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, è stata approvata la classificazione sismica regionale, relativa all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012., con la quale il comune di Terricciola è stato classificato "Comune sismico - Zona rischio sismico 3".

2 –METODOLOGIA E CONTENUTI

Per vulnerabilità sismica s'intende la valutazione della possibilità che persone, edifici o attività subiscano danni o modificazioni al verificarsi dell'evento sismico. Misura da una parte la perdita o la riduzione di efficienza, dall'altra la capacità residua a svolgere ed assicurare le funzioni che il sistema territoriale, nel suo complesso, esprime in condizioni normali. Ad esempio nel caso degli edifici la vulnerabilità dipende dai materiali, dalle caratteristiche costruttive e dallo stato di manutenzione ed esprime la loro resistenza al sisma.

Pur rimandando agli elaborati di base del Piano Strutturale per quanto concerne le problematiche geologiche di carattere generale, la presente indagine ha previsto un loro approfondimento relativamente all'area sulla quale insiste il manufatto, oggetto di studio. In particolare, per quanto riguarda la pericolosità geomorfologica, è stato condotto un rilevamento di dettaglio in corrispondenza della zona in oggetto ed in un congruo intorno della stessa. Ciò si è ritenuto necessario al fine di aggiornare il quadro conoscitivo a seguito degli eventi meteorici che hanno interessato il territorio comunale nel recente passato.

Inoltre lo studio ha comportato l'acquisizione e l'adeguamento agli elaborati cartografici relativi al P.A.I., al P.T.C. provinciale, agli ultimi studi geologici effettuati sul territorio comunale da parte della Regione Toscana e della Provincia di Pisa (*nuova carta geologica e geomorfologica realizzata con la supervisione scientifica delle Università toscane e il CNR IGG di Pisa, Studio della stabilità dei versanti - Consorzio LaMMA, Inventario fenomeni franosi - I.F.F.I., Progetto C.A.R.G.*), agli studi di supporto sia ai progetti specifici eseguiti a livello comunale che ai dati geologico tecnici relativi ad indagini puntuali eseguite per il rilascio delle singole concessioni edilizie estratti dagli archivi comunali e dai database informatici dei vari enti territoriali (P.T.C. di Pisa).

Il lavoro ha poi comportato la caratterizzazione - sulla base delle istruzioni del Programma V.E.L. (Valutazione Effetti Locali) - delle unità litostratigrafiche che costituiscono la struttura geologica sotto il profilo sismico e geognostico, in base a studi specifici effettuati sull'area di indagine.

In elenco si riportano tutti gli elaborati delle indagini geologiche prodotte:

- Relazione geologica

Per la zona in esame sono state redatte le seguenti carte in formato A3

- | | |
|--|---------------|
| • 1 Inquadramento topografico | scala 1:2.000 |
| • 2 Carta geomorfologica e dei dati di base | scala 1:2.000 |
| • 3 Carta della pericolosità geomorfologica | scala 1:2.000 |
| • 4 Carta dell'acclività | scala 1:2.000 |
| • 5 Particolare ubicazione indagini geognostiche eseguite | scala 1:500 |
| • 6 Planimetria con ubicazione indagini geognostiche e sezione geologica | scala 1:400 |

3 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico del Comune di Terricciola risulta caratterizzato da versanti ripidi e scoscesi che culminano con spianate morfologiche sulle quali, in genere, sorgono i centri abitati del capoluogo e delle frazioni, intervallati da valli più o meno incise che scendono ad Est nella valle dell'Era - Sterza e ad Ovest nella valle del Cascina.

I litotipi presenti non sono molti e risultano costituiti sostanzialmente da sabbie, sabbie argillose ed argille. Le unità litostratigrafiche fanno parte di due distinti cicli stratigrafici: il più basso geometricamente, in facies marina, il sovrastante, in facies salmastra. Il primo è riferibile, come età, al Pliocene inferiore-medio, il secondo al Pleistocene inferiore.

L'evoluzione geologica ha determinato le seguenti caratteristiche di base del territorio di Terricciola.

- morfologia assai accentuata creata dall'azione di una rete idrografica alquanto sviluppata la quale, pur non avendo portate costanti e significative, agisce su terreni estremamente erodibili (sabbie ed argille);
- diverso grado di acclività dei versanti Est ed Ovest del territorio comunale; più scosceso quello afferente al sistema Era/Sterza generato da una fossa tettonica ("Graben") di notevole rigetto; con pendenze più dolci quello gravitante sulla valle del fiume Cascina che invece è stata interessata da eventi tettonici di minore rilievo.

Dal punto di vista strettamente morfologico i fenomeni di instabilità e i processi morfologici presenti nel territorio in esame risultano:

- i prodotti dei fenomeni erosivi quali: testate vallive con tendenza all'arretramento, orli di scarpate in erosione attiva o quiescente, versanti soggetti a ruscellamento;
- i prodotti dei fenomeni di instabilità quali: frane distinte per tipologia del fenomeno, talora con gli elementi morfologici specifici della frana (nicchia di distacco, accumulo di frana ecc.) e per stato di attività (attiva o quiescente);
- le forme dovute alle acque incanalate quali: fossi di ruscellamento diffuso e concentrato, tratti di alveo con fenomeni erosivi accentuati, ripe di erosione, orli di terrazzo, coni di deiezione, erosione di sponda ecc.;
- le forme ed i prodotti antropici quali: cave e/o cavità sotterranee, aree denudate, discariche, laghetti ecc.

Tale situazione si ripercuote inevitabilmente, ed in misura variabile, sulle varie parti del territorio comunale in termini di stabilità e quindi di pericolosità geologica.

3.1 – GEOLOGIA

Nella carta Geomorfologica (Tav.2), redatta in un intorno significativo all'area in esame, sono descritte le formazioni geologiche ed i relativi membri litologici con gli assetti giacitureali delle formazioni, tenendo conto degli aggiornamenti proposti dalla recente letteratura scientifica.

Dall'alto verso il basso affiorano i seguenti terreni recenti e le seguenti unità stratigrafiche:

3.1.1 - ALLUVIONI RECENTI ED ATTUALI - OLOCENE

Si tratta dei depositi alluvionali più recenti attribuibili ai corsi d'acqua e ai suoi affluenti, che affiorano nella zona del territorio comunale e penetrano all'interno delle valli minori conferendo a queste la classica morfologia tabulare. La loro deposizione risale all'Olocene ed è collegata con le fasi di sovralluvionamento sviluppatosi in tutta la pianura pisana man mano che il livello del mare risaliva, durante la deglaciazione post-wurmiana. All'interno delle valli è presente una zona di frangia, con materiali di granulometria mista.

3.1.2 - SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA

SEQUENZA DEL PLIOCENE INFERIORE-MEDIO

Questi depositi fanno parte del ciclo stratigrafico del Pliocene inferiore-medio. Nel territorio comunale di Terricciola affiora il membro superiore, costituito dalle "Sabbie di Lajatico - Formazione di Villamagna" (VLMs) a granulometria grossolana contenenti, nella parte bassa, frequenti livelli argillosi e limi (Argille sabbiose di S Cipriano VLMa). Il passaggio fra le formazioni che costituiscono questo ciclo non è mai netto ma avviene per un'alternanza in verticale di tipi litologici e per variabilità laterale, tanto che il confine fra di esse non sempre è di sicura collocazione.

- Sabbie di Lajatico (VLMs)

In campagna la formazione si presenta costituita da sabbie fini alternate con sabbie più grossolane, spesso cementate e da alcuni banchi a cemento calcareo tipici per il contenuto di un fossile, *Amphistegina*, molto diffuso sulle Colline Pisane.

Le sabbie hanno composizione silicea e granulometria fine: il colore è generalmente giallo arancio ed in affioramento è spesso evidente una stratificazione. Nella porzione inferiore della formazione gli strati hanno generalmente spessori decimetrici, mentre nella parte alta le sabbie si presentano in bancate di spessore metrico, talvolta interrotte da sottili livelletti argillosi.

Alla base poggiano con contatto stratigrafico concordante sulle Argille azzurre, al tetto sono generalmente ricoperte con contatto stratigrafico discordante dai depositi sabbioso-argillosi del Pleistocene Inferiore (Sabbie ed Argille ad Arctica Islandica). L'associazione fra la specie *Amphistegina* con la *Globorotalia aemiliana* conduce all'attribuzione della formazione al Pliocene medio (Bossio et. alii, 1981, opera citata).

Ambiente: mare basso e spiaggia.

- Argille sabbiose di San Cipriano (VLMa)

Livelli di argille sabbiose o sabbie argillose nocciola o grigie, di spessore non superiore a 25 metri. I macrofossili che si rinvencono localmente con frequenza, insieme alle caratteristiche sedimentarie, indicano un ambiente deposizionale marino di tipo neritico. Questa formazione è attribuita al Piacenziano (Pliocene Medio) (Costantini et al., in stampa2).

SEQUENZA DEL PLEISTOCENE INFERIORE

La mancanza di sedimenti del Pleistocene superiore in Toscana è ormai un dato acquisito. Ciò fa ritenere verosimile, in questo intervallo di tempo, un sollevamento generalizzato delle terre.

- Sabbie di Nugola Vecchia (NUG)

Poggiano con contatto stratigrafico concordante sulle Sabbie ed Argilla ad Arctica e sono sormontate con contatto stratigrafico, talvolta erosivo, dai conglomerati della Formazione di Casa Poggio ai Lecci del Pleistocene medio. Sono costituite da sabbie medio - fini prevalenti in livelli di 40-80 cm massive o con laminazione incrociata piana a basso angolo, associate a sabbie da limose a debolmente limose, fossilifere, di colore da giallo ocra a ocra-arancio, con intercalati strati di arenarie e di conglomerati spesso tenacemente cementati; i conglomerati possono essere costituiti da ciottoli minuti o da orizocenosi conchiliari.

Ambiente marino da spiaggia a poco profondo.

- Argille e limi di Vigna Nuova di Peccioli (VIP)

Argille e limi torbosi ricchi di Molluschi di acque salmastre. Ambiente deltizio.

- Sabbie ed argille ad Arctica Islandica (ART)

Si tratta di una formazione costituita da sedimenti a granulometria molto variabile: argille con limo sabbiose o debolmente sabbiose, limi con argilla sabbiosi e limi con sabbia argillosi, di colore grigio, spesso ricche di faune fossili ad ospiti nordici. Presentano laminazioni piano-parallela, incrociata piana o flaser. Vi sono anche livelli arenitici ad andamento lenticolare. Ricca di macrofossili, Ostrea, Lopho, Glycymeris, Pecten, caratteristica è la presenza di Cladochora caespitosa e di Arctica islandica. Sono presenti bioturbazione, ciottoli molli e resti vegetali.

Ambiente marino ristretto.

3.2 – CARTA GEOMORFOLOGICA

La Carta Geomorfologica (Tav 2) individua e descrive il quadro evolutivo dei dissesti e dei fenomeni evolutivi dei rilievi, attivi e quiescenti, che interessano le aree collinari sulle quali insistono le aree, in riferimento alle cause e ai processi che li hanno generati.

La tavola è frutto di una specifica campagna di rilievo con aggiornamento del quadro conoscitivo del Piano Strutturale.

Per la definizione della legenda delle "forme" e fenomeni da segnalare, si è fatto riferimento agli indirizzi e istruzioni tecniche del Programma V.E.L. (*Valutazione Effetti Locali*, Servizio sismico Regione Toscana) e ai più recenti I.C.M.S. (*Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*, Presidenza del Consiglio dei Ministri).

Sono state altresì verificate le forme di dissesto indicate nelle cartografie del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino del Fiume Arno che per il Comune di Terricciola sono rappresentate nel livello di sintesi in scala 1:25.000 e a livello di dettaglio a scala 1:10.000, oltre a quelle contenute nella Carta Geomorfologica redatta dalla Provincia di Pisa, nel 2005.

Nella legenda della carta le forme ed i depositi sono stati suddivisi in base all'agente morfogenetico che li ha prodotti: quello gravitativo, quello delle acque superficiali e quello antropico. Le forme ed i depositi sono stati inoltre distinti in base al tipo di movimento ed al loro stato di attività.

3.2.1 - AGENTI MORFOGENETICI

Sono state considerate:

- Attive: le forme e i depositi legati a processi in atto all'epoca del rilevamento o ricorrenti a ciclo breve;

- Quiescenti: le forme e i depositi per i quali esistono evidenze geomorfologiche o testimonianze di funzionamento nell'attuale sistema morfoclimatico e morfodinamico e che non avendo esaurito la loro evoluzione hanno possibilità di riattivarsi.

Nella sostanza sono state considerate quiescenti tutte le forme, i processi e i depositi di cui non è dimostrabile l'attività.

- Forme o processi morfodinamici dovuti alla gravità

- Frane: Sono state considerate quiescenti tutte le frane riconoscibili in sito e in fotografia aerea ma prive, all'osservazione diretta, d'evidenze di movimento.

Le frane sono state distinte, oltre che per lo stato d'attività, anche per tipologia del fenomeno, individuando gli elementi morfologici specifici della stessa (nicchia di distacco, accumulo di frana ecc.)

Altri fenomeni erosivi segnalati sono quelli relativi alle testate vallive con tendenza all'arretramento e gli orli di scarpate di erosione selettiva dove è stata eseguita una distinzione in funzione della sua altezza <10m e compresa tra 10 m e 20 m.

Gli accumuli di frana, che nella maggior parte dei casi interessano zone agricole, generalmente vengono rimossi con gli interventi di bonifica che rimodellano il profilo del versante.

Le tipologie di frana rilevate sono di tipo *per scorrimento* e *per colamento*.

La contemporanea presenza di terreni sabbiosi con quelli argillosi o comunque "fini", comporta fenomeni di movimento di massa e condizioni geologico - tecniche ed idrogeologiche molto diverse da quelle che generalmente competono a sedimenti più omogenei, dell'uno o dell'altro tipo. I materiali argillosi, infatti, mostrano una tendenza al colamento ed allo scoscendimento, mentre le sabbie sono più facilmente soggette a fenomeni di crollo se cementate, o rotazionali-traslazionali.

Dove c'è alternanza di sabbie con argille, il fenomeno della rottura avviene bruscamente, in stretta connessione con precipitazioni di particolare intensità e durata; le modificazioni che portano alla rottura, sono sempre legate alla presenza dei corpi sabbiosi più permeabili. Pertanto il particolare assetto stratigrafico dell'area, costituito dalla sovrapposizione di depositi marini di vari cicli e di varia granulometria, fa sì che i versanti si presentino spesso gradonati con porzioni più ripide nelle facies a granulometria maggiore, alternate a porzioni più dolci dove la componente fine è più abbondante. Tali

variazioni granulometriche si riflettono anche sulla permeabilità dei sedimenti che risulta bassa nelle argille ed alta nelle sabbie, accentuando l'evoluzione verso una morfologia a gradoni. Tuttavia anche all'interno delle formazioni sabbiose sono presenti livelli più fini e le scarpate non sono ubicate esclusivamente al contatto fra formazioni diverse, ma si trovano anche all'interno della stessa formazione.

- Forme o processi morfodinamici dovuti alle acque superficiali

Si tratta di versanti soggetti a ruscellamento diffuso e concentrato, forme dovute alle acque incanalate, tratti di alveo con fenomeni erosivi accentuati in approfondimento.

In particolare le forme cartografate sono:

- *Solco da ruscellamento concentrato attivo*
- *Alveo in approfondimento attivo*

4 – STRUMENTI SOVRAORDINATI

➤ Autorità di Bacino Fiume Arno

Il Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

L'area del centro storico di Terricciola rientra nella Sezione n.105, livello di Sintesi, scala 1:25000 e al dettaglio 1:10000 – Stralcio 628 (*Perimetrazione delle aree con pericolosità da frana derivate dall'inventario fenomeni franosi livello di dettaglio*)

La zona essendo collocata in corrispondenza di un crinale morfologico non presenta fragilità idrauliche.

Per quanto riguarda la pericolosità geomorfologica e il rischio frana, la cartografia di Piano, evidenzia, in generale, un grado di pericolosità **P.F.2 - Pericolosità media**.

➤ Vincolo idrogeologico

La zona è soggetta a Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/23 e L.R. 39/2000 e succ. mod..

5.- INQUADRAMENTO GEOLOGICO

5.1.- Aspetti morfologici, geologici ed idrografici

L'area in esame è posta ad una quota di circa 160 m s.l.m., lungo il versante occidentale del crinale collinare su cui s'impone l'abitato di Terricciola, a sud della via del Chianti (v. Tav. 1). In particolare la scuola è collocata in corrispondenza di uno sprone morfologico sub pianeggiante che si protende in direzione NE/SW, delimitato da scarpate aventi un'acclività variabile (v. Tav.4).

Il versante risulta solcato da impluvi naturali che convergono verso il "Fosso Figuretta", posto a valle.

L'edificio ha una conformazione irregolare, iscrivibile in un rettangolo di 21x50m ed è costituito principalmente da due piani fuori terra, ma essendo posto su un terreno in pendenza, nei lati a NW e SW sono presenti dei locali seminterrati.

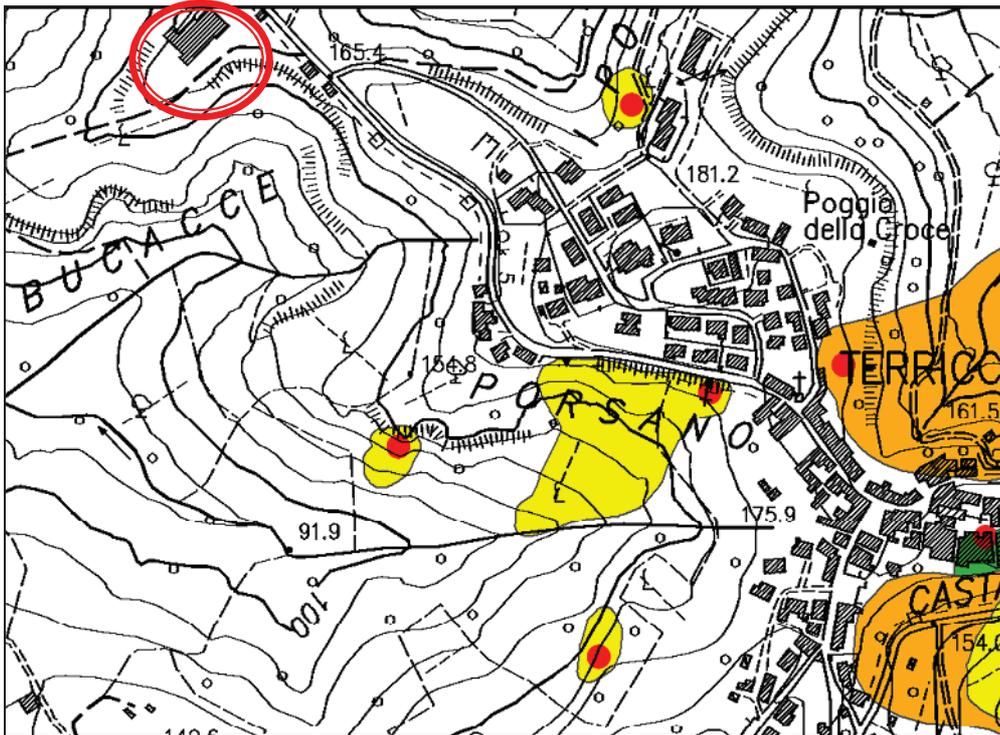
Per quanto concerne l'assetto litostratigrafico locale i dati rilevati nel corso della campagna geognostica, evidenziano la presenza di una successione costituita da sabbie e sabbie limose passanti ad argille, argille limose.

Il rilievo, esteso all'ambito geomorfologico significativo, ha individuato, lungo le scarpate, aree con propensione al dissesto; sono infatti visibili segni geomorfologici che indicano assestamenti lenti che interessano prevalentemente la parte più superficiale dei terreni. In particolare le osservazioni effettuate sottolineano come il versante, se soggetto a intensa saturazione, ruscellamento diffuso incontrollato e/o in condizioni clivometriche sfavorevoli, può essere interessato da fenomeni franosi (v. Tav.2).

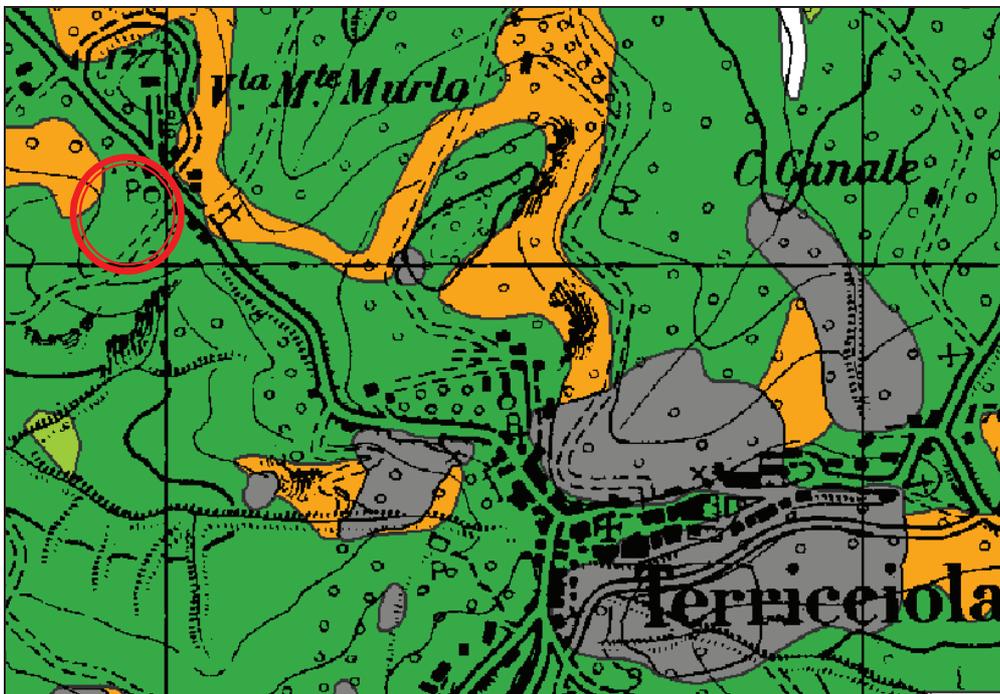
Dal punto di vista idrogeologico i terreni pliocenici hanno una permeabilità variabile, soprattutto in senso verticale, ma talvolta anche in senso orizzontale, causata dalla ripetuta alternanza di sabbie, argille e limi. L'interstratificazione di sedimenti misto granulari più porosi e sedimenti con maggiore frazione fine argillosa determina o può determinare la formazione di falde freatiche sospese caratterizzate in ogni caso da portata modesta. A livello di area complessiva la zona di Terricciola è caratterizzata da un acquifero sabbioso sommitale costituito dalle Sabbie di Nugola Vecchia che tuttavia risultano caratterizzate da scarsa ricarica e quindi da circolazioni ridotte. Si segnalano opere di presa in Piazza Giacomo Matteotti oltre che una sorgente posta a nord della stessa piazza a quota di circa 160 m s.l.m. dalla quale trae origine il Botro della Fonte; limitate circolazioni sono state osservate anche durante l'esecuzione di precedenti indagini in corrispondenza del sito.

5.2 – Considerazioni sulla pericolosità idraulica e geologica

Per effettuare una valutazione generale della pericolosità geologica-geomorfologica ed idraulica della zona è stato eseguito l'esame della documentazione prodotta dagli Enti pubblici preposti al controllo di tali fenomeni (Piano di Bacino Fiume Arno, Regolamento Urbanistico Comune di Terricciola), ed è emerso che nella cartografia redatta a supporto del Piano di Bacino del Fiume Arno - *"Perimetrazione delle aree con pericolosità da frana derivate dall'inventario fenomeni franosi livello di dettaglio"* la zona non risulta soggetta da fenomeni gravitativi,



mentre in quella delle "Perimetrazioni delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante" ricade in "Area avente pericolosità media - PF2"



Nella *Carta della Pericolosità idraulica*, il versante non è stato inserito in nessuna delle classi corrispondenti; si ricorda infatti che siamo collocati lungo una pendice collinare.

Nello studio redatto a supporto del Regolamento Urbanistico, l'area in oggetto è classificata come avente pericolosità geologica media - classe 3a a valle della quale sussistono aree a pericolosità 3b e a pericolosità elevata 4b - v.Tav.3.

6 – INDAGINI E RILEVAMENTI IN SITO

Gli studi sono iniziati a partire dall'acquisizione del quadro diagnostico emergente dalle attività e dalle indagini pregresse svolte sull'area. Infatti la caratterizzazione e la modellazione geologica della zona consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici e più in generale, di pericolosità del sito.

In particolare sono stati reperiti degli studi geognostici comprendenti due sondaggi a carotaggio continuo, prove penetrometriche ed indagini sismiche eseguite negli anni in corrispondenza e/o in prossimità del sito in esame (v.All. 1/2), che hanno permesso di definire il quadro generale dell'area.

6.1. – Sondaggio a carotaggio continuo e prove penetrometriche di riferimento

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti a circa 70 m a NE dell'area in esame (numero di riferimento 45/46 - v Tav. 2); tali indagini hanno raggiunto una profondità variabile tra 10 e 16 m dal p.c. durante i quali sono state eseguite delle prove SPT in foro (v All.1). Si riportano di seguito le stratigrafie ottenute:

Sondaggio n° 45

1. da - 0.00 a - 0.25 m Suolo argilloso limoso
2. da -0.25 a -1.22 m Sabbie medio fini debolmente limose
3. da -1.22 a - 2.15 m Sabbie limose
4. da -2.15 a - 2.73 m Sabbie fini argillose - (SPT da quota 2.50 - 15/32/40)
5. da -2.73 a - 3.27 m Sabbie medio fini limose
6. da - 3.27 a - 5.30 m Sabbie fini e limi
7. da - 5.30 a - 10.00 Limi e sabbie e argille debolmente limosa

Sondaggio n° 46

1. da - 0.00 a - 3.20 m Sabbie fini debolmente limose
2. da -3.20 a -5.20 m Sabbie medio fini e limo - (SPT da quota 3.00 - 7/6/7)
3. da -5.20 a - 6.50 m Sabbie fini - molto fini limose
4. da -6.50 a - 7.35 m Sabbie molto fini limose - (SPT da quota 6.50 - 24/50/rifiuto)
5. da -7.35 a - 8.61 m Sabbie fini debolmente limose
6. da - 8.61 a - 10.30 m Argille limose debolmente sabbiose compatte
7. da - 10.30 a - 11.10 m Argille sabbiose - (SPT da quota 11.00 - 25/55/rifiuto)
8. da -11.10 a - 13.55 m Limi e sabbie fini debolmente argillosi
9. da - 13.55 a - 16.00 Limi argillosi ed argilla debolmente limosa

Prova penetrometrica statica - numero di riferimento 66

La prova è stata eseguita in data 13/02/2013 con penetrometro statico tipo Gouda da 200 kN di spinta, dotato di punta meccanica tipo Begemann.

I diagrammi della prova, vedi All. 2, riportano in funzione della profondità in metri sotto la superficie del terreno, le misure rilevate ogni 20 cm di avanzamento della punta, rispettivamente di:

Rp: resistenza alla punta (kg/cmq);
 Rl: resistenza di attrito laterale locale (kg/cmq);
 Rp/Rl: rapporto Begemann.

Il valore del rapporto Rp/Rl (rapporto Begemann) dipende dalla granulometria dei terreni attraversati e permette la ricostruzione della stratigrafia dei terreni stessi, come riportato a fianco dei diagrammi con simbologia standardizzata (AGI 1977).

Nelle tabelle allegate sono inoltre indicati i valori relativi a:

- peso dell'unità di volume del terreno (γ in t/mc);
- angolo di attrito interno (ϕ in gradi) [da correlazioni di Meyerhof]
- densità relativa (D_r in %);
- coesione non drenata (c_u in kg/cmq);
- modulo di deformazione edometrico (m_o in kg/cmq).

Sulla base dei dati ricavati è stato possibile ricostruire la seguente successione stratigrafica e i relativi parametri geotecnici. Secondo quanto indicato dalla Circolare del Consiglio Superiore dei lavori Pubblici è possibile assumere, come parametri "caratteristici", i parametri "medi", derivanti dalle indagini geotecniche eseguite nel sito. I parametri di progetto derivano invece dall'applicazione dei coefficienti di riduzione parziali, previsti dal D.M. 17/01/18 che dovranno essere presi in considerazione nella relazione geotecnica.

INTERVALLO DI PROFONDITA' E LITOLOGIA	PARAMETRI CARATTERISTICI	
da 0,00 m a 0,60 m Terreno vegetale	peso di volume, γ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,80 t/mc = 31° = 0,007 cmq/kg
da 0,60 a 2,20 m Sabbie limose e sabbie	peso di volume, γ angolo di attrito coesione non drenata Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 31° = 1,60 Kg/cmq = 0,006 cmq/kg
da 2,20 a 2,60 m Sabbie cementate	peso di volume, γ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,95 t/mc = 40° = 0,001 cmq/kg
da 2,60 a 5,80 m Sabbie limose e sabbie	peso di volume, γ angolo di attrito coesione non drenata Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 30° = 1,55 Kg/cmq = 0,007 cmq/kg
da 5,80 a 6,40 m Sabbie cementate	peso di volume, γ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,95 t/mc = 38° = 0,002 cmq/kg
da 6,40 a 7,00 m Sabbie limose e sabbie	peso di volume, γ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,95 t/mc = 32° = 0,005 cmq/kg
da 7,00 a 9,60 m Argilla limosa compatta	peso di volume, γ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 2,00 t/mc = 38° = 0,001 cmq/kg

6.2.- Penetrometrie dinamiche DPSH – numero di riferimento 67 – Tav. 2

La prova DPSH è stata eseguita in data 13/02/2013 con penetrometro Pagani TG 63-200. I diagrammi della prova, vedi All. 2, riportano in funzione della profondità in metri sotto la superficie del terreno le misure rilevate ogni 20 cm di avanzamento della punta, Sulla base dei dati ricavati dalle prove, confrontate con le altre indagini eseguite, è stato possibile ricostruire la seguente successione stratigrafica e i relativi parametri geotecnici.

INTERVALLO DI PROFONDITA' E LITOLOGIA	PARAMETRI CARATTERISTICI	
da 0,00 a 3,20 m Sabbie limose e sabbie	peso di volume, γ angolo di attrito coesione non drenata Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 31° = 1,60 Kg/cmq = 0,004 cmq/kg
da 3,20 a 7,80 m Sabbie limose e sabbie con possibile circolazione di acqua	peso di volume, γ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 30° = 0,005 cmq/kg
da 7,80 a 8,80 m Sabbie limose e sabbie	peso di volume, γ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,95 t/mc = 30° = 0,004 cmq/kg
da 8,80 a 9,40 m Limi sabbiosi	peso di volume, γ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,95 t/mc = 32° = 0,005 cmq/kg
da 9,40 a 12,60 m Argilla limosa compatta	peso di volume, γ angolo di attrito coesione non drenata Coeff. compressibilità, (medio)	= 2,00 t/mc = 38° = 3,25 Kg/cmq = 0,005 cmq/kg

6.3. – Studi geognostici – campagna 2019

Al fine di integrare i dati stratigrafici ed effettuare una valutazione delle caratteristiche geotecniche degli stessi, è stato predisposto un programma d'indagini integrative (v. Tav. 6) comprendente:

- N°1 – Sondaggio a carotaggio continuo/distruzione
- N°2 – Prove SPT
- N°1 – Analisi di laboratorio

In particolare è stato effettuato, nel settore NW, un sondaggio geognostico spinto fino alla profondità di 32 m durante le quali è stato possibile ricostruire la successione stratigrafia dei terreni attraversati (v. Logs stratigrafico all.3). Durante la fase di perforazione sono state effettuate prove geognostiche in foro S.P.T. e prelievi di terreno indisturbato, successivamente sottoposto ad analisi geotecniche di laboratorio. Il sondaggio è stato attrezzato per indagine sismiche downhole (v All. 4).

Per quanto riguarda i risultati delle analisi di laboratorio sono in fase di elaborazione, da parte del laboratorio incaricato.

Sulla base degli studi e delle osservazioni eseguite è stata realizzata la sezione geologica di Tav 6.

6.4. – Misure piezometriche

Livelli di falda sono stati registrati solo durante l'esecuzione della prova penetrometrica P2.

7 - CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto eccita la struttura provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese.

Con il termine di "zonazione sismica" s'intende, convenzionalmente, l'operazione di suddivisione del territorio nazionale in aree (zone sismiche) a differente livello di pericolosità, cioè in aree alle quali vengono attribuiti valori differenziali del grado di sismicità da prendere a base per la determinazione delle azioni sismiche e di quanto altro specificato nelle norme tecniche. L'operazione ha per obiettivo la definizione del livello di esposizione alle azioni sismiche delle varie parti del paese e l'assegnazione ad ogni zona di alcuni parametri ingegneristici utili per la progettazione strutturale. In termini molto semplificati, le ricerche di supporto per una zonazione sismica comprendono studi di sismicità storica, ricerche di geologia strutturale e studi sismologici.

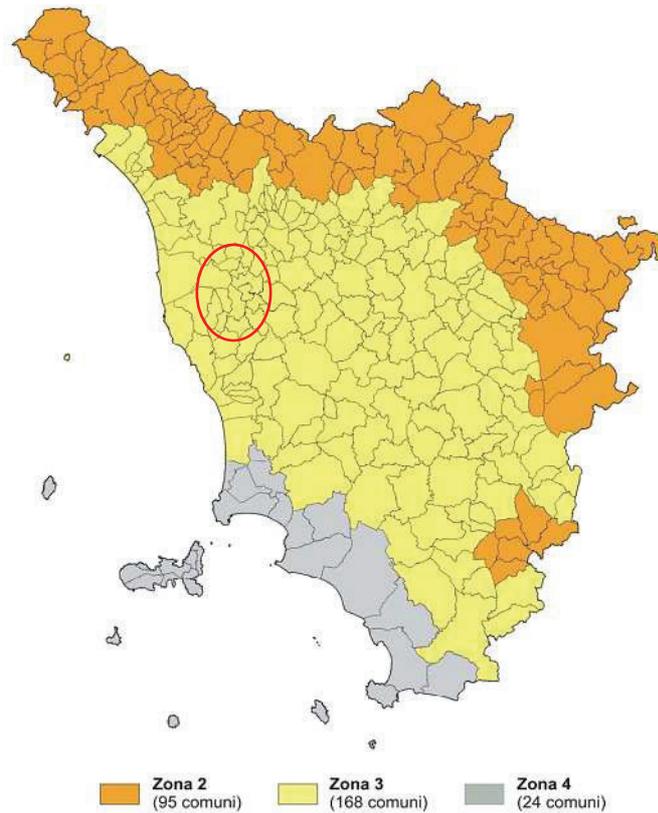
La regione Toscana ha apportato, nel tempo, aggiornamenti alla classificazione sismica. Infatti è stata approvata con Del. GRT n° 421 del 26.05.2014, la nuova classificazione.

L'aggiornamento, redatto ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006, si è reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) e di rendere la classificazione sismica (riferimento per la disciplina dei controlli sui progetti depositati presso gli Uffici tecnici regionali preposti), maggiormente aderente all'approccio "sito-dipendente" introdotto dalle vigenti norme.

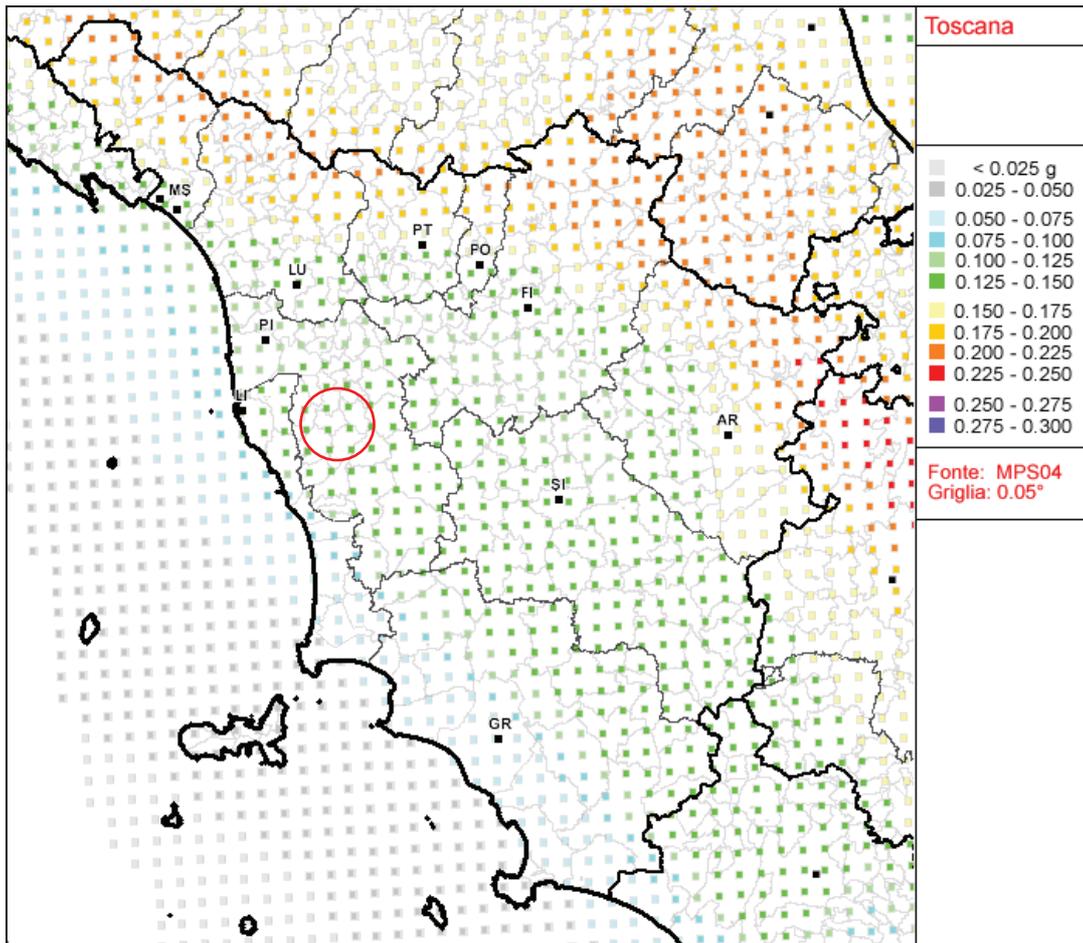
Si riporta di seguito, per il Territorio del Comune di Terricciola, le modifiche di classificazione succedute negli anni.

Provincia	Cod. ISTAT	Comune	CLASSIFICAZIONI PRECEDENTI									ATTUALE
			Regio Decreto 13 marzo 1927 n°431	Regio Decreto 25 marzo 1935 n°640	Regio Decreto 22 novembre 1937 n°2105	Legge 25 novembre 1962 n°1594	Decreto Ministeriale 19 marzo 1962	Ord. P.C.M. n°3274 20 Marzo 2003 Del. G.R.T. n°604 16 giugno 2003	Ord. P.C.M. n°3519 28 aprile 2006 Del. G.R.T. n°431 19 giugno 2006	Del. G.R.T. n°878 ottobre 2012	Del. G.R.T. n°421 26 maggio 2014	
09050036	TERRICCIOLA		nc	nc	nc	nc	2	2	3 S	3	3	

Successivamente dalla Deliberazione 8 ottobre 2012, n. 878 il Comune di Terricciola è stato classificato "Comune sismico - Zona rischio sismico 3".

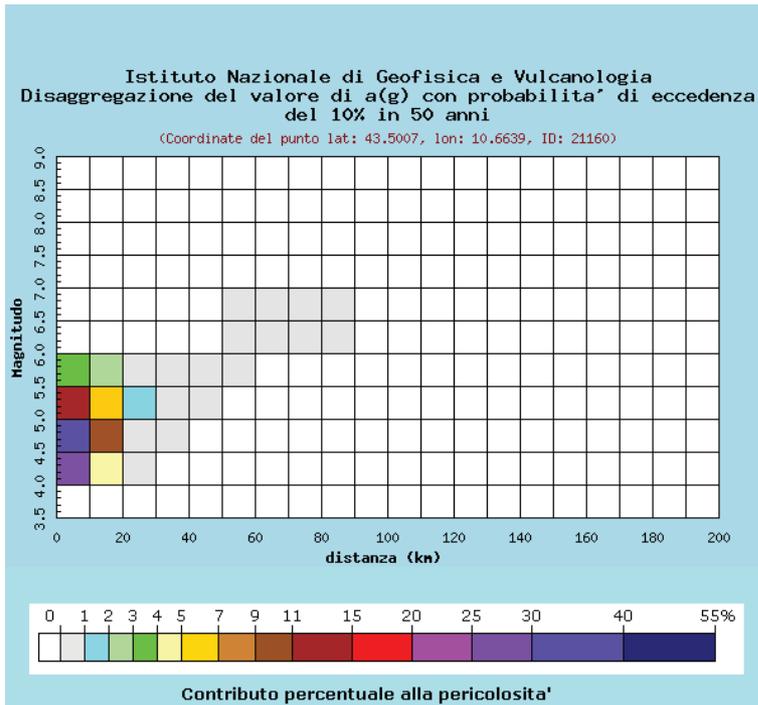


L'O.P.C.M 3519 del 28 aprile 2006 suddivide le zone 1,2 e 3 in sottozone caratterizzate da valori di a_g con intervalli minori di 0.025 g ricavati dalla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale allegata al testo dell'ordinanza. La mappa è consultabile all'indirizzo <http://zonesismiche.mi.ingv.it> che assegna al Comune di Terricciola un valore di $a(g)$ compreso tra 0.125 g e 0.150 g. In particolare la Regione Toscana fornisce, per ogni comune, il parametro **ag(475) rif**, che rappresenta la massima accelerazione attesa al suolo (PGA) corrispondente al tempo di ritorno di 475 anni (Mappa di pericolosità sismica INGV, 2004 - 50° percentile), espressa in g e riferita alle coordinate della sede comunale; il Comune di Terricciola presenta un valore massimo di 0.141g.



Inoltre, in base al progetto s1 dell'INGV "Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di $M-R-\xi$ " è possibile definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. In altre parole tale processo fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso. Si riportano di seguito i valori ottenuti.

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.770	7.500	0.894



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.5007, lon: 10.6639, ID: 21160)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	25.300	34.400	12.200	3.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	4.490	9.740	6.080	2.310	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.040	0.696	1.040	0.536	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.001	0.091	0.083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.002	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.021	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

7.1 – Studi sismici

Per la definizione sismica dell'area di studio, nel maggio 2013, furono eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- n. 1 indagine sismica passiva Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura.

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella Tav. n. 5, mentre in Allegato n. 4 sono presenti i grafici relativi ai risultati ottenuti dall'elaborazione dell'indagine sismica passiva.

Al fine di confermare le conoscenze sismiche locali, nell'aprile 2019, è stata eseguita, in corrispondenza del sito, un'indagine in foro down hole (v All.5).

7.2 - Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura

La caratterizzazione sismica dei terreni, tramite la tecnica d'indagine sismica passiva HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura), è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono legate a condizioni geologiche o morfologiche che determinano amplificazione del moto del suolo.

L'utilizzo di algoritmi di calcolo, finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). L'individuazione di una data frequenza di vibrazione permette di stimare la profondità a cui si colloca l'interfaccia fra due mezzi con differente comportamento dinamico. L'analisi di uno spettro H/V richiede, tuttavia particolare attenzione per distinguere i picchi connessi alle caratteristiche del sito da quelli dovuti ad altri fenomeni, spesso connessi con sorgenti antropiche. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSr) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito), utile ad una corretta progettazione di edifici con criteri antisismici.

All'interno dell'area di studio è stata eseguita una serie di misure di microtremori per verificare le caratteristiche di risonanza del sito.

Lo strumento utilizzato registra il rumore sismico ambientale presente nella superficie terrestre e generato da fenomeni atmosferici, dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre. I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione e altri. Questi fenomeni sono tali per cui un'onda, che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità, interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente λ è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza):

Relativamente alle onde S:

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4h}$$

f_r rappresenta la frequenza fondamentale dello strato, ossia la frequenza cui corrispondono le maggiori accelerazioni sismiche.

La tecnica HVSR è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo AMBROGEO "ECHO 2010" avente le seguenti caratteristiche:

- *numero di canali: 24+1*
- *A/D Conversion: 24 bit*
- *dynamic range: 130dB a 1ms PG=0dB; 120dB a 1ms; PG=18dB*
- *cross talk: >90db*
- *preamplify gain: 0db, 6db, 12db, 24db, 30 db, 36 db*
- *frequency response: 0 to 6KHz (30kSPS)*
- *0 to 4,8KHz (15kSPS),*
- *0 to 3KHz (7,5kSPS),*
- *0 to 1,5KHz (3,5kSPS),*
- *0 to 800Hz (2kSPS),*
- *0 to 400Hz (1kSPS)*
- *acquisition and display filter: Low Cut Out*
- *10,15,25,35,50,70,100,200,280,400 Hz*
- *sampling interval: 32us, 64us, 128us, 256us, 480us, 9 60us*
- *record length: 16.000 samples*
- *stacking trigger accuracy: 1/32 of samples interval*
- *distorsion (THD): 0,0004 %*
- *max input signal: 2Vpp,0Db*
- *CMR: 110dB (fCM =60Hz. fDATA = 30kSPS*
- *noise: 0,25uV,2ms,36Db*
- *pre-trigger data: 524ms a 32us sample interval*
- *delay: 0 to 2.500ms step 10ms*
- *temperature range: - 30°C/+70°C*
- *power: 12 Volts*
- *continous recording*
- *output format: SEGY, SAF (SESAME ASCII FORMAT)*

Per la ricezione dei segnali è stato utilizzato un geofono a tre componenti collegato via cavo al sismografo. I sensori del geofono sono prodotti da Sunfull ed hanno frequenza propria pari a 4,5 Hz. L'involucro del geofono è dotato di bolla per il corretto posizionamento dell'asse verticale.

Tra i risultati che si possono ottenere dalle indagini sismiche HVSR sono:

- La frequenza caratteristica di risonanza del sito, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici antisismici. In tal senso la conoscenza di questo parametro permette di evitare l'edificazione di strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno (effetto di "doppia risonanza"), fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni;
- La stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica HVSR, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

STAZIONE HVSR – SCUOLA PRIMARIA “DAMIANO CHIESA” E SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO “ALESSANDRO DA MORRONA”

Coordinate del punto di misura (WGS84): latitudine 43.528107 N; longitudine 10.668698 E

Parametri di computo del rapporto H/V

- *lunghezza della sequenza temporale analizzata: 30 minuti*
- *frequenza di campionamento: 128 Hz*
- *lunghezza della finestra: 20 s*
- *tapering: 10 %*
- *smoothing spettrale (finestra triangolare): 10%*

Dall'elaborazione dell'indagine sismica HVSR, eseguita in sito, non si sono evidenziati picchi stratigrafici nella curva H/V. L'analisi della curva (v all.5) indica che il sito della scuola è caratterizzato dalla presenza di un picco principale corrispondente alla frequenza f_0 di 5 Hz la cui ampiezza A_0 è pari a 2,1. Tale frequenza, visto il contesto litostratigrafico del sito in cui è stata effettuata la registrazione caratterizzato dalla presenza di depositi prevalentemente sabbiosi (sabbie e limi argilloso-sabbiosi) su "substrato" argilloso, appare correlabile con un contrasto d'impedenza sismico legato ad una probabile diversa rigidità dei terreni presente entro la successione stratigrafica.

7.3–DOWN HOLE

Lo scopo di tale prova consiste nel determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di compressione (onde P), di taglio (onde S) ed indirettamente, utilizzando i valori delle velocità acquisiti (VP, VS), alcune proprietà meccaniche delle litologie investigate. Questa tipologia d'indagine utilizza i sondaggi per avere una sismostratigrafia dettagliata del sottosuolo. (v All.5).

Il metodo down hole prevede la sistemazione della sorgente in superficie e la misura delle onde d'arrivo in foro. La sonda, contenente il geofono a 3 componenti (una verticale e due orizzontali disposte ortogonalmente tra di loro), si fissa pneumaticamente alle pareti del tubo in PVC all'interno del foro di sondaggio. Tale tubo in PVC viene preventivamente reso solidale con le pareti del foro a mezzo di cementazione con opportune malte introdotte nell'intercapedine tra le pareti del foro e il tubo stesso. Con intervalli di 1m viene ricostruita la sismostratigrafia del sottosuolo. La sorgente sismica è costituita da una massa battente (mazza dal peso di 8kg) che funge contemporaneamente da starter poichè collegata a mezzo di trigger al sismografo.

Il metodo down hole prevede la sorgente energetica in superficie ed i sensori all'interno del perforo. Si adoperano geofoni particolarmente assemblati per essere calati e fissati a profondità via via crescenti (o decrescenti) contro la parete del perforo opportunamente condizionato. Energizzando il terreno in superficie e misurando i tempi di arrivo delle onde P ed S ai geofoni, si ha la possibilità di determinare la velocità dei litotipi riscontrati nella perforazione ed i loro moduli elastici.

Attraverso lo studio dei tempi di percorso delle onde di compressione e di taglio e quindi delle velocità, si può risalire alla disposizione geometrica e alle caratteristiche meccanicoelastiche dei litotipi presenti nell'area di indagine.

L'indagine eseguita ha permesso di definire la velocità equivalente nei primi 30 m a partire dal piano fondazionale e previsto a circa 1.50 m dal p.c. La velocità ottenuta risulta paria a $V_{S_{eq}} = 348$ m/s.;

così da classificare, cautelativamente, i terreni in classe C

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.

7.4 –Periodo di riferimento dell'azione sismica

Le azioni sismiche, su ciascuna costruzione, vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_r che si ricava moltiplicando la vita nominale V_n per il coefficiente d'uso C_u :

$$V_r = V_n C_u$$

Il valore del coefficiente d'uso C_u è definito, al variare della classe d'uso.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_n è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Classi 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:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

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.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme

funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

7.5 - Categorie di suolo e condizioni topografiche

La categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche incidono sullo spettro elastico di risposta. Specificatamente l'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente

$$S = S_s * S_t$$

che comprende gli effetti delle amplificazione stratigrafica (S_s) e topografica (S_t):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Sulla base delle considerazioni sopra esposte e considerando le informazioni strutturali ricevute si possono riassumere le seguenti caratteristiche generali:

Vita nominale V_n fabbricato	50 anni
Classe d'uso	III
Coefficiente C_u	1,50
Periodo di riferimento V_r	≥ 75
Categoria del suolo	C
Condizione topografica	T3

7.6 – Pericolosità sismica e parametri sismici

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi, dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali. Il moto sismico alla superficie di un sito è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie e da una forma spettrale, ancorata ad essa.

$$a_{max} = S_t * S_s * a_g$$

S_s coefficiente di amplificazione stratigrafica
S_t il coefficiente di amplificazione topografica.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

La determinazione dei parametri spettrali, necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto, viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008) e tenendo conto dei parametri riportati precedentemente.

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 43,52957
longitudine: 10,670129
Classe: 3
Vita nominale: 75

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 20938	Lat: 43,5507	Lon: 10,6617	Distanza: 2441,594
Sito 2	ID: 20939	Lat: 43,5523	Lon: 10,7305	Distanza: 5486,197
Sito 3	ID: 21161	Lat: 43,5023	Lon: 10,7328	Distanza: 5890,407
Sito 4	ID: 21160	Lat: 43,5007	Lon: 10,6639	Distanza: 3250,957

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T3
Periodo di riferimento: 112,5anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 68 [anni]
ag: 0,067 g
Fo: 2,469
Tc*: 0,251 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 113 [anni]

ag: 0,083 g
Fo: 2,469
Tc:* 0,257 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 1068 [anni]
ag: 0,180 g
Fo: 2,520
Tc:* 0,282 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 2193 [anni]
ag: 0,219 g
Fo: 2,565
Tc:* 0,289 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,660
St: 1,200
Kh: 0,024
Kv: 0,012
Amax: 1,179
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,640
St: 1,200
Kh: 0,030
Kv: 0,015
Amax: 1,463
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,430
Cc: 1,600
St: 1,200
Kh: 0,074
Kv: 0,037
Amax: 3,035
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,360
Cc: 1,580
St: 1,200
Kh: 0,100
Kv: 0,050
Amax: 3,503
Beta: 0,280

*Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru*

Coordinate WGS84

latitudine: 43.528602
longitudine: 10.669137

8 – VERIFICA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Ai sensi delle NTC (punto 7.11.3.4.2) la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;

2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

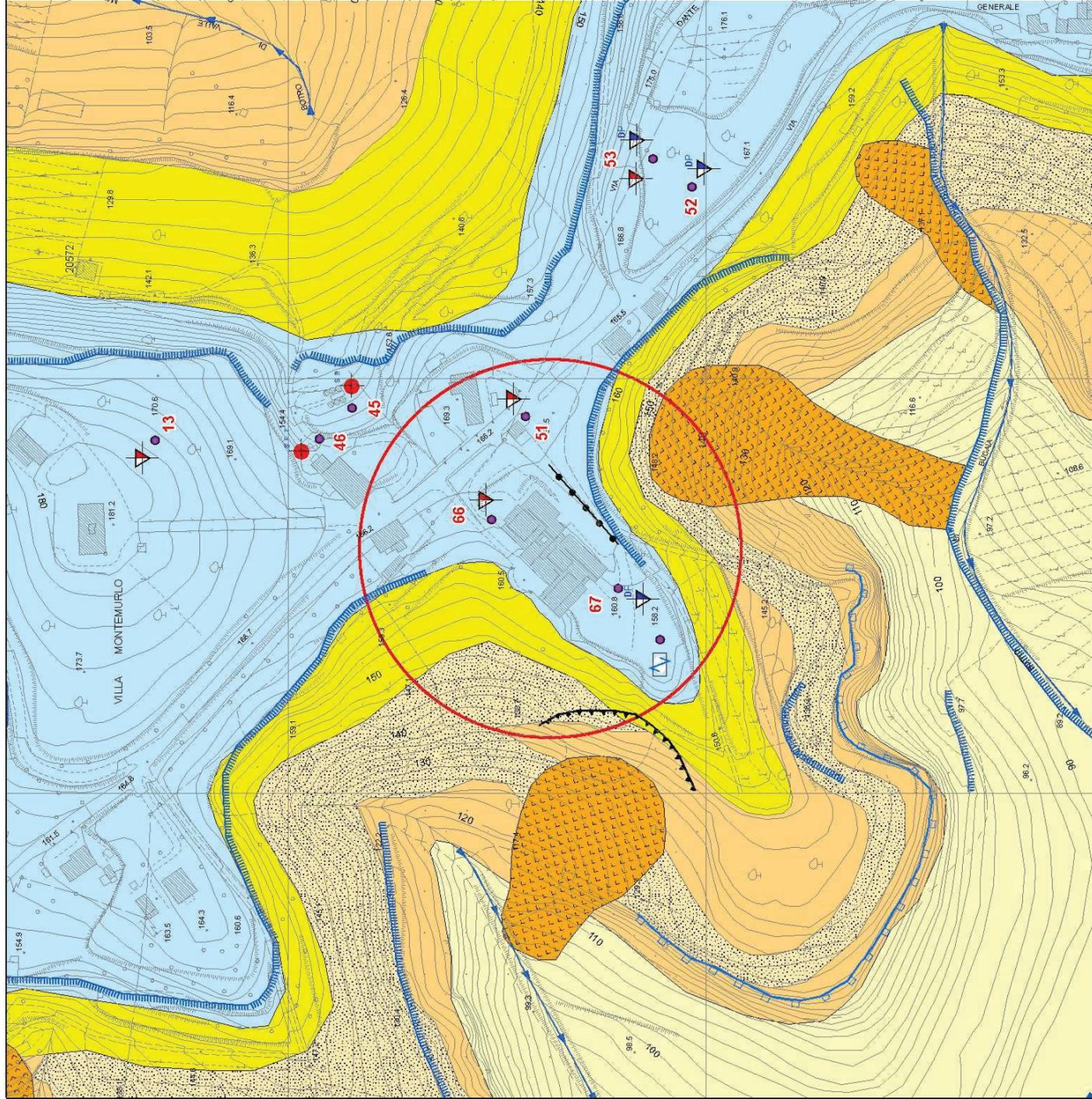
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Il potenziale di liquefazione dei terreni sotto scuotimento sismico è un fenomeno che può verificarsi in terreni sabbiosi monogranulari sotto falda limitatamente ai primi 10-15 m dalla superficie del terreno a causa della progressiva riduzione delle tensioni efficaci.

Sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e dall'assenza di una circolazione idrica significativa è possibile escludere problematiche legate fenomeni di liquefazione.

Lucca, 12/05/2019

Studio di Geologia
Geol. Simone Stefani



Legenda geologica

DEPOSITI CONTINENTALI RECENTI E ATTUALI

ALR Depositi alluvionali

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA

NUG **Sabbie di Nugola Vecchia**

Sabbie da fini-medie a grossolane, bioturbate, di color giallo-ocra con stratificazione incrociata. Ambiente marino protetto, tipo baia.

VPF **Argille e limi di Vigna Nuova di Peccoli**

Argille e limi torbosi ricchi di Molluschi di acque salmastre. Ambiente delizioso.

ART **Sabbie ed Argille ad Artica Islandica**

Sabbie, argille sabbiose e argille, spesso ricche di faune fossili ad ospiti nordici; alla base della formazione sono presenti conglomerati medi e minuti. Ambiente neritico.

VLMF **Formazione di Villamagna - Sabbie di Laatico**

Sabbie fini giallo-branco alle quali si alternano nella porzione inferiore argille sabbiose e limi con livelli torbosi (Argille Sabbiose di S. Cipriano, VLMF). Nell'unità sono presenti livelli a Flabellipecten e livelli con Cerastoderma. Ambiente marino litorale e lagunare-salmastro.

FAA **Argille azzurre**

Depositi argillosi 'subappenninici'. PLEIOCENE-PLEISTOCENE

Legenda geomorfologica

Corpo di frana per scorrimento traslazionale/rotazionale



Orto di frana per colamento



Orto di scarpata di degradazione (< 10 m)



Orto di scarpata di erosione selettiva



Indagini Ubicazione e tipologia

CPT - Prova penetrometrica statica con punta meccanica



DP - Prova penetrometrica dinamica pesante



DP-SH - Prova penetrometrica dinamica superpesante



HVSR - Stazione microtremore a stazione singola



MASW



S - Sondaggio a carotaggio continuo



SA - Trincea o pozzetto esplorativo



SC - Sondaggio da cui sono prelevati campioni



SI - Sondaggio con inclinometro

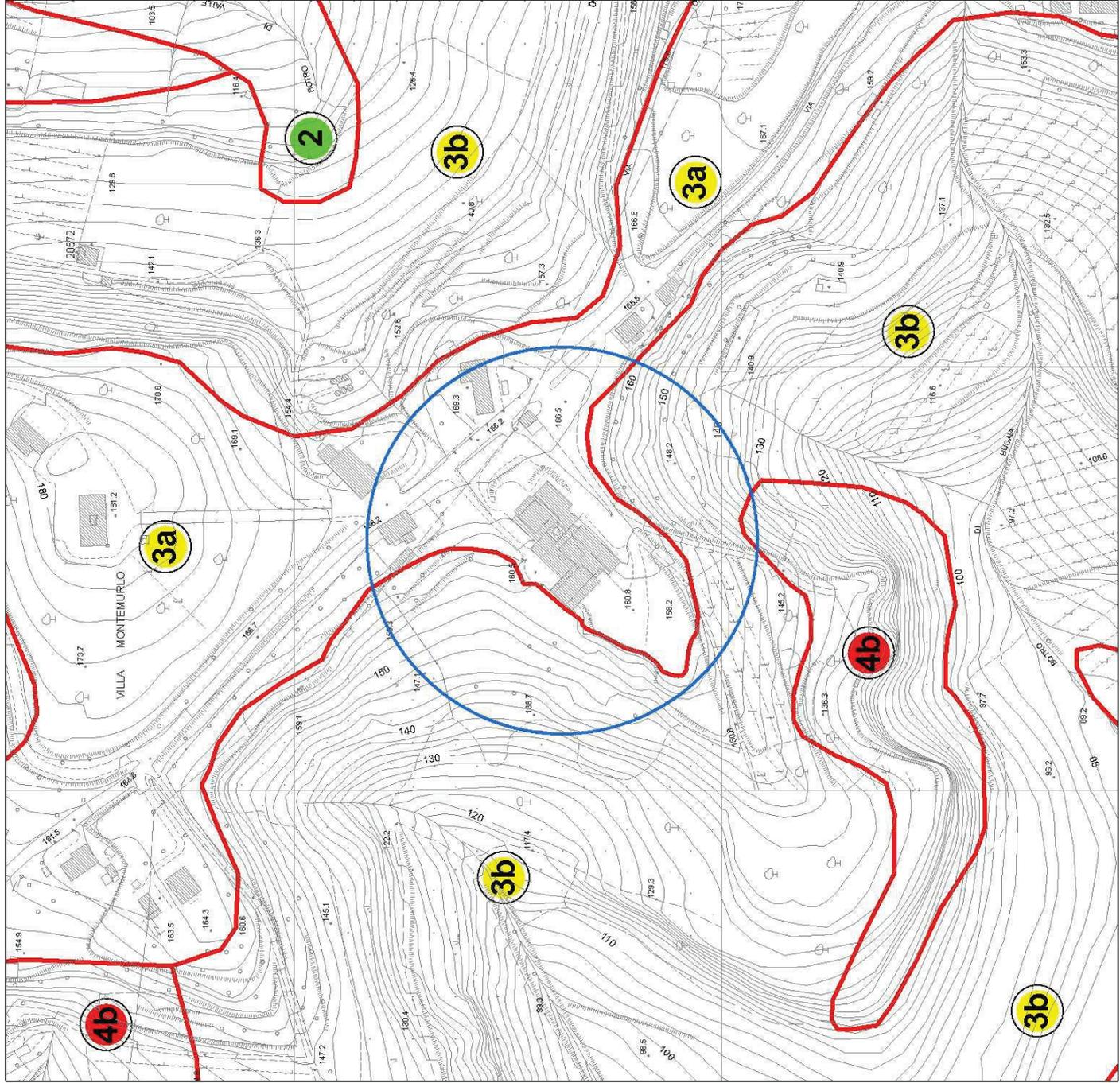


SPT - Sondaggio a carotaggio continuo



Area oggetto di studio





1 **classe 1** - pericolosità irrilevante: riguarda le aree in cui sono assenti limitazioni derivanti da caratteristiche geologico-tecniche e morfologiche; in essa ricadono le aree pianeggianti situate in fondovalle od in altopiano con sottosuolo costituito da terreni incompressibili di elevata resistenza penetrometrica statica ed accentuata omogeneità verticale ed orizzontale ovvero da rocce poco fratturate;

2 **classe 2** - pericolosità bassa: corrisponde a situazioni geologico-tecniche e morfologiche apparentemente stabili sulle quali però permangono dubbi che possono essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione delle trasformazioni; in essa ricadono le aree di fondovalle o di altopiano con sottosuolo costituito prevalentemente da terreni di buone caratteristiche geotecniche, nonché le aree su versante con pendenze inferiori al 15 per cento, distanti da scarpate, nicchie ed accumuli di frana;

3a **classe 3** - pericolosità media :

3a **sottoclasse 3a**: in essa ricadono le aree acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche sfavorevoli alla stabilità, per cui i fenomeni franosi, pur possibili, coinvolgono porzioni di territorio di ampiezza limitata, e altresì le aree della pianura alluvionale con sottosuolo eterogeneo;

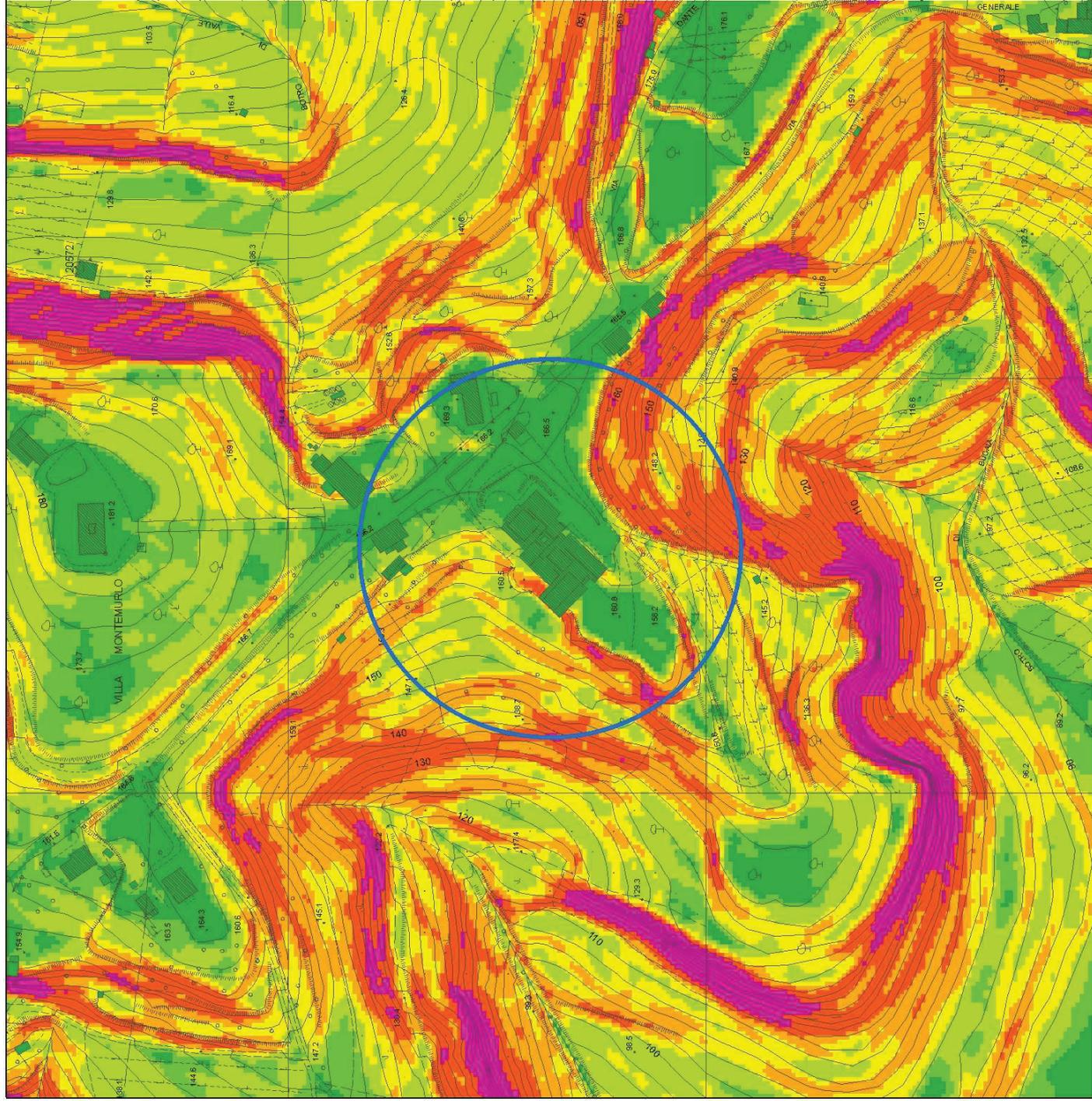
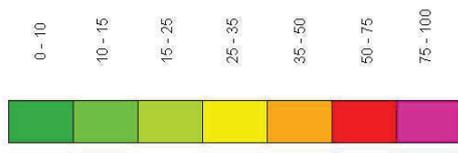
3b **sottoclasse 3b**: in essa ricadono le aree acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche sfavorevoli alla stabilità, per cui i fenomeni franosi si manifestano coinvolgendo ampie porzioni di territorio e di sottosuolo, e altresì le aree della pianura alluvionale con prevalenza di terreni compressibili a bassa resistenza penetrometrica statica;

4a **classe 4** - pericolosità elevata:

4a **sottoclasse 4a**: in essa ricadono aree coinvolte in passato da fenomeni franosi che attualmente risultano in condizioni di quiescenza o di inattività (paleofrane), ma le cui caratteristiche geomorfologiche sono tali da non potere escludere una ripresa generalizzata dell'attività in concomitanza con eventi sismici, ovvero con eventi meteorici di particolare importanza, ovvero ancora per effetto di interventi antropici, ed altresì aree della pianura alluvionale con terreni molto compressibili a resistenza penetrometrica statica bassa o nulla, per cui sono possibili fenomeni di subsidenza od instabilità indotti da azioni antropiche o per effetto di eventi sismici;

4b **sottoclasse 4b**: riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione e da dissesti attivi, quali frane.

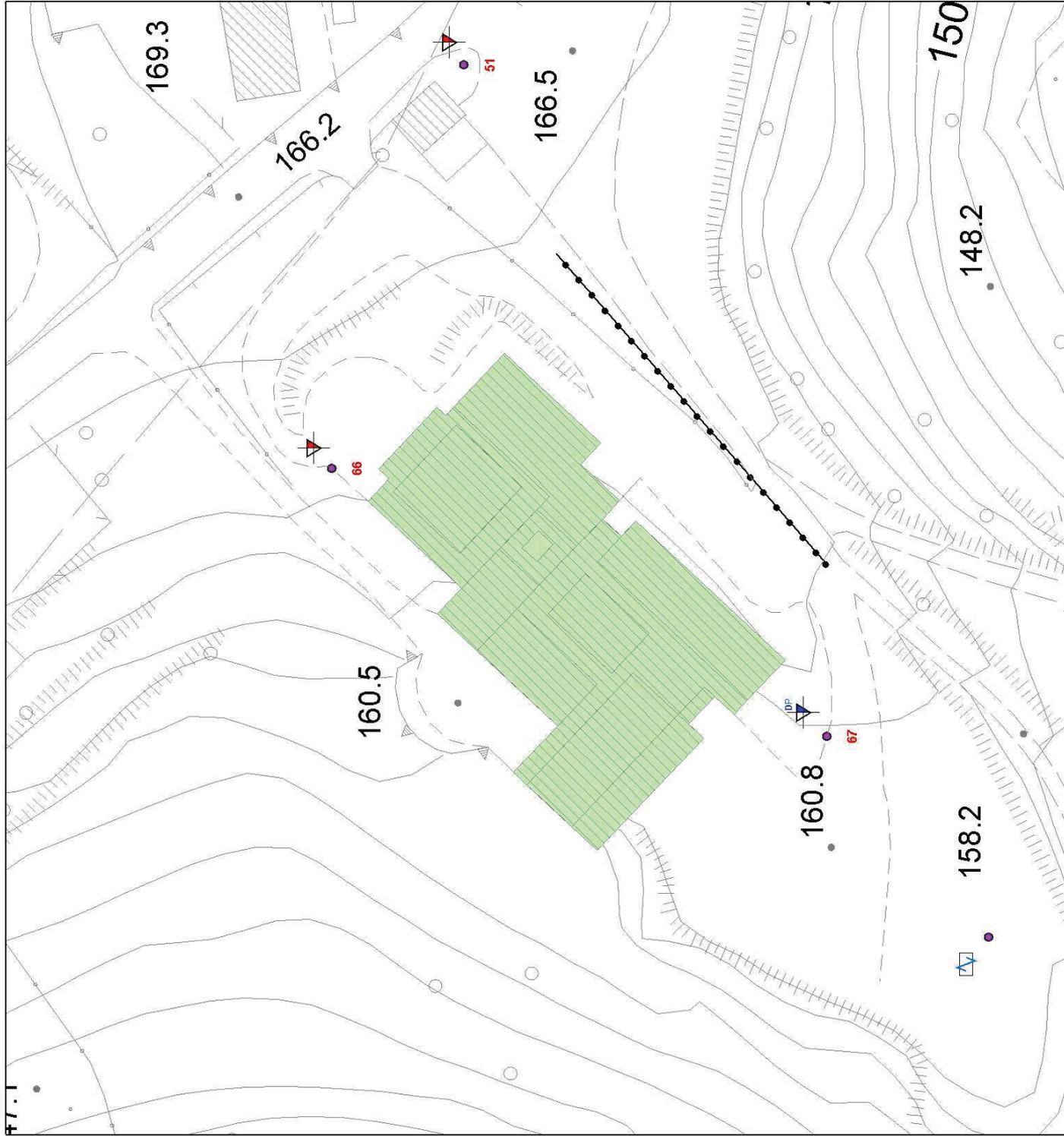
Area oggetto di studio

**Legenda acclività****CLASSI DI ACCLIVITÀ (%)**

Area oggetto di studio



Ubicazione delle indagini



Indagini	
Ubicazione e tipologia	
	CPT - Prova penetrometrica statica con punta meccanica
	DP - Prova penetrometrica dinamica pesante
	DPSH - Prova penetrometrica dinamica superpesante
	S - Sondaggio a carotaggio continuo
	SA - Trincea o pozzetto esplorativo
	SC - Sondaggio da cui sono prelevati campioni
	SI - Sondaggio con inclinometro
	SPT - Sondaggio a carotaggio continuo
	HVS - Stazione microtremore a stazione singola
	MASW

Campagna 2013 HVS e MASW - CPT n. 66 e 67
 Campagna 2010 CPT n. 51

TAV. 6 - PLANIMETRIA E SEZIONE GEOLOGICA

