

PIANO DI LOTTIZZAZIONE "IL BASTIONE"
ANALISI DELL'ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL VERSANTE
OCCIDENTALE
LOCALITA' MARTI, COMUNE DI MONTOPOLI VALDARNO

Indagine geologica



Franchi
Geol. Francesca Franchi



Frullini
Geol. Alberto Frullini

CONTENUTI: - RELAZIONE GEOLOGICA

COMMITTENTE: Nuovi Investimenti Immobiliari s.r.l.

<input checked="" type="checkbox"/>	PRIMA VERSIONE	del	Gennaio 2021
<input type="checkbox"/>	REVISIONE	n. <input type="checkbox"/>	del
<input type="checkbox"/>	REVISIONE	n. <input type="checkbox"/>	del

GEOPROGETTI
studio associato

Via Venezia, 77
56038 PONSACCO (PI)
tel./fax 0587 54001
E-mail geoprogetti.franchi@iol.it

**PIANO DI LOTTIZZAZIONE “IL BASTIONE”
ANALISI DELL'ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL VERSANTE OCCIDENTALE
LOCALITA' MARTI, COMUNE DI MONTOPOLI VALDARNO**

Relazione geologica

Indice

1. PREMESSA.....	2
2. ASSETTO GEOLOGICO DELL'AREA.....	2
3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	4
4. PERICOLOSITÀ DELL'AREA.....	6
5. FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI.....	8
6. ANALISI TEMPORALE DELL'EVOLUZIONE DEL VERSANTE.....	9
<i>Ortofoto del 1954.....</i>	<i>10</i>
<i>Ortofoto del 1965.....</i>	<i>10</i>
<i>Ortofoto del 1988.....</i>	<i>11</i>
<i>Ortofoto del 1999.....</i>	<i>11</i>
<i>Ortofoto del 2007.....</i>	<i>12</i>
<i>Ortofoto del 2010.....</i>	<i>12</i>
<i>Ortofoto del 2013.....</i>	<i>13</i>
<i>Ortofoto del 2016.....</i>	<i>13</i>
<i>Ortofoto del 2019.....</i>	<i>14</i>
7. ANALISI DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE DA INTERFEROMETRIA SATELLITARE.....	14
<i>PS ascending.....</i>	<i>15</i>
<i>PS descending.....</i>	<i>15</i>
8. ANALISI MORFOLOGICA DA DATI LIDAR.....	16
9. INDAGINI A DISPOSIZIONE.....	16
10. INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE.....	17
11. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO.....	18
12. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....	23
13. ANALISI COMPLESSIVA DELLA SITUAZIONE RILEVATA.....	25
14. RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	25
15. VERIFICA DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE.....	26
16. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ DELL'AREA.....	28

Allegati

- Appendice 1:.....VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE
- Appendice 2:.....CERTIFICATI PROVE PENETROMETRICHE
- Appendice 3:.....INDAGINI SISMICHE
- Appendice 4:.....PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO
- Appendice 5:.....DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

1. PREMESSA

Nell'ambito dello studio geologico, cui la presente fa riferimento, sono stati analizzati gli aspetti geologici e geomorfologici che caratterizzano il versante occidentale del rilievo su cui è localizzata la Lottizzazione denominata "Il Bastione", in località Marti, nel Comune di Montopoli Valdarno.

Tale studio si è reso necessario al fine di verificare la fattibilità degli interventi edilizi previsti rispetto alle condizioni di pericolosità e fattibilità definite nello Strumento Urbanistico comunale nel quale, successivamente all'approvazione del Piano di Lottizzazione, è stato individuato un dissesto attivo che si sviluppa a partire dalle porzioni più elevate del rilievo fino al sottostante fondovalle.

Il quadro conoscitivo del presente lavoro è costituito dalle indagini geologiche condotte nell'ambito del Piano di Lottizzazione in oggetto, dalle cartografie del Piano Strutturale e del Regolamento Urbanistico del Comune di Montopoli Valdarno, dalle cartografie del Database Geomorfologico della Regione Toscana e da quelle dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale.

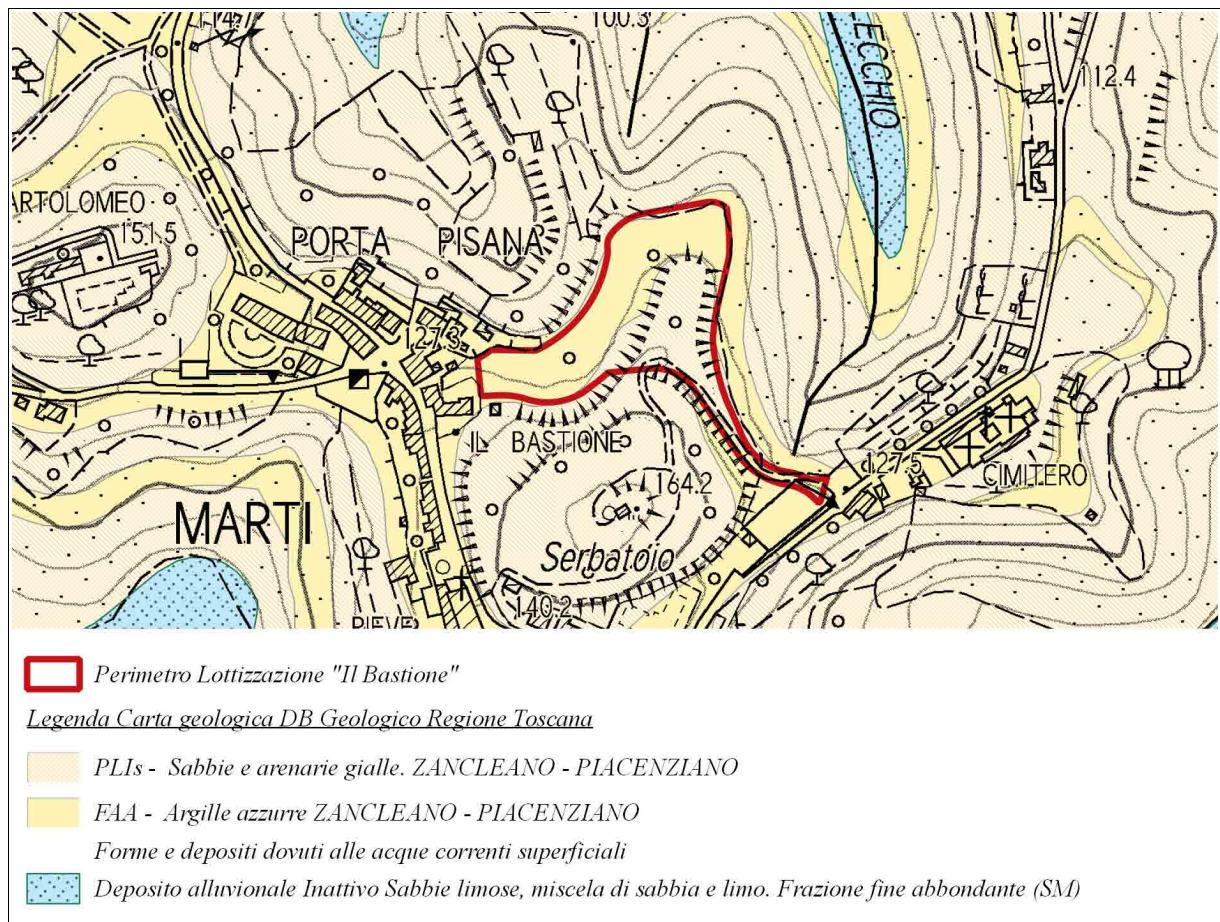
Per verificare analiticamente le condizioni di stabilità della zona, è stata realizzata una campagna di indagine costituita da 5 prove penetrometriche e da profili sismici distribuiti sul versante, i cui risultati sono qui di seguito illustrati.

2. ASSETTO GEOLOGICO DELL'AREA

La zona in esame ricade nel complesso dei rilievi collinari posti a sud della valle del Fiume Arno, che si estende dalla regione del Chianti (ad Est) fino ai monti livornesi (ad Ovest), caratterizzati dall'affioramento di depositi pliocenici e quaternari riferibili alla Successione Neogenico-Quaternaria Toscana (definita anche Complesso Neoautoctono Toscano), messi in posto in conseguenza dell'approfondimento delle strutture più antiche in relazione alle fasi distensive della tettonica appenninica.

L'assetto giaciturale attuale è contraddistinto da orizzonti pressochè piano-paralleli (con debole pendenza verso Nord) in cui si alternano formazioni marcatamente sabbiose e livelli maggiormente limo-argillosi, con spessori ed alternanze variabili per i diversi settori del bacino.

Nello specifico, il rilievo del Bastione è caratterizzato dall'affioramento, alla sua sommità, di sabbie addensate con scarsa matrice coesiva, in cui sono presenti orizzonti cementati (calcareniti) ed altri con sottili livelli ghiaiosi, che nelle cartografie geologiche sono state ricondotte alla Formazione nota in letteratura come "Sabbie gialle" (p3, *Carta degli elementi geologico-morfologici e storici dei dintorni di S. Miniato*, Dominici, Mazzanti e Nencici, 1995), "Formazione di Villamagna - Sabbie di S. Giusto" (VLMs, Progetto CARG e Piano Strutturale comunale) e "Sabbie e arenarie gialle" (PLIs, Database Geologico Regione Toscana).



Al di sotto di tale membro, intorno alla quota di circa 130 m slm, è presente un livello maggiormente coesivo, caratterizzato dalla presenza di argille sabbiose e sabbie argillose riconducibile alla "Formazione di Villamagna – Argille sabbiose di San Cipriano" (**VLMa**, Progetto CARG e Piano Strutturale comunale) e "Argille e argille siltose grigio-azzurre localmente fossilifere" (**FAA**, Database Geologico Regione Toscana), che presenta uno spessore di circa 10/12 m, al di sotto del quale riaffiorano litologie sabbiose analoghe a quelle presenti alla sommità del rilievo.

3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

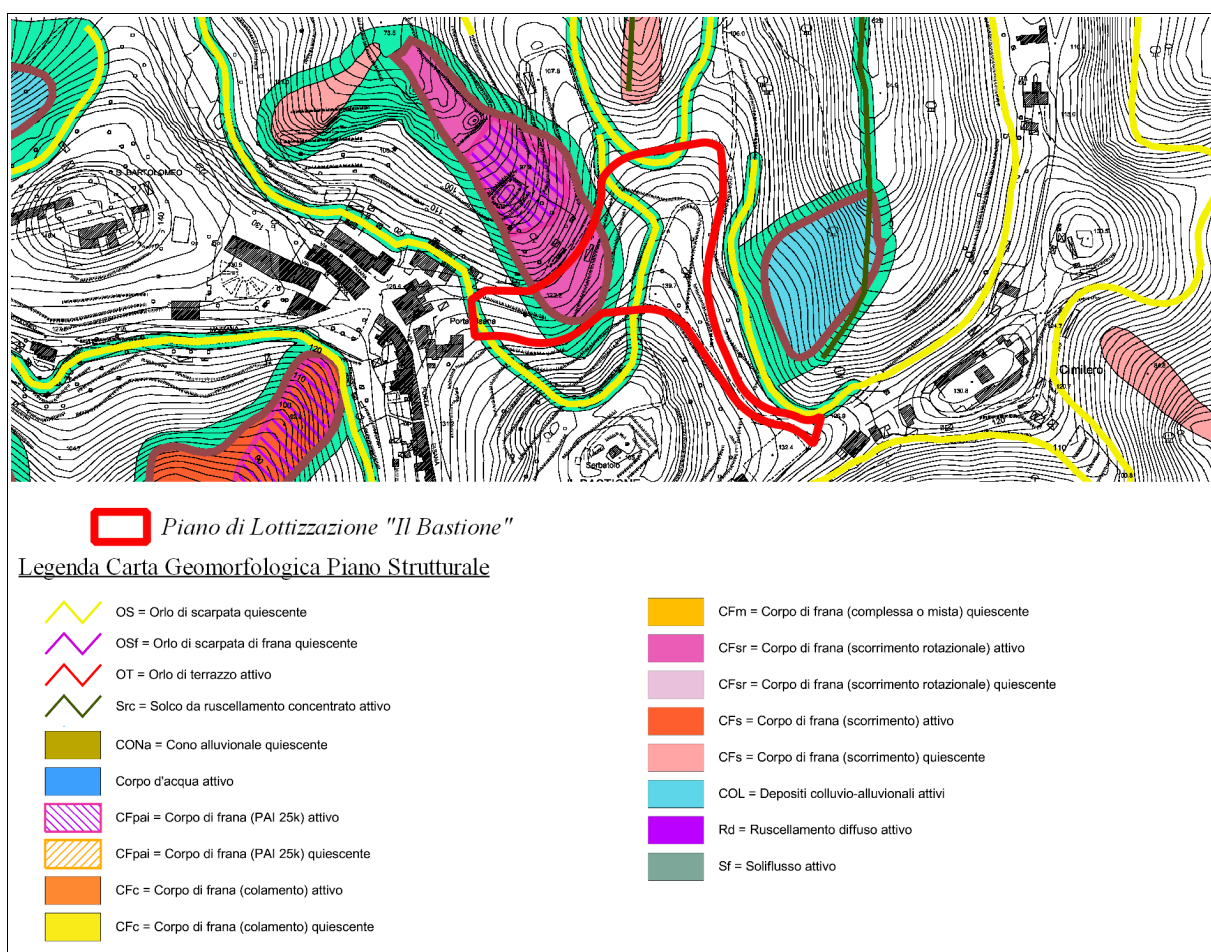
Nell'ambito della Variante al Piano Regolatore comunale (2005) e del successivo Piano di Lottizzazione che hanno interessato la zona, è stato condotto uno studio geologico di dettaglio che non ha evidenziato indizi di attività sul versante sottostante.

L'affioramento di litologie dalle diverse caratteristiche fisico-meccaniche ha influenzato la morfologia della zona, in cui sono evidenti scarpate e porzioni di versante più acclivi in corrispondenza degli affioramenti di sabbie più compatte e addensate, e morfologie più blande e morbide laddove siano presenti terreni maggiormente coesivi.

Il rilievo e la valle interessati risultano inoltre interessati da modifiche di natura antropica legate, in primis, alle attività agricole ed alle trasformazioni ad essa necessarie (terrazzamenti, sbancamenti e riporti per la realizzazione di viabilità poderali), oltre alla messa in posto di manufatti rurali che hanno in parte modificato le forme originali.

Diversamente, nella Carta geomorfologica redatta alcuni anni dopo (2008) nell'ambito del Piano Strutturale comunale, nella zona interessata dal Piano di Lottizzazione è stata indicata la presenza di un dissesto attivo, con scorrimento rotazionale.

Forme simili si ritrovano anche nel Database geomorfologico della Regione Toscana, dove i fenomeni di dissesto riportati derivano dalla raccolta storica delle informazioni contenute nelle varie banche dati disponibili, a partire dalla Banca Dati Frane e Coperture (Regione Toscana), successivamente





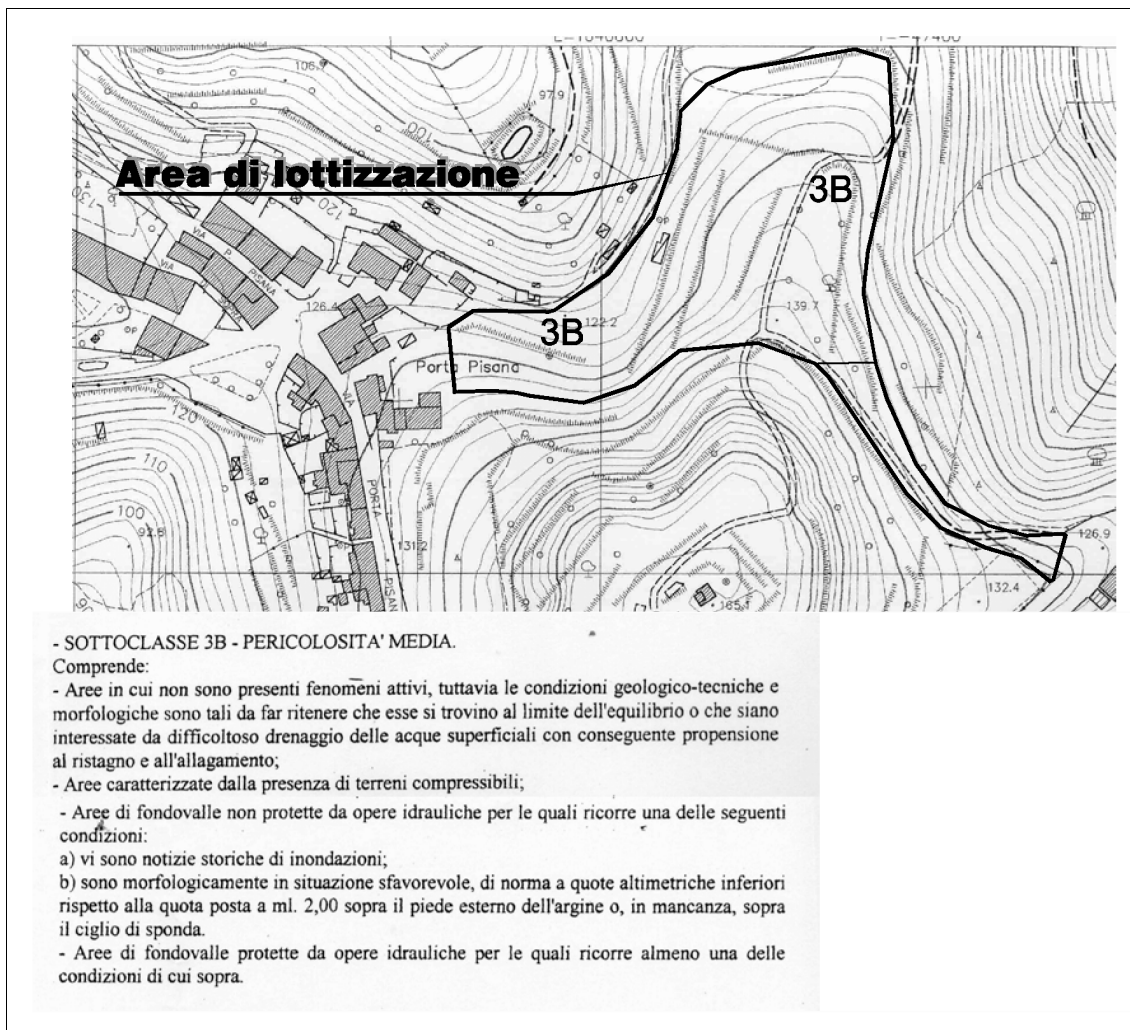
integrata con le cartografie geologiche del Progetto CARG, confluite a loro volta nel Continuum Geologico, fino alla loro odierna rappresentazione.

FR - Frane - Attributi elemento	
Azioni	
pk_luid	62879
COD_ENT	FR_000105916
COD_IFFI	0507726300
STATO	4000
MOVIMENTO	b
DIREZIO	330
FONTE	RToscana(dbgeologico)
FONTE_MOD	NA
ORAUT	1
P_STR	2
SIGLA_CART	a1q
GENESI	02
TIPO_OPERA	99
VELOCITA	9999
SIGLA_ARNO	9
VERSIONE	201404
DATA	20140407
PGMF_ME	NC
PGMF_E	NC
ANNO_IMM	1996
TIPO_IMM	EIRA-AIMA
DATAEVENT	NC

4. PERICOLOSITÀ DELL'AREA

La pericolosità della zona è stata nel tempo aggiornata in funzione delle varie normative di settore che si sono susseguite nel tempo.

Nell'ambito delle predisposizioni del Piano di Lottizzazione, la zona fu soggetta ad una Variante parziale al Piano Regolatore comunale a seguito della modifica del perimetro del comparto, il cui accesso fu spostato dal versante occidentale (Porta Pisana) al versante orientale (in direzione del cimitero).

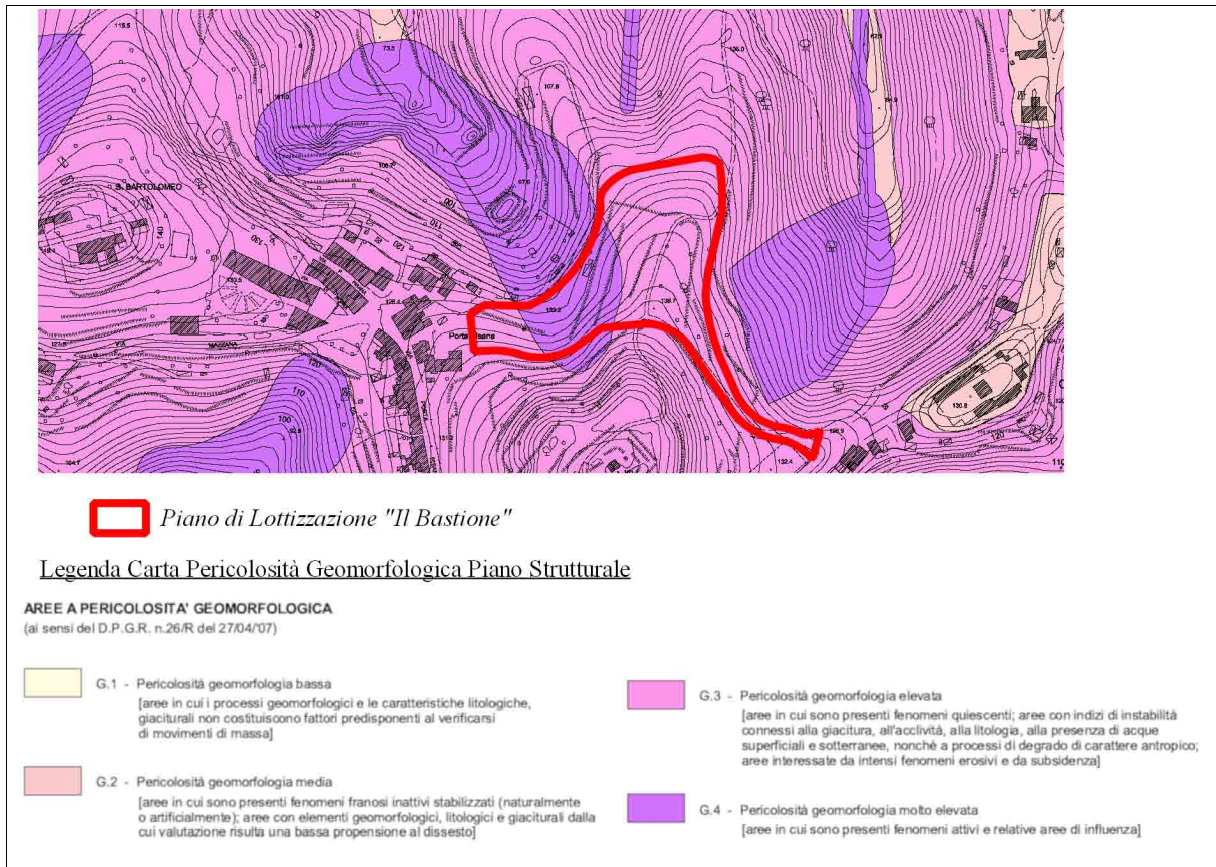


Tale Variante, redatta nel 2005 è stata condotta in ottemperanza della D.C.R. 94/85 e del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa. In particolare la zona in oggetto è stata ricondotta alla Sottoclasse 3B in ragione dell'assenza di fenomeni di dissesto seppur in posizione collinare acclive ed in presenza di litologie predisponenti condizioni di disequilibrio.

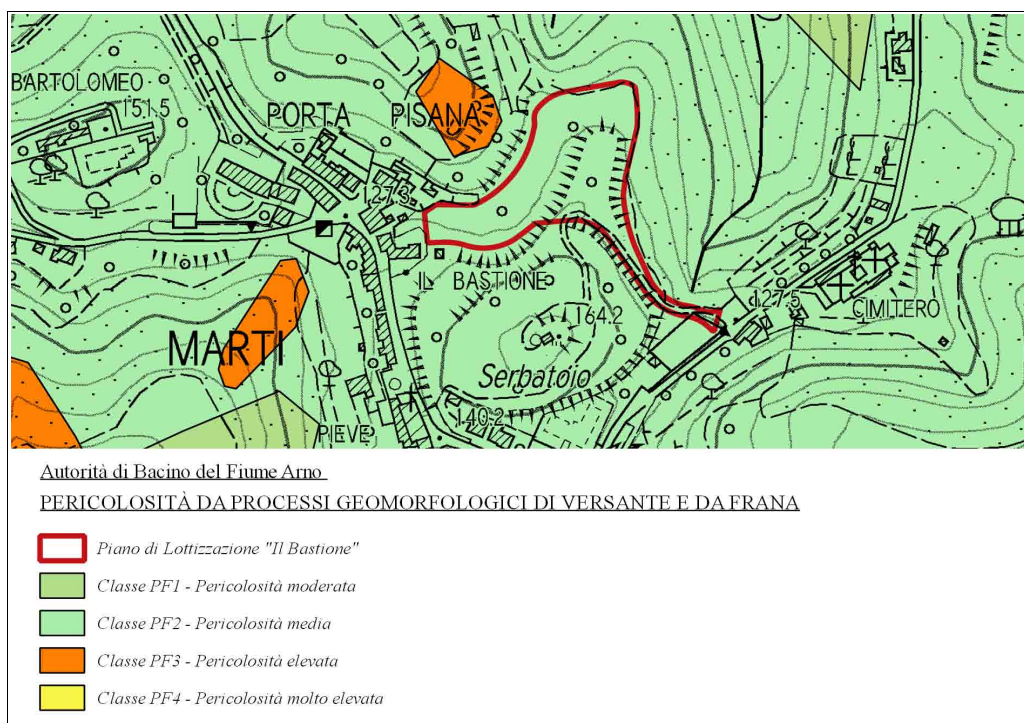
Nel successivo Piano Strutturale (2008) la Pericolosità geologica dell'area è stata aggiornata secondo le direttive del D.P.G.R. 27/04/2007 n.26/R.

In tale occasione, essendo stati individuati i fenomeni di dissesto precedentemente descritti, i versanti del rilievo sono stati per la maggior parte inseriti prevalentemente nella Classe G.3 – Pericolosità

geomorfologica elevata e per una porzione minore nella Classe G.4 – Pericolosità geomorfologica molto elevata.



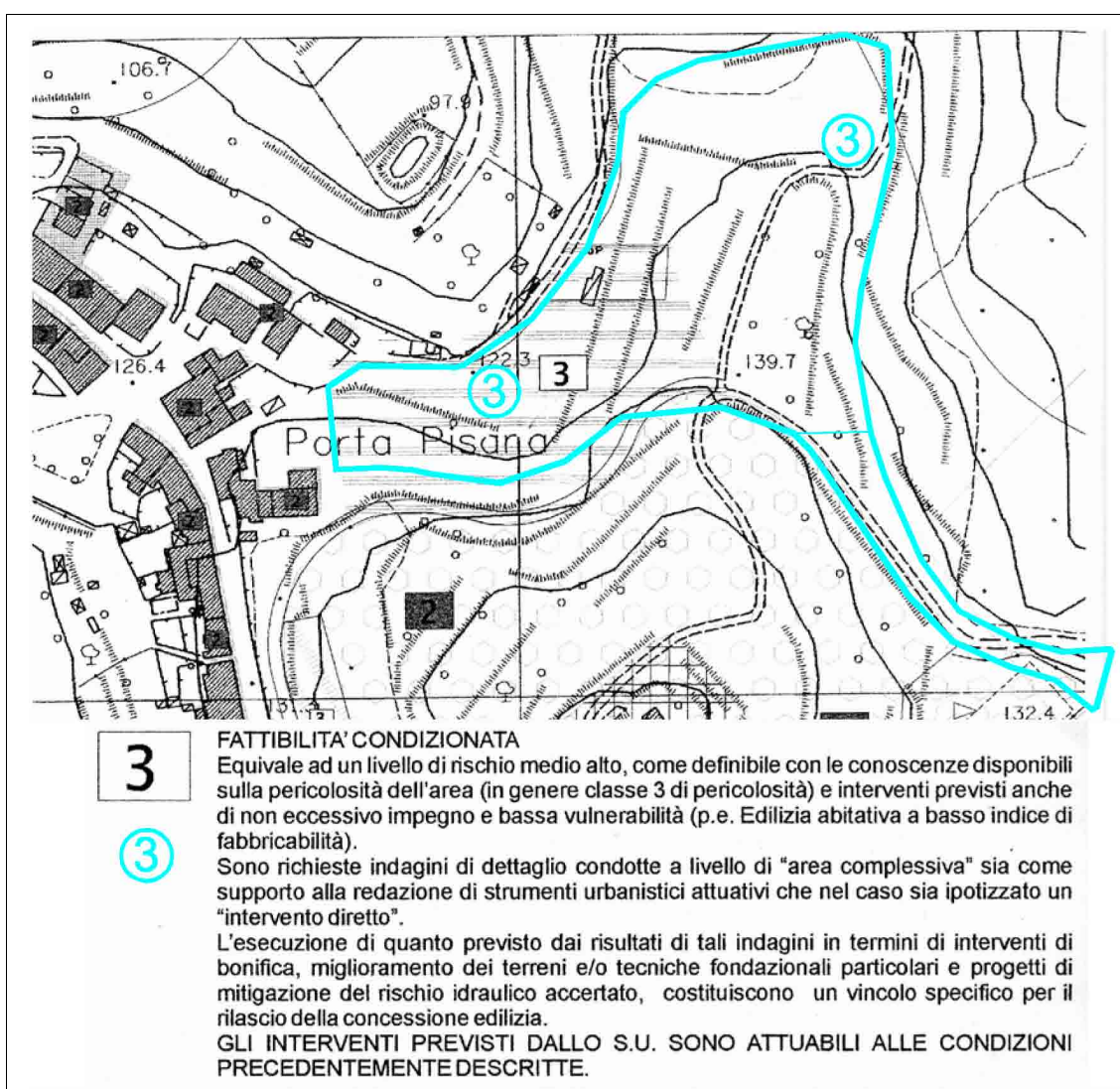
Diversamente nella cartografia del PAI del Bacino del Fiume Arno, come pure nel PAI del Bacino



Distrettuale Appennino Settentrionale in corso di approvazione e che sostituirà il precedente, la Pericolosità della zona appare meno gravosa rispetto a quanto indicato nel Piano Strutturale, in quanto l'estensione dei fenomeni di dissesto risulta molto più contenuta, senza individuazione di condizioni di pericolosità molto elevata riconducibili a fenomeni attivi: è infatti censito un fenomeno quiescente localizzato alla base del versante, ben più a valle del comparto di lottizzazione di interesse.

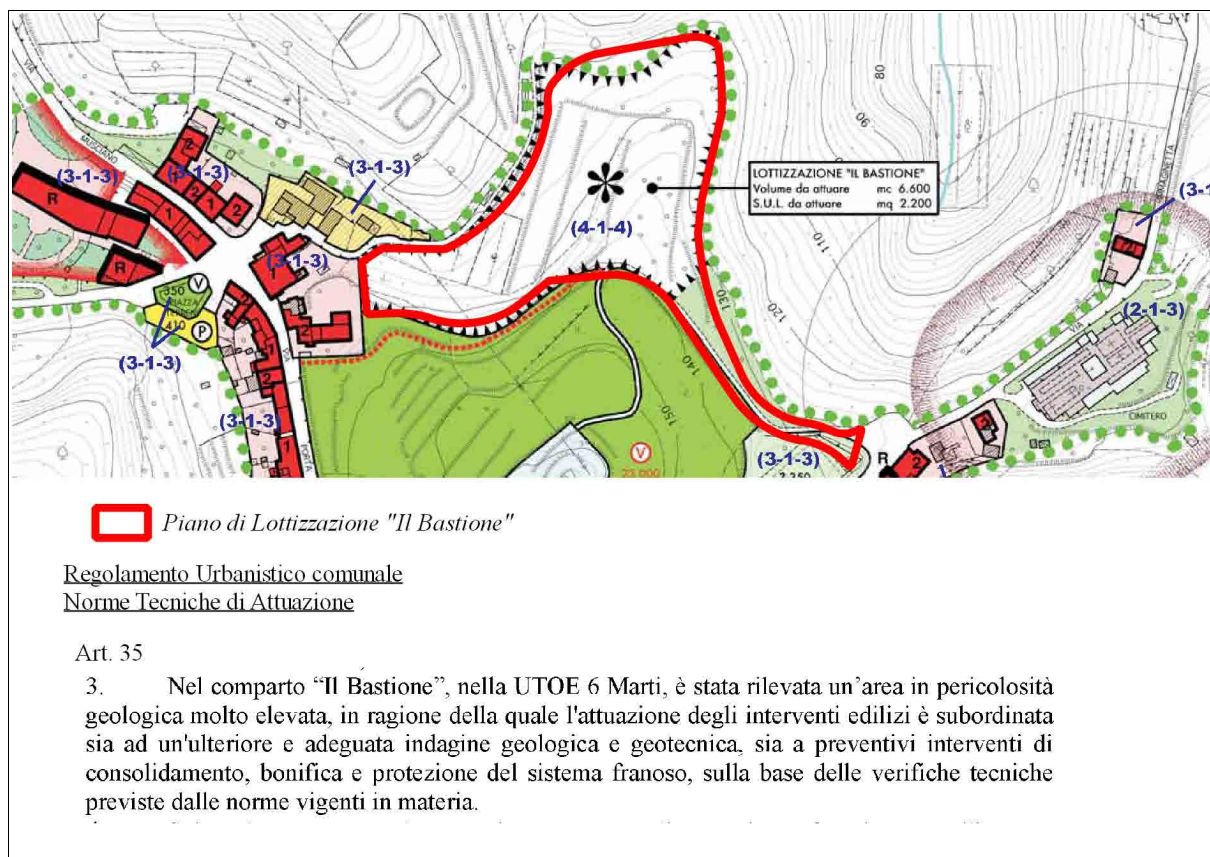
5. FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI

Nella Variante al Piano Regolatore comunale del 2005, la Fattibilità degli interventi previsti dal Piano di Lottizzazione è stata definita in accordo con la valutazione di pericolosità formulata in quella sede.



Analogamente, partendo dalle valutazioni di pericolosità rappresentate nel Piano Strutturale comunale del 2008, le condizioni di Fattibilità per il comparto in esame sono state ricondotte, nel Regolamento Urbanistico del 2013, alla Classe F4. Gli interventi sono stati in quella sede condizionati all'esecuzione di nuove indagini geologiche e geotecniche, ed alla realizzazione di

interventi di consolidamento e bonifica del sistema franoso.

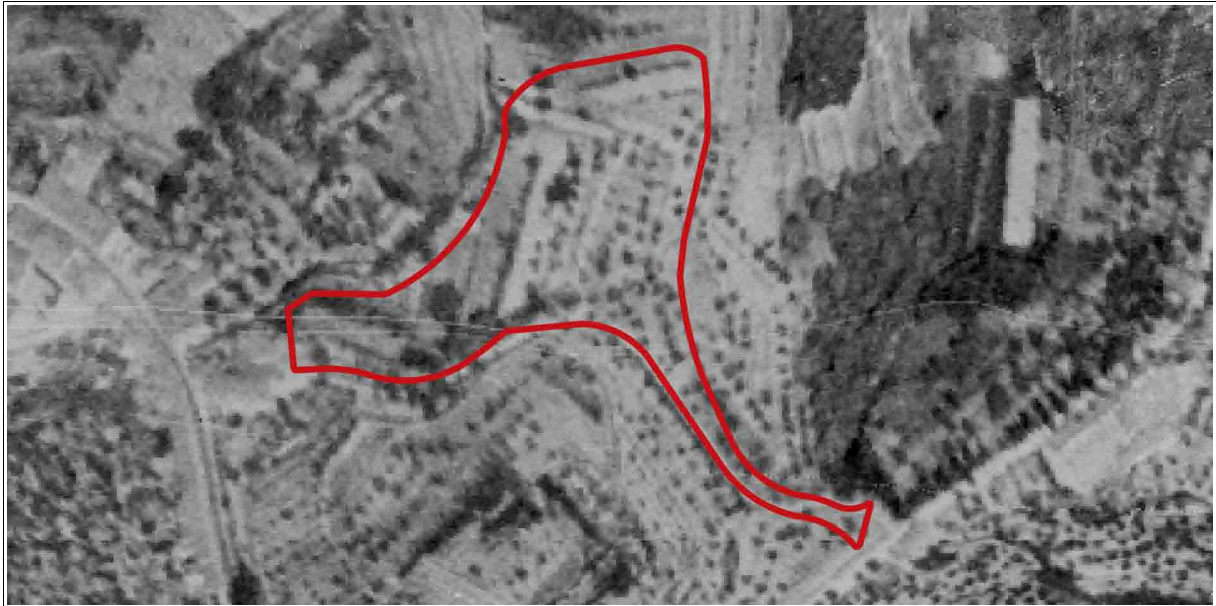


Il giudizio di fattibilità attribuito a tale comparto è stato confermato dal Professionista incaricato del Piano Strutturale anche in risposta alla richiesta di integrazioni e chiarimenti formulata dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area vasta Livorno-Lucca-Pisa ed è stato recepito nelle Norme Tecniche di Attuazione dello stesso Regolamento Urbanistico.

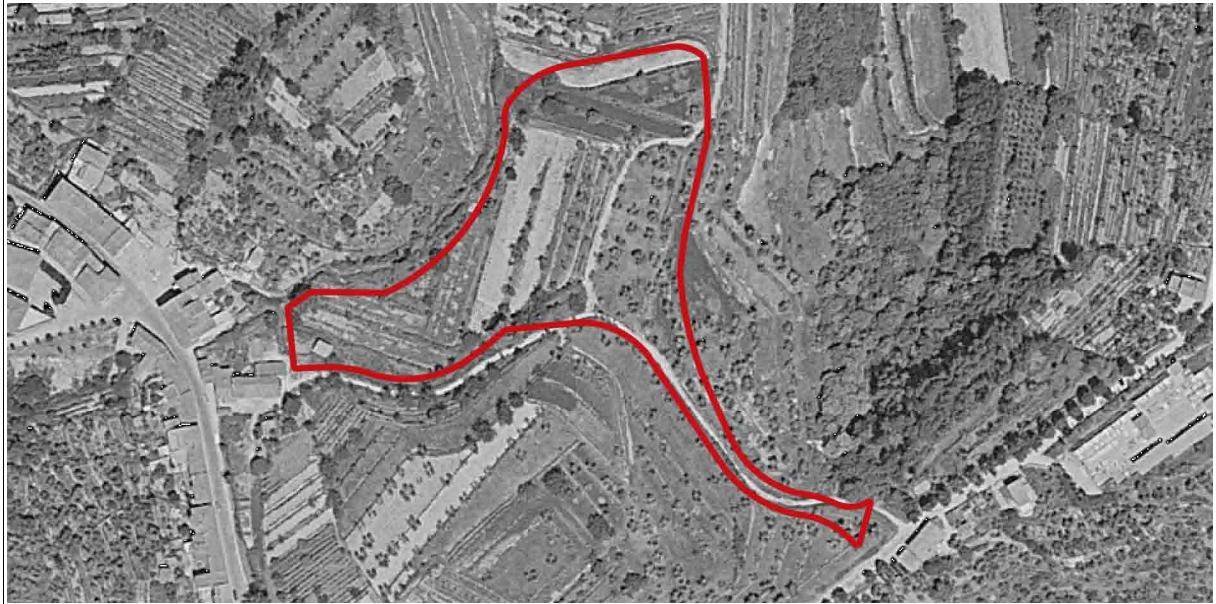
Nonostante ciò tali valutazioni non trovano corrispondenza nel PAI del Bacino del Fiume Arno, del quale l'atto di pianificazione comunale avrebbe dovuto costituire l'aggiornamento del quadro conoscitivo (artt. 27 e 32 delle Norme di Piano).

6. ANALISI TEMPORALE DELL'EVOLUZIONE DEL VERSANTE

Nell'ambito dello studio condotto in questa sede, sono state esaminate le ortofoto distribuite dalla Regione Toscana attraverso il portale Geoscopio, allo scopo di ricostruire l'evoluzione del versante nel periodo compreso tra il 1954 ed il 2019, a cui risale l'immagine più recente.

Ortofoto del 1954

La situazione rappresentata in tale foto rappresenta la situazione di riferimento rispetto all'analisi condotta: la zona si presenta scarsamente alberata e l'assetto generale non denota la presenza di particolari forme riconducibili a dissesti in atto o pregressi.

Ortofoto del 1965

Anche in questa foto, dalla qualità sicuramente migliore della precedente, la zona risulta interessata da normali attività agricole, senza indizi di dissesti lungo il versante occidentale: sono ben visibili le scarpate tutt'ora esistenti al margine del perimetro della lottizzazione, così come la strada podereale adiacente, l'ordito degli appezzamenti agricoli si presenta regolare e ordinato e non si notano crolli o tagli nel versante riconducibili a fenomeni franosi.

Ortofoto del 1988

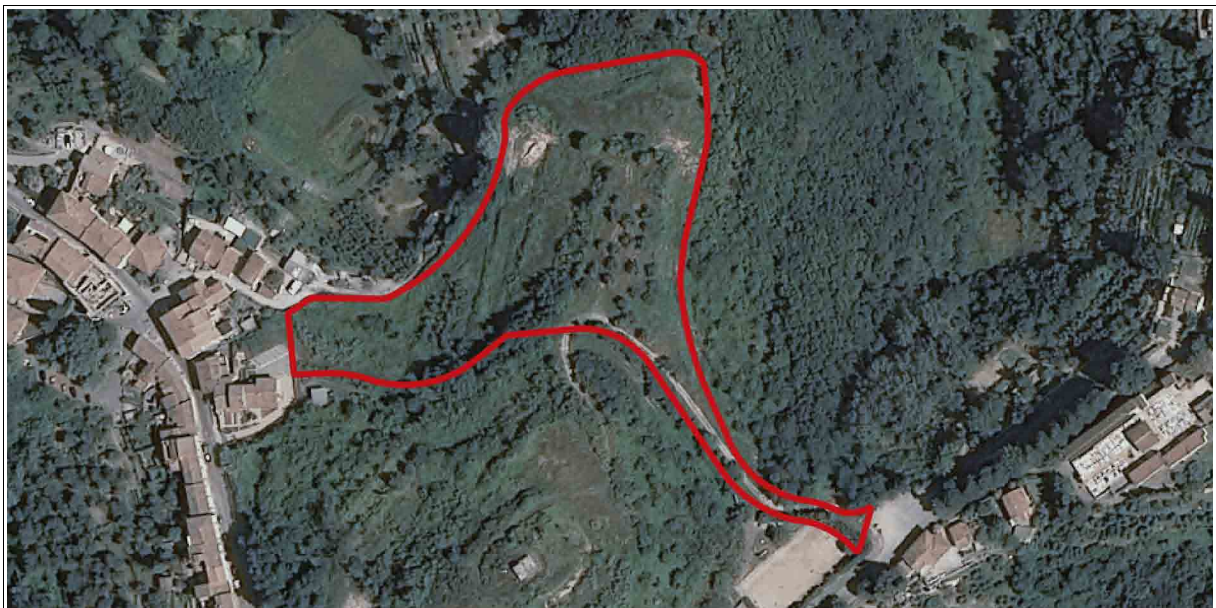
Anche nell'immagine del 1988 sono riconoscibili le stesse forme del territorio già precedentemente individuate senza elementi che possano lasciar ipotizzare dissesti estesi dal piede del versante fino a quasi la sommità del rilievo del Bastione.

Ortofoto del 1999

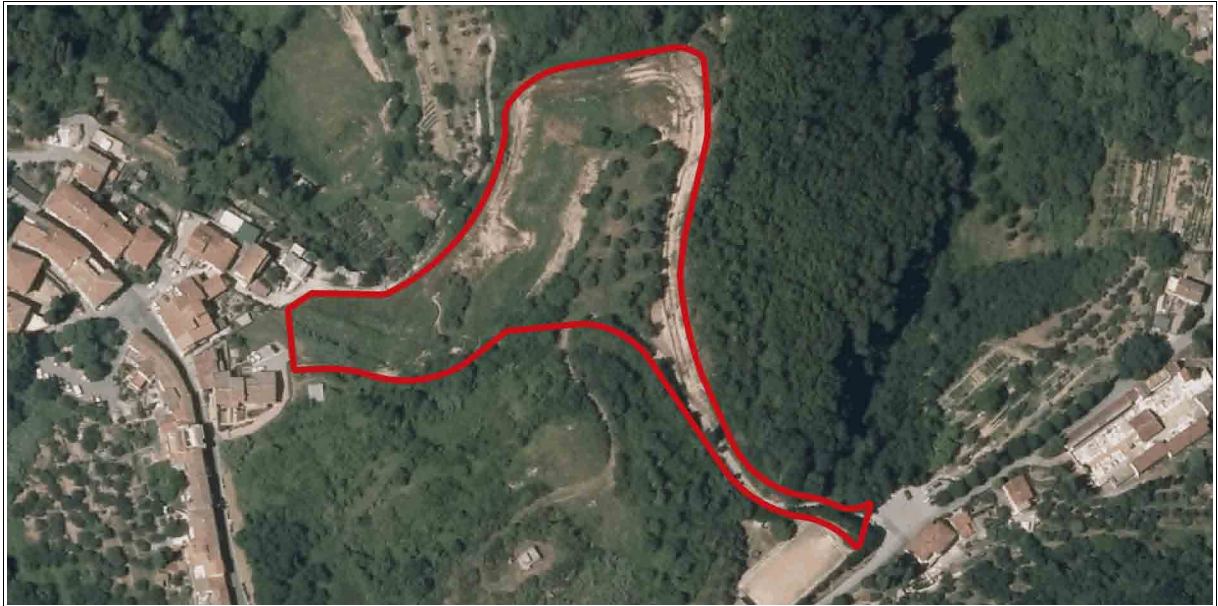
Nella foto del 1999, grazie alla sua migliore risoluzione rispetto alle precedenti, emergono alcuni elementi riconoscibili anche nell'assetto attuale: è individuabile il piccolo invaso tutt'ora presente al piede della scarpata, sono meglio distinti i terrazzamenti realizzati nell'area oggi interessata dal piano di lottizzazione e le colture agricole continuano a presentare distribuzioni regolari all'interno dei vari appezzamenti, permettendo di escludere la presenza di estesi fenomeni di dissesto attivo.

Ortofoto del 2007

Nella foto del 2007 emergono in maniera più definita le scarpate presenti sul versante occidentale, tra le quali si notano (nella stessa posizione attuale) i tetti dei manufatti agricoli presenti lungo le viabilità poderali nonché l'invaso già citato in precedenza.

Ortofoto del 2010

Nella foto del 2010 è possibile rilevare con maggior dettaglio le scarpate esistenti nonché i primi interventi di sbancamenti interni alla zona di lottizzazione per la realizzazione delle opere di urbanizzazione.

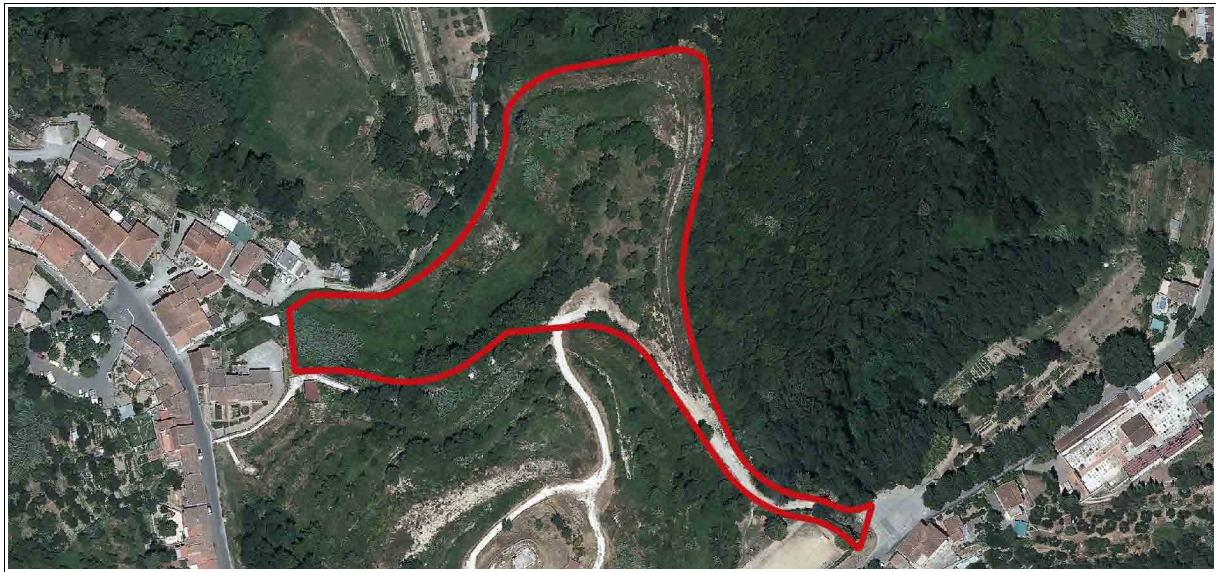
Ortofoto del 2013

Nella foto del 2013 sono visibili gli effetti degli scavi eseguiti per la realizzazione delle opere di urbanizzazione che hanno permesso di definire gli ingombri della viabilità interna e del parcheggio, ubicato in prossimità della scarpata lungo il versante occidentale.

Ortofoto del 2016

Risalgono al 2016 gli interventi sulla porzione più elevata del rilievo, relativi alla sistemazione dell'area archeologica: sul versante occidentale, denudato nella porzione superiore, non si evidenziano forme riconducibili a dissesti.

Ortofoto del 2019



La foto del 2019 rappresenta la situazione più recente, molto simile a quella attuale: l'arresto nelle operazioni di urbanizzazione ha favorito la rinaturalizzazione delle zone già scavate (viabilità e parcheggio) e le zone del versante occidentale continuano a presentarsi prive di forme riconducibili a fenomeni di dissesto.

L'analisi condotta sulle ortofoto ha evidenziato la coerenza delle forme geomorfologiche riconoscibili durante tutto il periodo considerato, e consente di escludere la presenza di fenomeni di dissesto attivo di elevate estensione come quello individuato nell'ambito del Piano Strutturale comunale.

7. ANALISI DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE DA INTERFEROMETRIA SATELLITARE

La verifica delle condizioni di stabilità del versante da telerilevamento è stata completata consultando i dati di interferometria satellitare (Permanent Scatterers, PS) disponibili sul portale della Regione Toscana.

Tale metodologia, basata su rilevazioni radar da satelliti con orbite ad andamento Nord-Sud ("descending") e Sud-Nord ("ascending"), permette di misurare gli spostamenti di bersagli che riflettono i segnali attraverso il confronto di fase tra più rilevazioni successive, restituendo serie temporali di spostamenti (oltreché di velocità) per ciascun bersaglio.

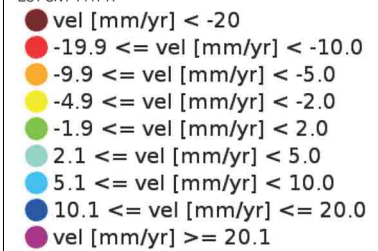
In funzione di tali dati (entità assoluta dello spostamento e velocità dello stesso), caratterizzati da risoluzione millimetrica, è possibile valutare i fenomeni di dissesto che interessano i vari bersagli (costituiti generalmente dalle coperture delle costruzioni) permettendo di distinguerli dalle zone stabili.

Per un'analisi corretta è necessario utilizzare ed interpretare congiuntamente i dati "ascending" e "descending" in quanto eventuali movimenti del terreno paralleli alle orbite satellitari possono essere rilevati in maniera molto diversa a seconda della direzione di movimento del satellite.

PS ascending

I bersagli individuati nella traiettoria ascending risultano ubicati lungo la viabilità principale (via di Porta Pisana) e pertanto non forniscono indicazioni sull'area di interesse del presente studio.

EST SNT T117 A



OFC 2016 20cm - 32 bit colore - RGB

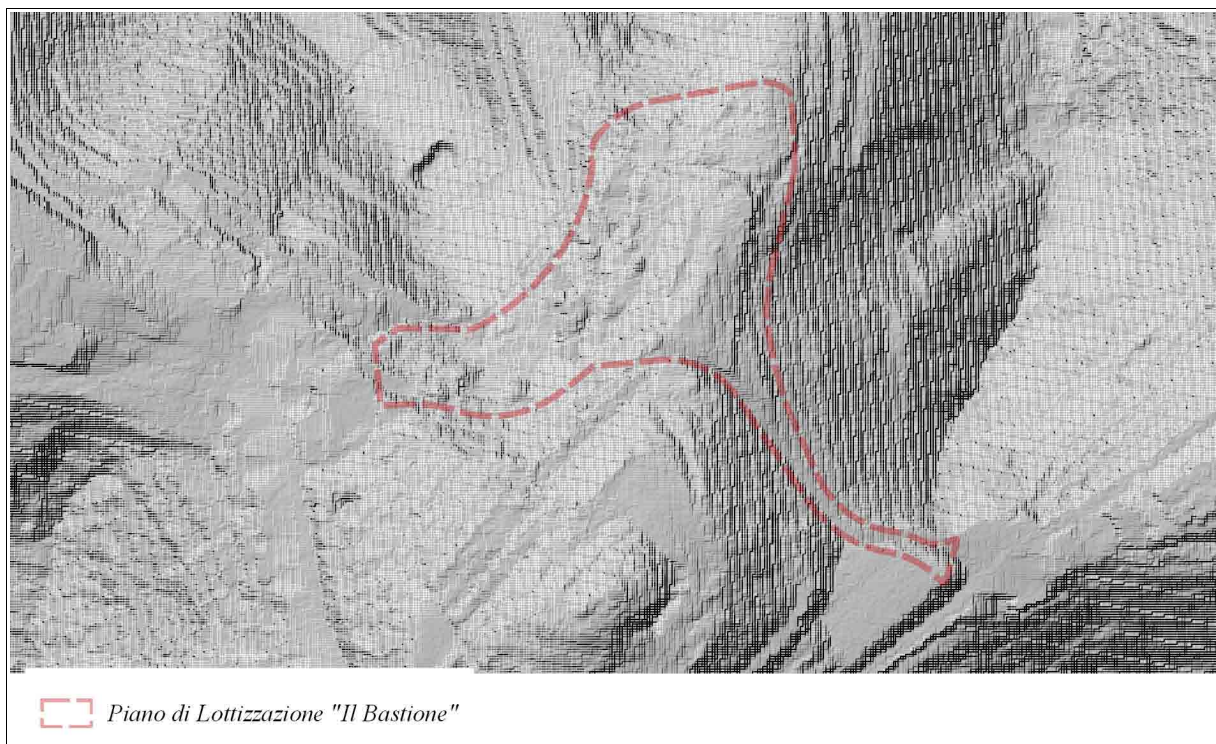
PS descending

-Anche nel caso dell'orbita descending non sono presenti bersagli nella zona del versante in esame.

8. ANALISI MORFOLOGICA DA DATI LIDAR

I dati LIDAR, ottenuti attraverso la scansione del terreno con tecnologia laser da velivoli a quota costante, forniscono un elevato dettaglio sulla morfologia del territorio.

I dati distribuiti dalla Regione Toscana, relativi a voli effettuati nel 2008, contengono le quote al suolo rappresentate in celle aventi 1 metro di lato: le elaborazioni condotte hanno permesso la definizione di 2 modelli digitali definiti DSM (Digitale Surface Model) e DTM (Digital Terrain Model), che rappresentano la superficie complessiva (DSM) di quanto rilevato (inclusi fabbricati, vegetazione) e quella invece riportata al suolo (DTM) epurata degli elementi in elevazione.



In questo caso sono stati utilizzati i dati DTM per la valutazione di forme del versante riconducibili a dissesti geomorfologici, utilizzando la visualizzazione ombreggiata per favorire il contrasto di eventuali deformazioni della superficie.

Anche da tali dati non emergono indizi riconducibili a fenomeni di dissesto attivo delle dimensioni di quelli cartografati nel Piano Strutturale.

9. INDAGINI A DISPOSIZIONE

Nell'ambito degli studi di supporto al Piano di Lottizzazione (e della relativa Variante al Piano Regolatore Generale, 2005), è stata condotta una indagine geognostica costituita da 3 prove penetrometriche statiche (CPT) distribuite nell'area.

Tali prove hanno registrato la presenza di alternanze di orizzonti a resistenza variabile, generalmente compatti, con picchi elevati che hanno condotto al rifiuto strumentale.

La prova PP1 risulta ubicata nella zona di attuale interesse, ad una quota che nel modello digitale definito sui dati LIDAR risulta pari a circa 130 m slm: i dati acquisti mostrano la presenza di terreni di media compressibilità fino alla profondità di circa 6 m, seguiti da un orizzonte più compatto per poi raggiungere il rifiuto strumentale alla profondità di circa 10 m.

10. INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE

Per indagare le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni presenti sul versante in esame è stata predisposta una campagna di indagini distribuite lungo il pendio, che vada ad integrare quanto già disponibile negli studi geologici di supporto al Piano di Lottizzazione.

Tali indagini furono condotte anteriormente ai movimenti terra poi realizzati per il tracciamento della viabilità e del parcheggio e risultano ubicate nella porzione di pendio posta più a monte.

Sono state quindi eseguite 5 prove penetrometriche con penetrometro statico (CPT) con punta munita di manicotto per la misura della resistenza laterale (punta Begemann), condotte dalla ditta Geoservizi snc con penetrometro Pagani TG 63-200, i cui risultati sono riportati nei certificati in Appendice.

Le prove penetrometriche sono state distribuite nell'area di studio approssimativamente lungo la linea di massima pendenza del pendio, nell'intento di ricostruire una sezione quanto più possibile continua del substrato.

La prova CPT01 è stata condotta lungo la strada poderale che costeggia la base della scarpata perimetrale della lottizzazione, posta ad una quota inferiore di circa 2 m rispetto al bordo della lottizzazione: l'indagine ha fatto registrare fin dall'inizio valori di resistenza all'avanzamento molto elevati, raggiungendo il rifiuto strumentale alla profondità di 1,60 m.

La prova CPT02 è stata ubicata sullo stradello direttamente sottostante alla viabilità poderale, e i dati acquisiti mostrano la presenza di orizzonti a resistenza variabile, con locali picchi molto elevati (oltre i 100 kg/cm²) alternati ad intervalli a resistenza minore (circa 60 kg/cm²), comunque riferibile a litologie addensate.

La prova CPT03 è stata eseguita a valle della porzione più ripida del pendio, in prossimità del cambio di pendenza, individuando un livello superficiale scarsamente resistente (dello spessore di circa 2,5 m) seguito da un orizzonte con caratteristiche leggermente migliori fino alla profondità di circa 5,2 m. A maggiori profondità sono stati riscontrati terreni dall'elevata resistenza, che hanno rapidamente condotto al rifiuto strumentale. A lato dell'indagine penetrometrica è stato prelevato un campione indisturbato di terreno (C1) a profondità comprese tra 2,5 e 3,0 m dal piano di campagna.

Le prove CPT04 e CPT05 sono state eseguite nella zona della lottizzazione, a quote simili, distanzate di circa 20 m per valutare eventuali variazioni laterali del substrato: le due indagini hanno fornito dati tra loro coerenti, con un primo orizzonte mediamente compressibile seguito da un livello fortemente resistente, che ha portato al rifiuto strumentale poco oltre i 3 m di profondità.

A lato dell'indagine penetrometrica CPT04 è stato prelevato un campione indisturbato di terreno (C2) a profondità comprese tra 1,5 e 1,9 m dal piano di campagna.

Per meglio correlare i dati puntuali acquisiti è stata eseguita una indagine sismica costituita da un profilo sismico a rifrazione, due misure di sismica passiva a stazione singola (HVSR) ed un profilo MASW, eseguita ed elaborata dalla ditta P3 snc di Pisa.

Il profilo a rifrazione è stato ubicato in corrispondenza dell'area indicata come in dissesto lungo la linea di massima pendenza, in adiacenza delle prove penetrometriche sopra descritte, acquisendo i risultati delle onde P (onde primarie, onde di compressione) e delle onde S (secondarie, onde di taglio): le specifiche tecniche e le elaborazioni dei dati acquisiti sono rappresentati in Appendice nella relazione tecnica prodotta dalla stessa Ditta esecutrice.

Il profilo di velocità relativo alle onde P mostra un andamento generalmente regolare del substrato, con gradiente di velocità regolare fino a profondità di circa 7/8 m, in cui la velocità arriva a circa 1200 m/s.

Un elemento rilevante di tale profilo appare il livello a bassa velocità (minore di 350 m/s) rilevato nella porzione centrale, posto in prossimità della superficie topografica e dello spessore di circa 2 m, che non è stato individuato nel resto dell'indagine.

Il profilo di velocità relativo alle onde S si presenta maggiormente articolato, anche in relazione alle caratteristiche intrinseche delle onde di taglio, la cui velocità risulta molto sensibile al contenuto naturale d'acqua dei terreni (tali onde non si propagano nei liquidi): le curve di isovelocità individuano una zona più lenta in corrispondenza della zona centrale del profilo, la cui profondità si riduce verso la porzione posta a quote più elevate.

Le misure di sismica passiva sono state realizzate in corrispondenza del piede del versante (in adiacenza alla prova penetrometrica CPT03 e nell'area di lottizzazione, in adiacenza alla prova penetrometrica CPT04.

Il profilo MASW, eseguito per la valutazione della categoria di sottosuolo degli interventi edilizi previsti nell'area, è stato ubicato lungo la viabilità di lottizzazione, in prossimità delle prove penetrometriche CPT04 e CPT05.

11. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Sulla base dei dati a disposizione e di quelli di nuova acquisizione, è stato definito l'assetto del sottosuolo indagato, unendo le informazioni ricavabili dal rilevamento geologico di superficie con quelle della campagna geognostica.

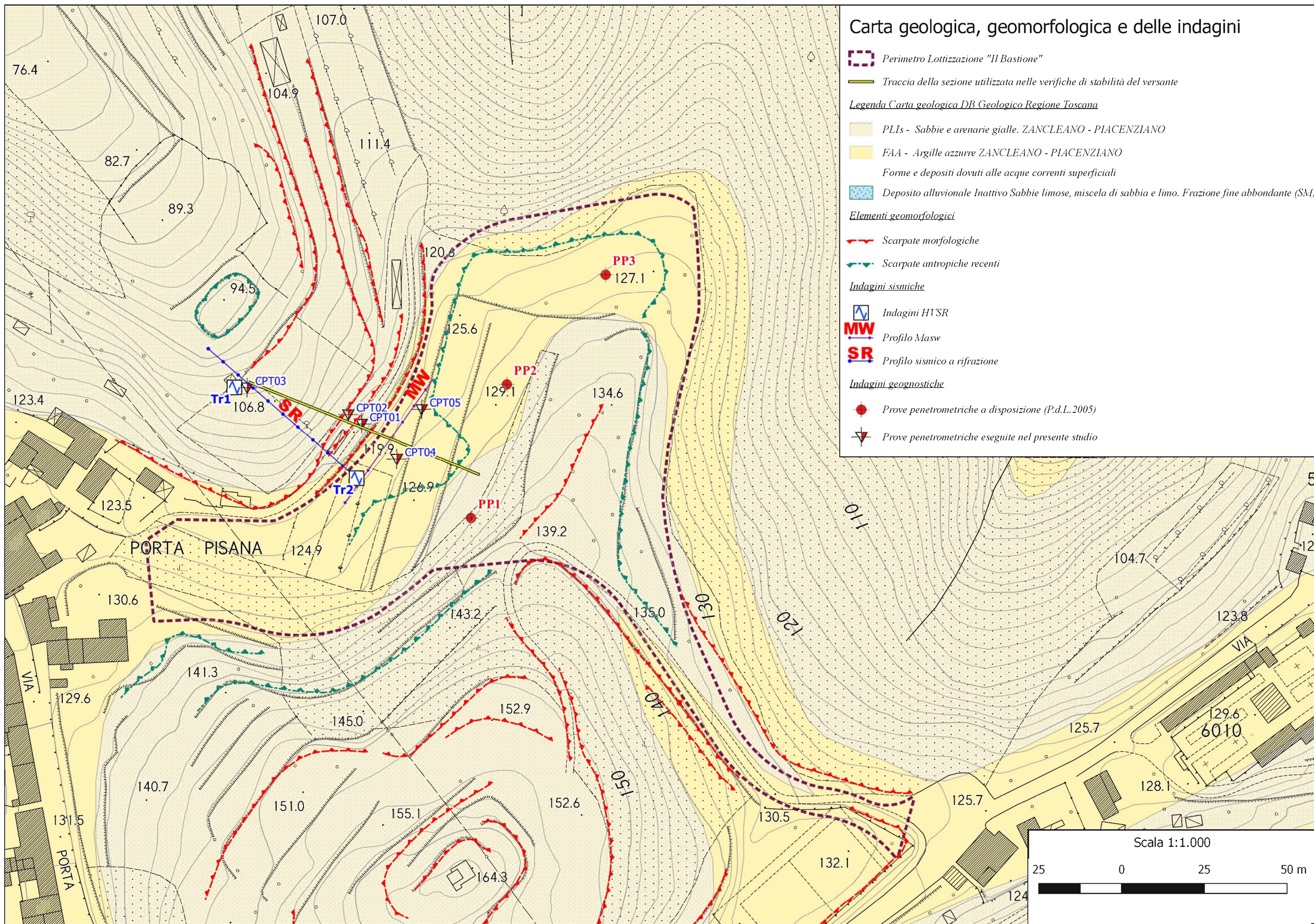
Come base topografica di riferimento è stato utilizzato il modello digitale del terreno (DTM) definito a partire dai dati LIDAR (volo 2008, celle 1x1 m), modificato manualmente in corrispondenza dei movimenti terra eseguiti all'interno del comparto di lottizzazione (viabilità e parcheggio) sulla base delle ortofoto più recenti. Tale DTM è stato rappresentato secondo curve di livello con interdistanza di 0,25 m, per meglio apprezzare le quote e le forme del terreno.

La zona di interesse si sviluppa principalmente nel livello di "Argille sabbiose/Sabbie argillose" (FAA o VLMA) e nelle "Sabbie" sottostanti (PLIs o VLMs) che interessano il versante al di sotto della quota di 130 m slm:

-

Carta geologica, geomorfologica e delle indagini

- Perimetro Lottizzazione "Il Bastione"
- Traccia della sezione utilizzata nelle verifiche di stabilità del versante
- Legenda Carta geologica DB Geologico Regione Toscana**
 - PLIs - Sabbie e arenarie gialle. ZANCLEANO - PIACENZIANO
 - FAA - Argille azzurre ZANCLEANO - PIACENZIANO
 - Forme e depositi dovuti alle acque correnti superficiali
 - Deposito alluvionale Inattivo Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Frazione fine abbondante (SM)
- Elementi geomorfologici**
 - Scarpate morfologiche
 - Scarpate antropiche recenti
- Indagini sismiche**
 - Indagini HVSr
 - Profilo Masw
 - Profilo sismico a rifrazione
- Indagini geognostiche**
 - Prove penetrometriche a disposizione (P.d.L.2005)
 - Prove penetrometriche eseguite nel presente studio

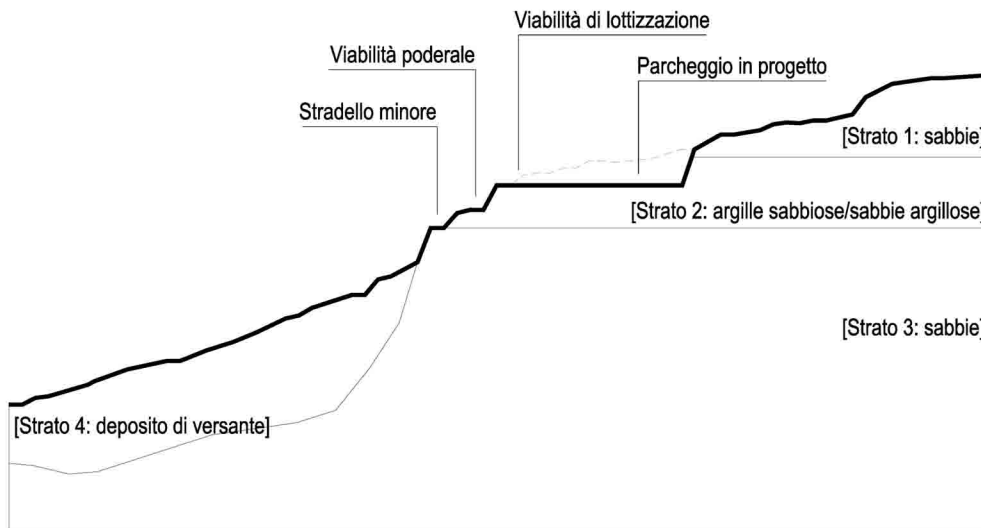


- la prova PP1, realizzata alla quota di circa 130 m, si è arrestata per rifiuto strumentale dopo oltre 10 m di profondità, attraversando terreni con resistenza all'avanzamento media;
- lungo la scarpata artificiale derivante dallo scavo del parcheggio affiorano alternanze tra terreni sabbiosi ed orizzonti maggiormente coesivi; le prove CTPT04 e CPT05, poste alla quota di circa 123 m si sono arrestate per rifiuto strumentale poco dopo i 3 m di profondità permettendo di ipotizzare, in coerenza con i dati della prova PP1, la presenza di un orizzonte molto consistente a quote comprese tra 119 e 120 m slm;
- lungo la scarpata compresa tra la viabilità podereale (al piede) ed il comparto di lottizzazione (al tetto) affiorano litologie sabbiose con matrice coesiva, stabili nonostante la vegetazione presente e l'elevata pendenza, talvolta superiore ai 70°;
- la prova CPT01, eseguita alla quota di circa 121 m, ha restituito un rapido rifiuto strumentale, in coerenza con le indagini poste più a monte;
- la scarpata che divide la viabilità podereale (al tetto) dallo stradello sottostante, avente elevata acclività e rilevante altezza, è caratterizzata dall'affioramento di litologie sabbiose con matrice coesiva senza indizi di instabilità lungo tutto il suo sviluppo;
- la prova CPT02, ubicata alla quota di circa 119 m slm, ha riscontrato valori di resistenza all'avanzamento molto elevati (spesso al di sopra dei 100 kg/cm²) con alternanza di livelli a compattezza variabile, compatibili con la natura sabbiosa del terreno sopra ipotizzata;
- a valle dello stradello minore è presente una scarpata a tratti subverticale, parzialmente obliterata dalla presenza di manufatti agricoli, lungo la quale non sono riscontrabili indizi di instabilità. Anche i manufatti presenti, seppur di scarsa qualità edilizia, non presentano perdite di verticalità o cedimenti che possano essere ricollegati a movimenti attivi del substrato;
- la prova CPT03, ubicata alla quota di circa 106 m slm ha riscontrato la presenza di un orizzonte superficiale scarsamente consistente fino alla profondità di circa 2 m seguito da un intervallo più compatto e, alla profondità di circa 5 m, da un livello molto più resistente che ha condotto al rifiuto strumentale;
- i risultati dell'indagine sismica a rifrazione, ed in particolare il profilo di velocità delle onde S, ha fornito geometrie coerenti con le indicazioni dedotte dal rilevamento geologico e dai dati delle prove penetrometriche individuando, laddove sono presenti terreni a minor resistenza alla punta, orizzonti con velocità sismiche minori;
- le misure di microtremori effettuate hanno messo in evidenza l'assenza di contrasti di impedenza sismica a medio/alte frequenze, tipiche delle discontinuità superficiali.

Il modello geologico che deriva da quanto sopra presenta una stratificazione piano-parallela tipica dei depositi pliocenici presenti nell'area, caratterizzata da 3 orizzonti principali in accordo con le conoscenze geologiche pregresse.

Lungo il versante a valle delle 3 scarpate più ripide, è presente un orizzonte meccanicamente meno resistente e sismicamente più lento, riconducibile ad un deposito superficiale costituito dalla messa in posto dei terreni provenienti dalle zone più a monte; la geometria di questo livello è stata definita sulla base delle indicazioni dell'indagine sismica, utilizzando come riferimento la curva di isovelocità di 250 m/s.

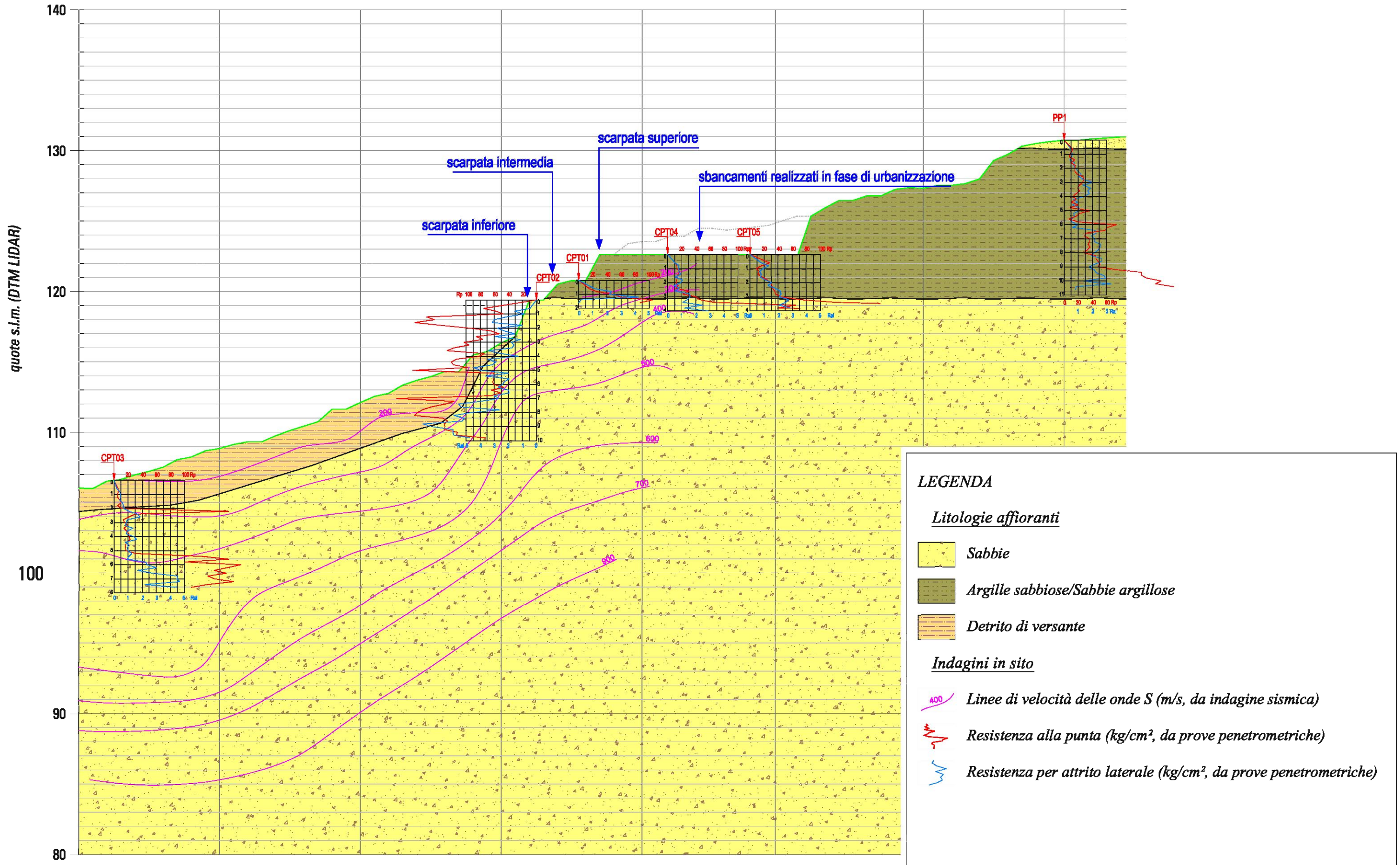
Il modello geologico così definito è graficamente rappresentabile come nel seguente schema:



La geometria del deposito di versante, definita sulla base delle indagini sismiche, risulta sicuramente cautelativa rispetto alle evidenze di campagna, in relazione alle pendenze medie del pendio ed alla generale assenza di fenomeni di dissesto superficiali.

SEZIONE GEOLOGICA

Scala 1:200



12. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

La definizione del modello geotecnico è stata condotta a partire dai risultati delle prove geotecniche di laboratorio eseguite sui 2 campioni indisturbati prelevati, integrati con quanto deducibile dalle prove penetrometriche.

I dati ottenuti sono qui di seguito riassunti:

				Campione C1	Campione C2
		Sigla	Unità di misura		
	Profondità		(m)	2,55 - 3,0	15 - 1,9
Caratteristiche fisiche	Umidità naturale	W	(%)	17,9	18,2
	Peso di volume	γ	(kN/m ³)	19,0	20,4
	Peso di volume secco	γ_{sec}	(kN/m ³)	16,2	17,3
	Peso di volume saturo	γ_{sat}	(kN/m ³)	20,0	20,7
	Indice dei vuoti	e_0		0,64	0,53
	Porosità		(%)	39,0	34,7
	Saturazione		(%)	75,7	92,5
Limiti di consistenza	Limite liquido	LL	(%)	26,0	26,5
	Limite plastico	LP	(%)	16,6	15,9
	Indice plastico	IP		9,4	10,6
	Indice di consistenza	IL		0,86	0,78
Granulometria	Ghiaia		(%)	2,4	11,0
	Sabbia		(%)	58,8	47,9
	Limo		(%)	25,0	24,1
	Argilla		(%)	13,8	17,0
Classificazione	CNR-UNI			A4-I.G.=1	A6-I.G.=2
Taglio diretto CD	Angolo di attrito interno	ϕ'	(°)	25,8	25,2
	Coesione efficace	c'	(kPa)	16,2	17,1
Prova triassiale Non Drenata Non Consolidata UU	Coesione non drenata	c_u	(kPa)	88,5	64,2

I dati acquisiti nel campione C1 sono stati considerati rappresentativi dello Strato 4 "Detrito di Versante", mentre i dati del campione C2 sono stati riferiti allo Strato 2 "Sabbie argillose/argille sabbiose".

La caratterizzazione degli strati 1 e 3 è stata condotta attraverso l'interpretazione dei dati acquisiti con le indagini penetrometriche individuando parametri fisico-meccanici cautelativi, pervenendo alla seguente caratterizzazione:

	Peso di volume	Peso di volume saturo	Coesione non drenata	Coesione efficace	Angolo di attrito efficace
<i>Sigla</i>	γ	γ_{sat}	c_u	c'	Φ'
<i>Unità di misura</i>	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kPa)	(kPa)	(°)
Strato 1 - "Sabbie"	20	21	100	2	30
Strato 2 - "Sabbie argillose/argille sabbiose"	20	21	85	16	25
Strato 3 - "Sabbie"	20	21	100	2	30
Strato 4 - "Detrito di versante"	19	20	60	17	25

13. ANALISI COMPLESSIVA DELLA SITUAZIONE RILEVATA

I nuovi dati geognostici e sismici hanno permesso di integrare il quadro conoscitivo già disponibile sull'area, favorendo la definizione di un modello del sottosuolo di dettaglio.

L'assenza di indizi di dissesto attivo riscontrabile sul terreno è stata verificata anche attraverso l'analisi delle foto aeree pubblicate dalla Regione Toscana nell'intervallo tra il 1954 ed il 2019, attraverso le quali è possibile notare, ad esclusione dei recenti movimenti terra interni al comparto di lottizzazione, forme del rilievo pressochè identiche nel periodo considerato.

Le indagini geognostiche condotte nel 2005 a supporto del Piano di Lottizzazione avevano messo in luce la presenza di terreni generalmente compatti, rappresentati da litologie sabbiose con matrice coesiva in cui erano presenti livelli maggiormente argillosi: uno di questi, di spessore rilevante, è stato rappresentato distintamente nelle cartografie geologiche dell'area.

La nuova campagna di indagini, sviluppata lungo il versante, ha permesso di verificare le caratteristiche del versante da monte a valle, combinando informazioni puntuali (prove penetrometriche) con analisi estese (indagini sismiche), trovando una generale coerenza tra i dati acquisiti, attraverso i quali sono stati definiti il modello geologico ed il modello geotecnico della zona.

14. RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'azione sismica di progetto in base alla quale verificare il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione è stata valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", riferita ad un sito ideale, rigido e con superficie topografica orizzontale (categoria "A" delle NTC), così come definita nell'ambito degli studi condotti a livello nazionale dall'INGV.

L'azione sismica è stata poi corretta per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo e dalla morfologia della superficie (Categoria di sottosuolo, coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica), definendo in tal modo la risposta sismica locale.

Per la valutazione della risposta sismica locale, tramite la definizione dei coefficienti sismici di sito, si è utilizzato il software della GEOSTRU "Geostru PS parametri sismici" che, a partire dai dati di input quali categoria di sottosuolo e categoria topografica, restituisce i coefficienti sismici (k_h , k_v , β) che modificano in ampiezza, durata e contenuto in frequenza l'azione sismica di riferimento e quindi l'accelerazione massima attesa al sito (A_{max} in m/s^2), in relazione ai T_r considerati. I risultati restituiti dal software vengono riportati qui di seguito.

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 43,652476

longitudine: 10,744246

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 20495	Lat: 43,6523	Lon: 10,7261	Distanza: 1460,941
Sito 2	ID: 20496	Lat: 43,6539	Lon: 10,7951	Distanza: 4097,427
Sito 3	ID: 20718	Lat: 43,6039	Lon: 10,7973	Distanza: 6887,178
Sito 4	ID: 20717	Lat: 43,6023	Lon: 10,7283	Distanza: 5727,022

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T2
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

Operatività (SLO):	Danno (SLD):	Salvaguardia della vita (SLV):	Prevenzione dal collasso (SLC):
Prob. di sup.: 81 %	Prob. di sup.: 63 %	Prob. di sup.: 10 %	Prob. di sup.: 5 %
Tr: 30 [anni]	Tr: 50 [anni]	Tr: 475 [anni]	Tr: 975 [anni]
ag: 0,044 g	ag: 0,056 g	ag: 0,136 g	ag: 0,170 g
Fo: 2,532	Fo: 2,529	Fo: 2,488	Fo: 2,522
Tc*: 0,239 [s]	Tc*: 0,249 [s]	Tc*: 0,275 [s]	Tc*: 0,282 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
Ss: 1,500	Ss: 1,500	Ss: 1,500	Ss: 1,440
Cc: 1,680	Cc: 1,660	Cc: 1,610	Cc: 1,590
St: 1,200	St: 1,200	St: 1,200	St: 1,200
Kh: 0,016	Kh: 0,020	Kh: 0,059	Kh: 0,070
Kv: 0,008	Kv: 0,010	Kv: 0,029	Kv: 0,035
Amax: 0,778	Amax: 0,983	Amax: 2,393	Amax: 2,880
Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,240	Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84: latitudine: 43.651511, longitudine: 10.743254

15. VERIFICA DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE

Al fine di supportare ulteriormente le valutazioni sopra espresse, è stata condotta una verifica di stabilità del versante utilizzando il modello geologico e quello geotecnico già definiti.

La sezione utilizzata è orientata da valle verso monte, utilizzando le quote del DTM LIDAR (celle 1x1 m), ritenuta adeguata a rappresentare (alla scala del versante) le caratteristiche del pendio.

Le verifiche sono state condotte in riferimento al punto 6.3 (*"Stabilità dei pendii naturali"*) del DM 17/01/2018, utilizzando il software SSAP2010 versione 4.9, realizzato e distribuito dal Dr. Geol. Lorenzo Borselli, PhD, Docente di Geotecnica e Geologia Applicata Facoltà di Ingegneria, Universidad Autonoma de San Luis Potosí – Mexico.

Sono state condotte le verifiche utilizzando il metodo di Morgenstern - Price (1965) in condizioni drenate, riconducibili alle condizioni a lungo termine, e non drenate, riferite a condizioni a breve termine, considerando anche le azioni sismiche, rappresentando quindi le condizioni limite definibili per l'area.

Negli schemi allegati sono rappresentate le 10 superfici più critiche rilevate tra le 10.000 calcolate per ciascuna condizione, con evidenziata la superficie a minor Fattore di sicurezza (Fs).

In sintesi i risultati ottenuti sono così riassumibili:

Condizioni	Azioni sismiche	Fattore di Sicurezza calcolato	Limite di Sicurezza scelto	Verificato
Drenate	Si	1,21	1,1	Si
Non drenate	Si	1,31	1,1	Si

La verifica in condizioni drenate ha messo in evidenza che in tali situazioni le superfici più critiche coinvolgono il margine della zona da urbanizzare, in relazione alle elevate pendenze delle scarpate presenti, fornendo peraltro un fattore di sicurezza accettabile.

Nelle condizioni non drenate le superfici più critiche risultano maggiormente approfondite, coinvolgendo una porzione maggiore del versante, in relazione anche ai valori cautelativi dei parametri geomeccanici utilizzati per le litologie sabbiose.

Nell'Appendice allegata, oltre al report generale prodotto dal software, sono rappresentate le sezioni con le superfici più critiche e le mappe dei Fattori di sicurezza calcolati.

16. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ DELL'AREA

Lo studio geologico e geomorfologico sul versante in esame è stato condotto sulla base dei dati del quadro conoscitivo disponibile e dei risultati di una nuova campagna di indagine, nella quale sono stati raccolte ulteriori informazioni di sottosuolo.

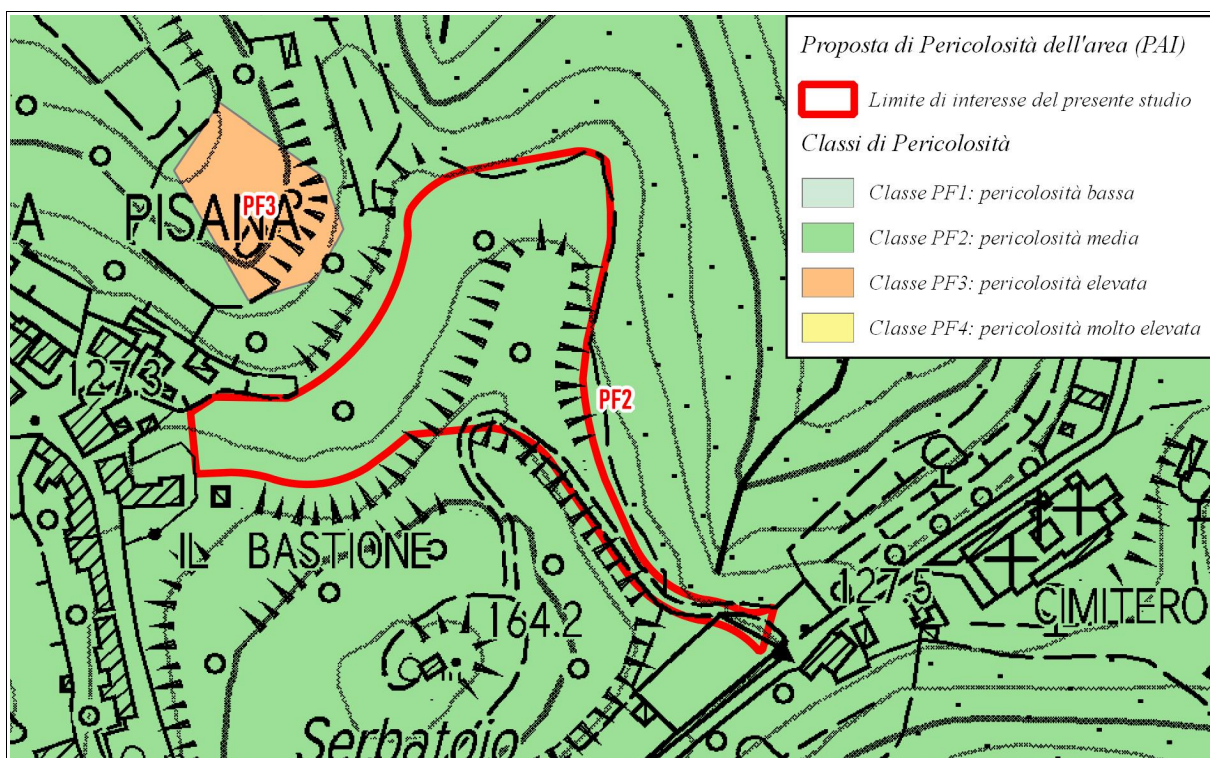
Sono state dettagliate le geometrie superficiali del pendio e la natura del substrato individuato, unendo quanto ricavabile dalle prove penetrometriche con quanto desunto dalle indagini sismiche.

Attraverso i test di laboratorio condotti su 2 campioni indisturbati di terreno sono stati definiti i parametri geomeccanici dei livelli più critici, rappresentati dall'orizzonte limo-sabbioso affiorante nella zona di lottizzazione e dei depositi di versante rinvenuti più a valle.

Le ricognizioni di campagna non hanno riscontrato indizi di dissesti attivi o recenti, assenti anche nella documentazione di foto aeree distribuite dalla Regione Toscana (periodo 1954-2019); analogamente sono stati verificati i dati di interferometria satellitare (Permanent Scatterers) messi a disposizione dalla Regione Toscana, ma l'assenza di riflettori nella zona di interesse non ha permesso di apportare ulteriori informazioni.

Eventuali forme del suolo associabili a dissesti sono state ricercate anche nel modello digitale del terreno (DTM) definito a partire dai dati del rilievo LIDAR disponibile per l'area (celle 1x1 m, volo 2008), senza rilevare alcun indizio di movimenti di massa.

Il modello geologico e geotecnico, definito con parametri geomeccanici sufficientemente cautelativi, è stato utilizzato per le verifiche di stabilità del versante, condotte ai sensi del punto 6.3 del DM



17/01/2018 (“pendio naturale”), valutate sia per le condizioni drenate che quelle non drenate, considerando anche l'azione sismica: tali verifiche hanno fornito Fattori di Sicurezza maggiori del valore minimo definito (1,1) che concordano con quanto osservato direttamente sul terreno.

Sulla base di quanto sopra, le aree del comparto di Lottizzazione “Il Bastione” non presentano particolari criticità e la loro pericolosità, espressa secondo i contenuti del D.P.G.R. 30/01/2020 n.5/R può essere ricondotta alla Classe G2 (*pericolosità bassa*) mentre, rispetto ai criteri del PAI del Bacino del Fiume Arno, può essere associata alla Classe PF2 (*pericolosità media*).

Ponsacco, gennaio 2021



Geol. Francesca Franchi



Geol. Alberto Frullini

Alberto Frullini