

PROGETTO, C.S.P.:

CAPOGRUPPO:



Sede legale: 00192 Roma - via Paolo Emilio, 34
Uffici: 86170 Isernia (IS) - via Libero Testa, 15/A
Uffici: 60026 Numana (AN) - via Loreto, 15
tel +390865411942 - fax +390865234579
spm@melfiprogetti.it - spm@pec.it
www.melfiprogetti.it



dott.arch. Carlo Melfi dott.ing. Roberto Melfi



MANDANTI:

geom. Marco Giovanchelli

dott.geol. Andrea Venosini



REGIONE TOSCANA



COMUNE DI CANTAGALLO

(Provincia di Prato)

OPERE DI BONIFICA PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO SU VERSANTE SOGGETTO A FRANA IN LOCALITA' "CASE DI SOTTO - MIGLIANA"

PROGETTO ESECUTIVO

Redatto ai sensi del D.Lgs. n°50 del 18.04.16 e s.m.i.

ALLEGATO: STUDIO GEOLOGICO: Relazione geologica		CODICE ELABORATO: C.01	
		--	
		R.U.P. dott.arch. Nicola SERINI	
A TERMINI DI LEGGE QUESTO PROGETTO E' DI PROPRIETA' ESCLUSIVA DELLA S.P.M. S.R.L. ED E' VIETATO RIPRODURLO O COMUNICARNE A TERZI IL CONTENUTO SENZA PREVENTIVA AUTORIZZAZIONE		C.U.P. F84J18000890009	DATA MAGGIO 2022
INDICE MODIFICHE	2		
	1 REV_1	DATA 05.22 SIGLA 406-408-413	DATA 05.22 SIGLA 404-415
	0 1^ EMISSIONE	DATA 04.22 SIGLA 406-408-413	DATA 04.22 SIGLA 404-415
N°	MODIFICHE	ELABORATO	CONTROLLATO APPROVATO



Indice

1. Premessa.....	4
2. Geomorfologia	7
3. Geologia	16
4. Idrogeologia	24
5. Geotecnica.....	29
6. Sismica.....	40
7. Conclusioni	53



Allegati

- Allegato 1A** ----- **Quaderno indagini dirette bibliografiche - Prove penetrometriche MZS 2015**
- Allegato 1B** ----- **Quaderno indagini dirette bibliografiche - Sondaggi 2013**
- Allegato 1C** ----- **Quaderno indagini dirette bibliografiche - Sondaggi MZS 2015**
- Allegato 1D** ----- **Quaderno indagini dirette bibliografiche - Sondaggi 2017**
- Allegato 1E** ----- **Quaderno indagini dirette dedicate - Sondaggi 2020**
- Allegato 2A** ----- **Quaderno indagini indirette bibliografiche - Tomografie elettriche 2013**
- Allegato 2B** ----- **Quaderno indagini indirette bibliografiche - Tomografie sismiche 2013**
- Allegato 2C** ----- **Quaderno indagini indirette bibliografiche - Sismica a rifrazione MZS 2015**
- Allegato 2D** ----- **Quaderno indagini indirette bibliografiche - Tomografie elettriche 2017**
- Allegato 2E** ----- **Quaderno indagini indirette bibliografiche - Tomografie sismiche 2017**
- Allegato 2F** ----- **Quaderno indagini indirette dedicate – M. a. s. w. 2022**
- Allegato 3A** ----- **Analisi di laboratorio bibliografiche 2017**
- Allegato 3B** ----- **Analisi di laboratorio dedicate 2020**
- Allegato 4A** ----- **Monitoraggio piezometrico manuale**
- Allegato 4B** ----- **Monitoraggio inclinometrico manuale**
- Allegato 4C** ----- **Monitoraggio piezometrico ed inclinometrico automatico**
- Allegato 5** ----- **Documentazione fotografica**

Elaborati cartografici

- D.01A** ----- **Carta geologica e geomorfologica con ubicazione indagini e tracce di sezione**
Scala 1: 1.000 - 5.000
- D.01B** ----- **Carta idrogeologica con ubicazione indagini e tracce di sezione**
Scala 1: 1.000 - 5.000
- D.02A** ----- **Sezioni geologico - tecniche A - B e C - D – Scala 1:1.000/500**
- D.02B** ----- **Sezioni geologico – tecniche E - F e G - H – Scala 1:1.000/500**

N. B. Ai sensi della normativa vigente (L. n. 633 del 22.04.1941 “Protezione del diritto d'autore e di altri diritti connessi al suo esercizio” – art. 99 e ss. mm. ii. e R. D. n. 262 del 16.03.1942 “Codice civile” e ss. mm. ii.) il presente elaborato non potrà essere riprodotto né ceduto a terzi, né tanto meno utilizzato per scopi diversi da quello di destinazione. Il relatore ne detiene la proprietà e tutte le autorizzazioni per l'utilizzo.



1. Premessa

Su incarico del comune di *Cantagallo* è stato eseguito lo studio, relativo ad una fase progettuale del tipo **esecutiva** e conforme al quadro legislativo vigente (L. R. n. 65 del 10.11.2014 e ss. mm. ii. e D. G. R. n. 663 del 20.05.2019, D. Lgs. n. 50 del 18.04.2016 art. 23 “Livelli della progettazione per gli appalti, per le concessioni di lavori nonché per i servizi” e ss. mm. ii., D. P. R. n. 207/2010 e ss. mm. ii., D. M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»” e ss. mm. ii. e R. D. n. 3267 del 30.12.1923 e ss. mm. ii.), finalizzato all’acquisizione dei parametri geomorfologici, geologici, idrogeologici, geotecnici e sismici relativi a un’area ubicato all’interno del territorio comunale di *Cantagallo*, più precisamente in corrispondenza delle frazioni *Migliana* e *Case di Sotto*, al fine di arrestare i dissesti idrogeologici accorsi ed in atto.

Lo studio è stato condotto attraverso una serie di attività che vengono di seguito esposte:

- analisi degli studi pregressi riguardanti l’area d’intervento¹;
- rilevamento geologico e geomorfologico dell’area d’intervento e di un’adeguata fascia di pertinenza;
- predisposizione ed esecuzione campagna indagini dedicata;
- sintesi dei risultati dello studio e conclusioni di carattere geologico - tecnico;
- indicazioni di carattere progettuale.

¹ Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale (2021). Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico – Rischio da frana. <http://www.appenninoseptentrionale.it/it/>.

Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale (2021). Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico – Rischio idraulico. <http://www.appenninoseptentrionale.it/it/>.

Comune di Cantagallo – Dott. Polverosi (2018). Opere di bonifica per la mitigazione del rischio su versante soggetto a frana in località Case di Sotto - Migliana – Progetto di fattibilità tecnica ed economica - Relazione geologica.

Comune di Cantagallo (2015) - Fondazione Prato Ricerche. Istituto per la ricerca ambientale e la mitigazione dei rischi. Dott. Geol. Andrea Fiaschi, Dott. Geol. Luca Matassoni. Microzonazione Sismica di livello I (Scala 1:5.000 – 15.000).

Centria Reti Gas – Dott. Geol. Fiaschi (2016). Frana in località Migliana – Monitoraggio geodetico GPS – Relazione conclusiva.

Centria Reti Gas – Dott. Geol. Fiaschi (2016). Frana in località Migliana – Monitoraggio geodetico GPS – Stato di avanzamento n. 2.

Centria Reti Gas – Dott. Geol. Fiaschi (2014). Frana in località Migliana – Monitoraggio geodetico GPS.

Fondazione Prato Ricerche – Istituto per la Ricerca Ambientale e la Mitigazione dei Rischi (2014). Monitoraggio della frana di Case di Sotto di Migliana – Comune di Cantagallo (PO).

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2007). IFFI – Inventario dei fenomeni franosi in Italia. <http://www.isprambiente.gov.it/progetti/iffi-inventario-dei-fenomeni-franosi-in-italia>.

Servizio Geologico (1965). Carta Geologica d’Italia (Scala 1:100.000) Foglio 106 - Firenze. http://sgi.isprambiente.it/geologia100k/mostra_foglio.aspx?numero_foglio=106.

Corpo Forestale dello Stato - Regione Toscana (1923). Vincolo idrogeologico ai sensi del R. D. n. 3267 del 30.12.1923 e ss. mm. ii. http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/servizi/wms/VINCOLO_IDROGEOLOGICO.htm



Le frazioni di *Migliana* e *Case di Sotto* sono state interessate a seguito degli eventi pluviometrici del marzo 2013, e come conseguenza delle precipitazioni cumulare di carattere eccezionale che hanno caratterizzato il semestre invernale 2012 – 2013, dalla riattivazione di un movimento franoso di tipo complesso, già noto, che ha interessato numerosi edifici privati nonché le infrastrutture viarie ed i sottoservizi. A partire dal 2013 sono stati eseguiti due importanti approfondimenti di carattere geologico e geognostico di seguito elencati:

- Fondazione Proto Ricerche (2013)²;
- Dott. Geol. Fiaschi (2014 – 2016)³;
- Dott. Geol. Polverosi (2018)⁴.

Gli approfondimenti condotti, seppur progressivamente fino ad una fase progettuale del tipo fattibilità tecnica ed economica, hanno permesso di definire il quadro geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area interessata dal dissesto rimandando a successivi approfondimenti, propri della fase progettuale definitiva ed esecutiva, la definizione del modello geologico – tecnico dell'area d'intervento.

I sopralluoghi condotti sia in corrispondenza dell'area d'intervento sia in prossimità della stessa, finalizzati ad un rilievo geologico e geomorfologico di superficie, associati alla campagna indagini dedicata hanno consentito di definire il locale quadro morfoevolutivo utile alla redazione del presente documento ed indispensabile per una corretta progettazione e realizzazione dell'intervento.

Per quanto riguarda la parametrizzazione geotecnica si è fatto riferimento alle risultanze di analisi di laboratorio dedicate eseguite su campioni prelevati durante l'esecuzione della campagna indagini dirette dedicate (**cf. Allegato 3B**), ai dati bibliografici (**cf. Allegato 3A**) ed all'esperienza maturata su litotipi simili ubicati in contesti geologici e geomorfologici anch'essi prossimi al contesto che si stà analizzando, mentre per quanto riguarda la classificazione sismica del terreno di

² Fondazione Prato Ricerche – Istituto per la Ricerca Ambientale e la Mitigazione dei Rischi (2014). Monitoraggio della frana di Case di Sotto di Migliana – Comune di Cantagallo (PO).

³ Centria Reti Gas – Dott. Geol. Fiaschi (2016). Frana in località Migliana – Monitoraggio geodetico GPS – Relazione conclusiva.

Centria Reti Gas – Dott. Geol. Fiaschi (2016). Frana in località Migliana – Monitoraggio geodetico GPS – Stato di avanzamento n. 2.

Centria Reti Gas – Dott. Geol. Fiaschi (2014). Frana in località Migliana – Monitoraggio geodetico GPS.

⁴ Comune di Cantagallo – Dott. Polverosi (2018). Opere di bonifica per la mitigazione del rischio su versante soggetto a frana in località Case di Sotto - Migliana – Progetto di fattibilità tecnica ed economica - Relazione geologica.



fondazione si è fatto riferimento alle risultanze delle indagini indirette dedicate (**cf. Allegato 2F**), alle risultanze delle indagini indirette bibliografiche (**cf. Allegato 2A, 2B, 2C, 2D e 2E**) ed all’esperienza maturata su litotipi simili ubicati in contesti geologici e geomorfologici anch’essi prossimi al contesto che si sta analizzando.

2. Geomorfologia

L'area d'intervento ricade all'interno del territorio comunale di *Cantagallo*, in corrispondenza del settore meridionale del territorio comunale più precisamente in corrispondenza delle frazioni *Migliana* e *Case di Sotto*, ad una quota compresa tra i 750,00 e i 450,00 m s. l. m. (cfr. **Fig. 1**)⁵.

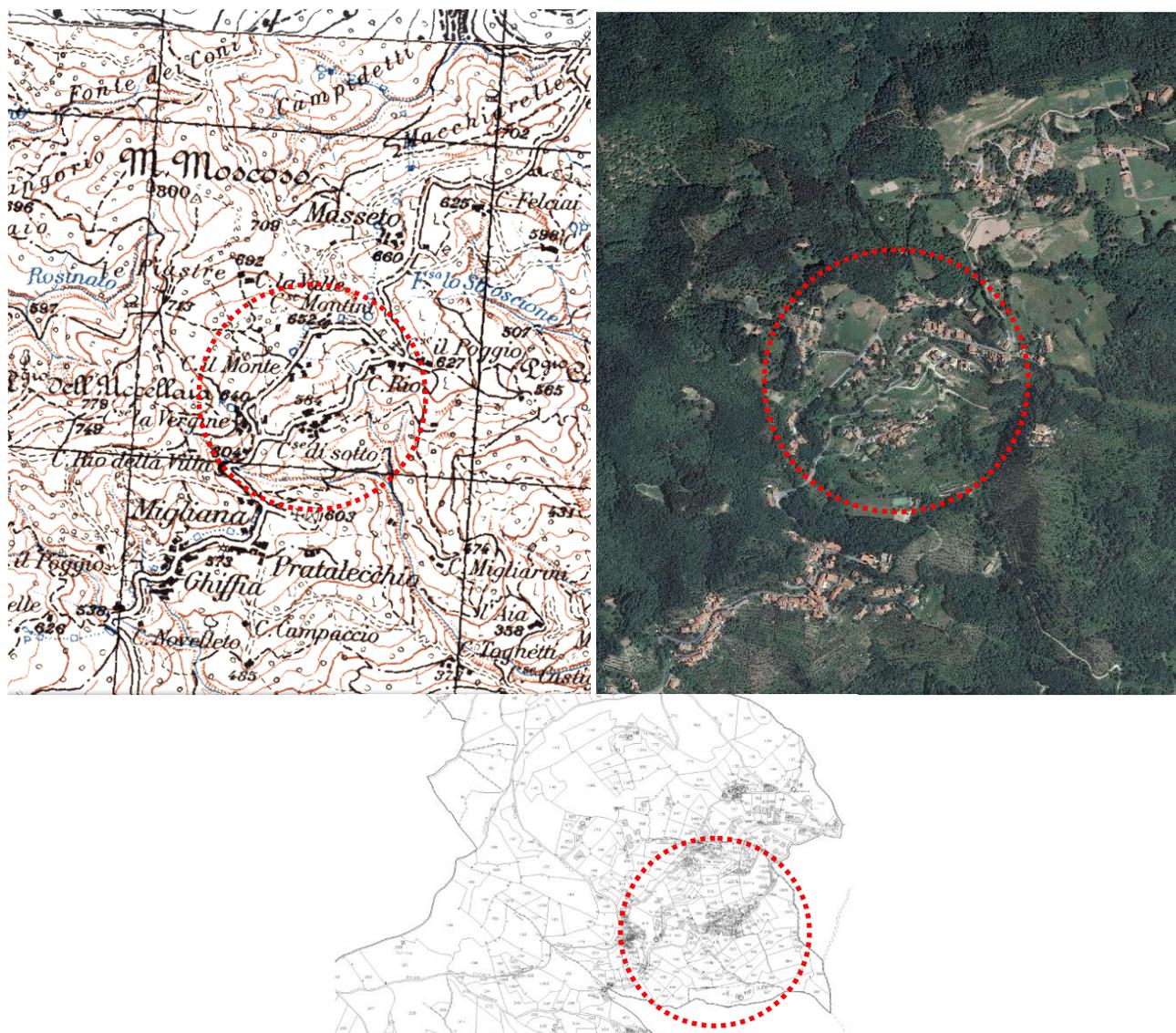


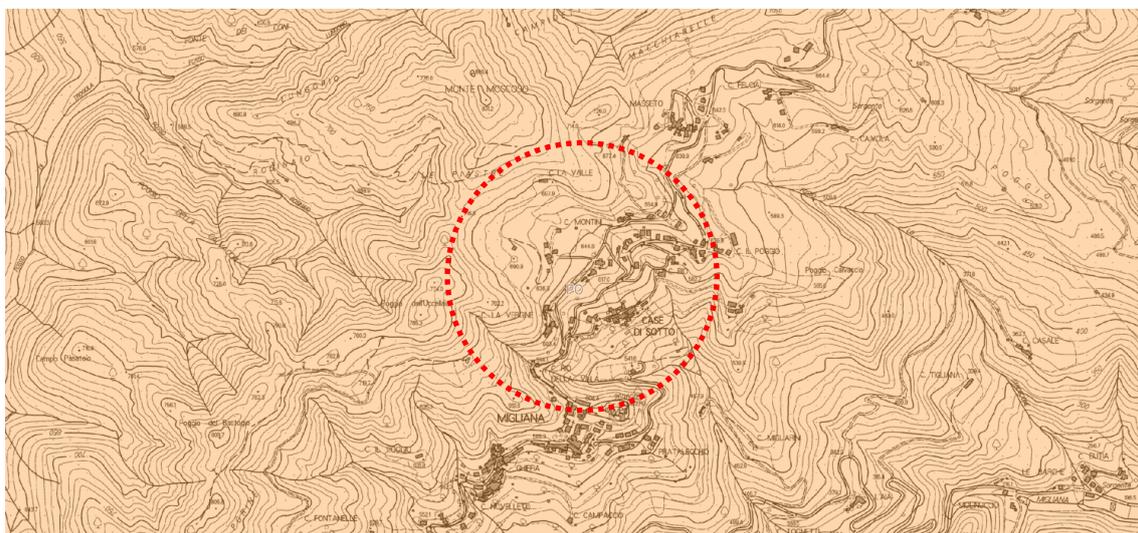
Fig. 1 Inquadramento geografico dell'area d'intervento (IGM scala 1:10.000 - Foto aerea scala 1:5.000 – Catastale 1:1.000).

⁵ Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Geoportale nazionale. <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>.

Il territorio comunale di *Cantagallo* presenta una forma circa triangolare con un allineamento in direzione S – N ed è situato su un altipiano, compreso fra i 300,00 ed i 1.100,00 m. s. l. m. che si estende per una superficie di circa 96 km², ricompreso tra il *Fiume Bisenzio* e la vallata del *Torrente Lumentra di Treppia* e risulta suddiviso in numerose frazioni, tra cui *Migliana* e *Case di Sotto* (603,00 m s. l. m.). Il territorio del comune di *Cantagallo* confina a nord con il limitrofo comune di *Camugnano*, mentre confina ad est ed a sud con i comuni di *Vernio*, *Barberino di Mugello*, *Vaiano*, *Montemurlo* e *Montale*, confina inoltre, ad ovest con i comuni di *Pistoia* e *Sambuca Pistoiese*.

La morfologia del territorio, riconducibile a diversi motivi quali l’assetto giaciturale dei terreni affioranti, la loro composizione litologica e le relative caratteristiche idrauliche, mostra una eterogeneità nelle forme. L’orografia del territorio determina un impiego circa omogeneo dello stesso a favore di un utilizzo residenziale in corrispondenza dei punti sommitali, delle vallate e della rete viaria principale e prettamente agricolo, boschivo e pascolivo nella restante parte del territorio, riconducibile sicuramente ad una vocazione agricola, boschiva e pascoliva storica di questo territorio che in parte resiste ancora.

L’analisi di quanto riportato nella Carta del Vincolo Idrogeologico⁶ ha evidenziato come l’area d’intervento **sia assoggettata** al vincolo stesso (cfr. Fig. 2).



R.D. n.3267/1923

Fig. 2 Carta del vincolo idrogeologico (scala 1:5.000). In evidenza l’area d’intervento.

⁶ Corpo Forestale dello Stato - Regione Toscana (1923). Vincolo idrogeologico ai sensi del R. D. n. 3267 del 30.12.1923 e ss. mm. ii.

http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/servizi/wms/VINCOLO_IDROGEOLOGICO.htm

L’analisi di quanto riportato nel Progetto IFFI ha evidenziato, per quanto riguarda i fenomeni gravitativi di versante⁷, **l’interazione diretta** di forme areali del tipo **scivolamento rotazionale/traslattivo** con stato di attività **attivo** con l’area d’intervento (cfr. Fig. 3).



Fig. 3 Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (scala 1:5.000). In evidenza l’area d’intervento.

L’analisi di quanto riportato nel Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico – Rischio da frana⁸ ha evidenziato come l’area d’intervento ricada in una zona con grado di pericolosità **PF4** (**Molto elevata**) (cfr. Fig. 4).



Fig. 4 Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico – Rischio da frana - Carta della pericolosità. In evidenza l’area d’intervento.

⁷ Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2007). IFFI – Inventario dei fenomeni franosi in Italia. <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/iffi-inventario-dei-fenomeni-franosi-in-italia>.

⁸ Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale (2021). Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico – Rischio da frana. <http://www.appenninoseptentrionale.it/it/>.

L’analisi di quanto riportato nel Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico – Rischio idraulico⁹ ha evidenziato **l’assenza d’interazione diretta** di aree a vario grado di pericolosità con l’area d’intervento con conseguente grado di pericolosità dell’area **PI0 (Nulla)** e rischio **RI0 (Nullo)** (cfr. Fig. 5).



Fig. 5 Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico – Rischio idraulico - Carta della pericolosità. In evidenza l’area d’intervento.

L’analisi di quanto riportato nella Carta Geologica e Geomorfologica di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 - 15.000)¹⁰ ha evidenziato **l’interazione diretta** di forme areali del tipo **frana non definita** e stato di attività **attiva** con l’area d’intervento (cfr. Fig. 6).

⁹ Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale - Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico – Rischio idraulico. <http://www.appenninosettentrionale.it/it/>.

¹⁰ Comune di Cantagallo (2015) - Fondazione Prato Ricerche. Istituto per la ricerca ambientale e la mitigazione dei rischi. Dott. Geol. Andrea Fiaschi, Dott. Geol. Luca Matassoni. Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 – 15.000).

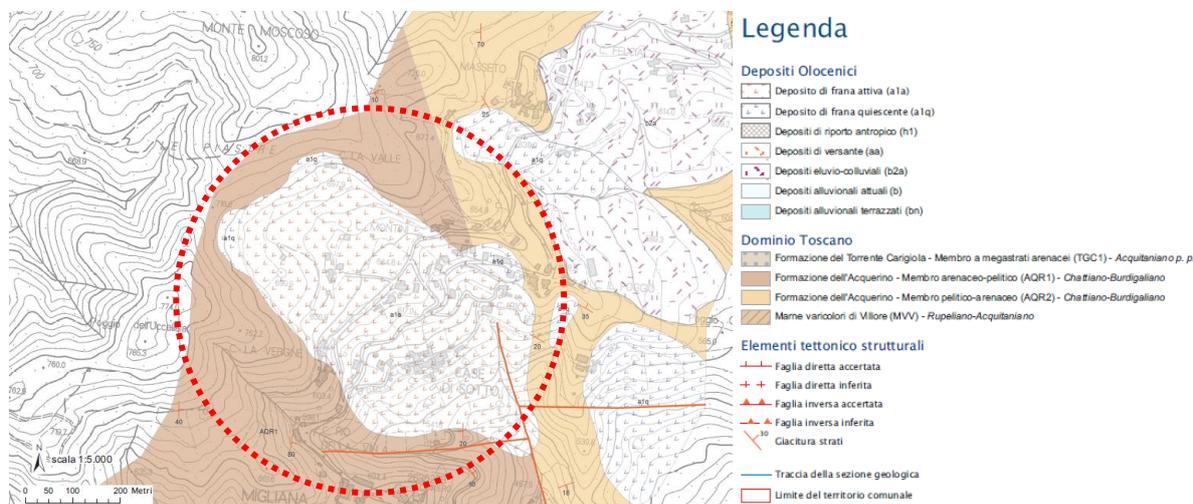


Fig. 6 Carta Geologica e Geomorfologica di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 - 15.000). In evidenza l'area d'intervento.

L'analisi di quanto riportato nella Carta di Sintesi (Scala 1:2.500)¹¹ allegata alla relazione geologica del progetto di fattibilità tecnica ed economica (cfr. Fig. 7) ha evidenziato come l'area interessata dal dissesto sia caratterizzata da movimenti differenziati al proprio interno, con settori attualmente stabili ed altri in movimento sia lungo la superficie di scivolamento principale sia lungo le superfici di scivolamento rotazionale secondarie verso i quadranti sudorientali, nonché da spessori dei cumuli di frana importanti variabili dal 16,0 ai 24,0 m.

L'analisi del monitoraggio geodetico condotto tra il 2014 ed il 2016¹² ha evidenziato come l'area interessata dal dissesto, e quindi sottoposta a monitoraggio, sia caratterizzata da spostamenti verticali e nello specifico ad un abbassamento omogeneo di circa 5 cm.

¹¹ Comune di Cantagallo – Dott. Polverosi (2018). Opere di bonifica per la mitigazione del rischio su versante soggetto a frana in località Case di Sotto - Migliana – Progetto di fattibilità tecnica ed economica - Relazione geologica.

¹² Centria Reti Gas – Dott. Geol. Fiaschi (2016). Frana in località Migliana – Monitoraggio geodetico GPS – Relazione conclusiva.

Centria Reti Gas – Dott. Geol. Fiaschi (2016). Frana in località Migliana – Monitoraggio geodetico GPS – Stato di avanzamento n. 2.

Centria Reti Gas – Dott. Geol. Fiaschi (2014). Frana in località Migliana – Monitoraggio geodetico GPS.

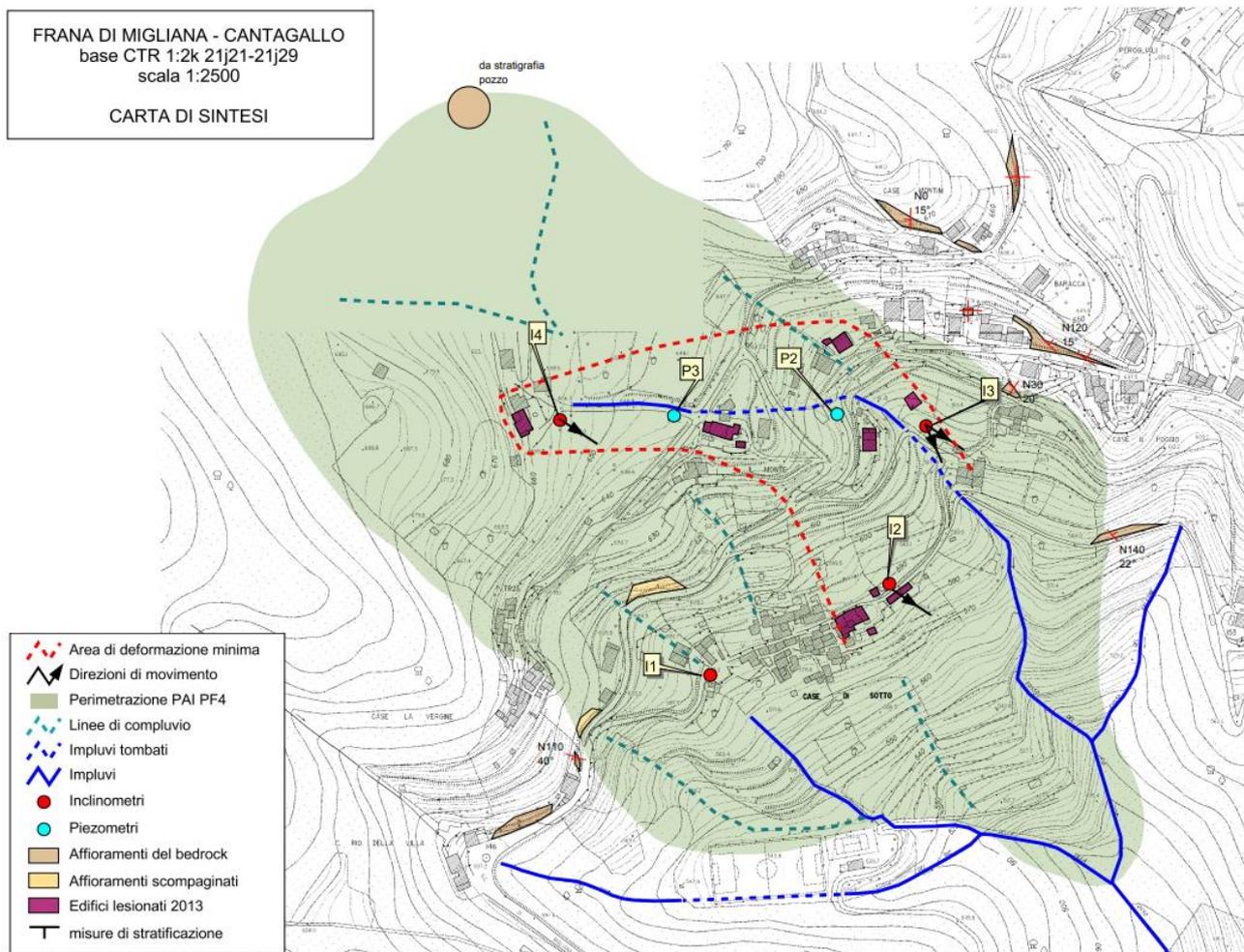
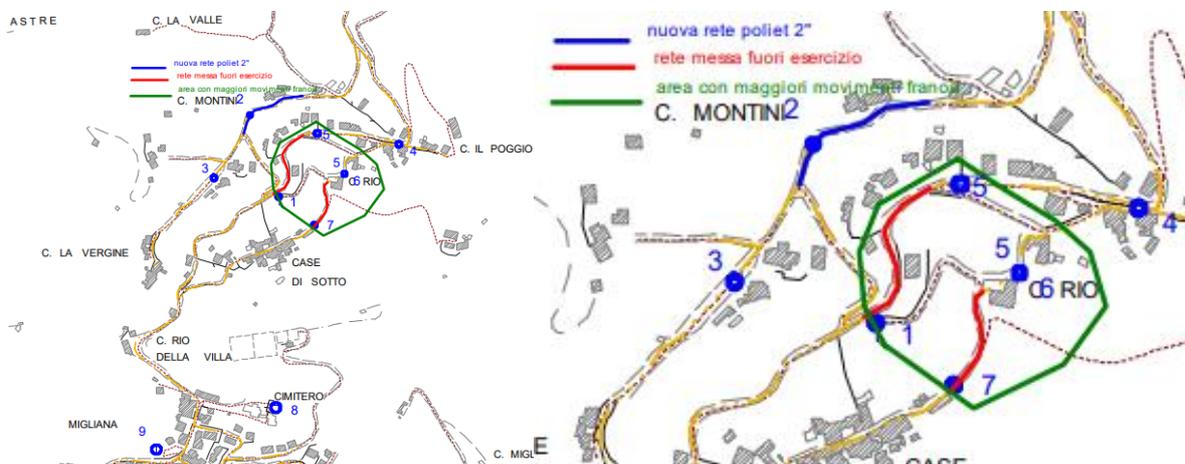


Fig. 7 Carta di Sintesi (Scala 1:2.500) allegata alla relazione geologica del progetto di fattibilità tecnica ed economica.



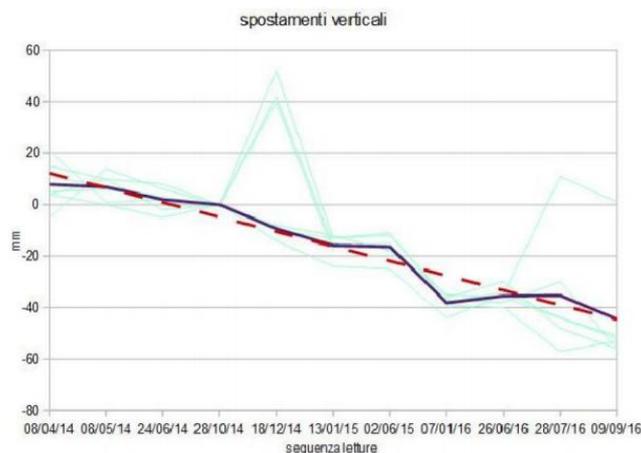


Fig. 8 Monitoraggio geodetico GPS. In evidenza l'ubicazione dei capisaldi, a scala diversa, ed il grafico delle misurazioni relative effettuate.

Il rilevamento geomorfologico¹³ effettuato ha permesso di meglio definire il locale quadro geomorfologico (cfr. **D.01A**) relativamente alle **forme gravitative** (... movimento lungo il versante di masse rocciose (rock), argillose (earth/mud) o detritiche (soil), sotto l'azione della gravità ...) del tipo **forme di erosione** e nello specifico forme lineari del tipo **scarpata principale rotazionale/traslato (GR1)** con stato di attività **attivo** (cfr. Allegato 4B e 4C) e del tipo **forme di accumulo** e nello specifico forme poligonali del tipo **corpo di frana per scorrimento rotazionale (GR19)** (... movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio, di forma curva con concavità verso l'alto...), materiale **detrito** (... aggregato naturale di grani minerali, che può essere facilmente disgregato per agitazione in acqua, costituito prevalentemente da elementi grossolani (dimensioni > 2 mm) ...), contenuto d'acqua **umido** (... presenza di una piccola quantità d'acqua, non libera. Il materiale si comporta come un solido plastico ma non dà luogo a flusso ...), velocità **molto lento** (... alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento ...) (16 mm/anno ÷ 1,6 m/anno), attività **attivo sospeso** (... fenomeno che si è mosso entro l'ultimo ciclo stagionale ma che non si muove

¹³ C. Campobasso, A. Carton, A. Chelli, M. D'Orefice, F. Dramis, R. Graciotti, D. Guida, G. Pambianchi, F. Peduto, L. Pellegrini (2018). Revisione e aggiornamento delle “Linee Guida al Rilevamento della Carta Geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000” e proposta di un modello di cartografia Geomorfologica “a oggetti”.

Ispra – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2018). Quaderni Serie III – Volume 13 – Fascicolo I – Aggiornamento ed integrazioni delle linee guida della carta geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Carta geomorfologica d'Italia 1:50.000 – Progetto CARG: Modifiche ed integrazioni al Quaderno n. 4/1994 (Guida al rilevamento).

Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali – Servizio Geologico (1996). Miscellanea VII. Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione (Versione 1.0).

attualmente ...), distribuzione **confinato** (... movimento in cui è presente una scarpata ma in cui non è visibile la superficie di scorrimento al piede della massa spostata, probabilmente dovuti alla compressione ed al rigonfiamento del materiale al piede ...), stile **singolo** (... fenomeno che consiste in un singolo movimento del materiale spostato, spesso costituito da un unico blocco relativamente intatto ...) e stadio **avanzato** (... il movimento franoso si è innescato ed attualmente si trova in una fase di sviluppo evoluta ...), **forme fluviali** del tipo lineare quale **solco di ruscellamento concentrato** con stato di attività **attivo s. s.** (... fenomeno attualmente in movimento ...), del tipo lineare quale **vallecola a V** con stato di attività **attivo s. s.** (... fenomeno attualmente in movimento ...) e del tipo lineare quale **scarpata di erosione fluviale con altezza < 3 m** con stato di attività **attivo s. s.** (... fenomeno attualmente in movimento ...) e **forme antropiche** del tipo lineare quale **corso d’acqua incanalato artificialmente** e del tipo lineare quale **orlo di terrazzo a muretti o a scarpate**.

Inoltre, l’evoluzione geomorfologica recente dell’area, a partire dal 2013 ad oggi, ha interessato le infrastrutture esistenti, nello specifico la rete viaria, i sottoservizi e l’edificato esistente determinando sia il danneggiamento dello stesso, sia l’evacuazione dello stesso sia la demolizione dello stesso (cfr. Fig. 9).

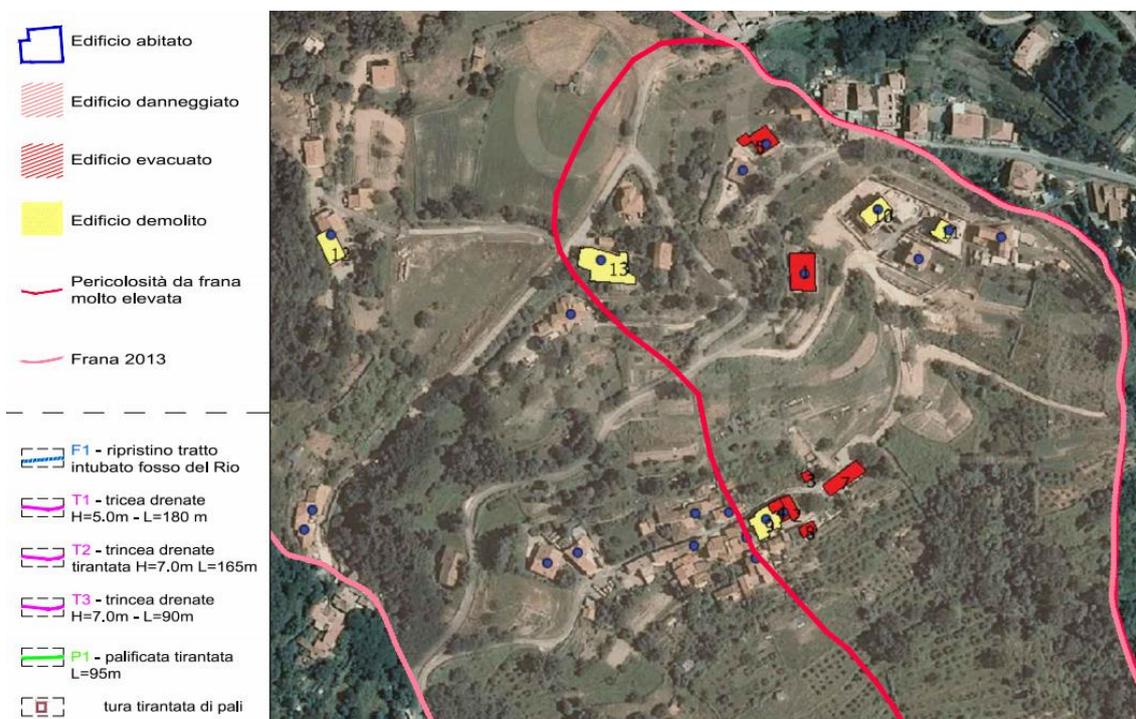


Fig. 9 Progetto di fattibilità tecnica ed economica. Corografia area d’intervento.



Ai fenomeni gravitativi di versante si associa l'azione delle acque meteoriche che in modo diffuso interessano il versante, e nello specifico l'area d'intervento, ed alla luce dell'assenza di una vegetazione omogenea arborea quanto arbustiva infiltrandosi determinano la riattivazione dei fenomeni gravitativi di versante prioritariamente all'interno dei depositi di copertura/riporti per poi via via condizionare negativamente il locale substrato nella sua porzione sia alterata sia integra. La regimazione delle acque meteoriche, al netto del sistema di raccolta ed allontanamento da parte delle opere a tergo del sistema viario, risulta scarso e concentrato nel settore sudorientale dell'area interessata dal dissesto, nonché, rappresentato in sinistra idrografica, settore oggetto di riattivazione dal 2013, dal *Fosso del Rio* caratterizzato da una sua portata per quasi tutti i mesi dell'anno ed in destra idrografica dal *Fosso del Rio della Villa* caratterizzato dall'assenza di acque per quasi tutti i mesi dell'anno.

Dei processi di infiltrazione delle acque meteoriche e della relativa circolazione sotterranea all'interno dei depositi di copertura/riporti nonché dei cumuli di frana, probabilmente oggetto di ulteriori apporti legati alla circolazione sotterranea all'interno del substrato alterato ed integro, **si ha traccia** dai sopralluoghi effettuati e dalle misurazioni dei livelli piezometrici all'interno dei fori strumentati sia bibliografici sia dedicati (**cfr. Allegato 4A**).

3. Geologia

L’analisi della Carta Geologica d’Italia (Scala 1:100.000)¹⁴ (cfr. Fig. 10) ha evidenziato nell’area d’intervento la presenza delle seguenti:

Formazioni marine

SERIE TOSCANA

- **Formazione di Londa (mgL):** Scisti siltosi, subordinatamente marne ed arenarie fini quarzose – feldspatiche e calcaree. Lenti di selce scura. Microfaune oligo - mioceniche, e del Miocene inferiore nella parte alta verso la Sieve. Generalmente al tetto di **mg**. Serie tipo: strada Rincine – Londa – Contea nel F° 107 – IV SESW. *Miocene inf.*;
- **Macigno (mg):** Arenarie torbiditiche quarzoso – feldspatiche alternanti con scisti siltosi. Serie tipo: strada Dudda – Ponte agli Stolli – F° 113, I NE. *Oligocene.*

Le formazioni risultano giustapposte sia stratigraficamente sia tettonicamente e nel dettaglio l’area d’intervento ricade all’interno della formazione **mgL** caratterizzata da una giacitura degli strati immergente verso il quadrante sudoccidentale e da un’inclinazione “... *strati rovesciati* ...” nonché con un assetto a traversopoggio rispetto all’immersione del versante.



¹⁴ Servizio Geologico (1965). Carta Geologica d’Italia (Scala 1:100.000) Foglio 106 - Firenze. http://sgi.isprambiente.it/geologia100k/mostra_foglio.aspx?numero_foglio=106.

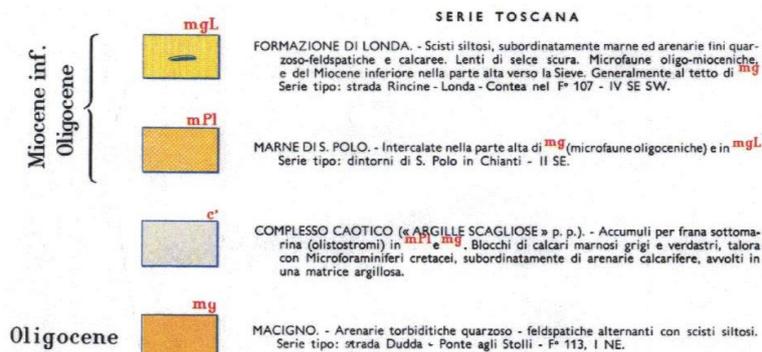


Fig. 10 Carta Geologica d'Italia (Scala 1:100.000). In evidenza l'area d'intervento.

L'analisi della Carta Geologica della Regione Toscana (Scala 1:250.000)¹⁵ (cfr. Fig. 11) ha evidenziato nell'area d'intervento la presenza delle seguenti:

Formazioni marine

Dominio Toscano

Successione non metamorfica

- **Flysch arenacei esterni: arenarie, siltiti, argilliti e marne con olistostromi (30):**
Arenarie di M. Cervarola, Arenarie di Castel Guerrino, Arenarie di M. Falterona, Arenarie del Pratomagno, F.ne di Castiglione dei Pepoli, Marne di Vicchio, Marne di Pievepelago, Marne di Pontecchio, Marne di S. Michele, Marne di Civago, Marne di Marmoretto, Marne di S. Polo. *Chattiano - Langhiano*;

Le formazioni risultano giustapposte stratigraficamente e nel dettaglio l'area d'intervento ricade all'interno della formazione del **Flysch arenacei esterni: arenarie, siltiti, argilliti e marne con olistostromi (30)**, inoltre, non si riscontrano indicazioni volte a definire locali ed eventuali immersioni ed inclinazioni della stratificazione.

¹⁵ Carta Geologica della Regione Toscana (Scala 1:250.000). https://www.regione.toscana.it/geologia/-/asset_publisher/205YgaivGkii/content/banche-dati-cartografia-geologica#Carta%20Geologica%201:250.000%20SGR-UNISI/CGT%20250%20k



Fig. 11 Carta Geologica della Regione Toscana (Scala 1:2500.000). In evidenza l'area d'intervento.

L'analisi di quanto riportato nella Carta Geologica e Geomorfologica di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 – 15.000)¹⁶ ha evidenziato nell'area d'intervento la presenza delle seguenti:

Formazioni continentali

- **Depositi di frana attiva (a1a). Olocene.**

Formazioni marine

Dominio Toscano

- **Formazione dell'Acquerino - Membro arenaceo – pelitico (AQR1). Chattiano - Budigaliano.**
- **Formazione dell'Acquerino - Membro pelitico - arenaceo (AQR2). Chattiano - Budigaliano.**

¹⁶ Comune di Cantagallo (2015) - Fondazione Prato Ricerche. Istituto per la ricerca ambientale e la mitigazione dei rischi. Dott. Geol. Andrea Fiaschi, Dott. Geol. Luca Matassoni. Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 – 15.000).

Le formazioni risultano giustapposte sia stratigraficamente sia tettonicamente e nel dettaglio l'area d'intervento ricade all'interno della **Formazione dell'Acquerino - Membro arenaceo – pelitico (AQR1)** caratterizzata da una giacitura degli strati immergente verso i quadranti sudorientali con un'inclinazione dai 10° ai 40° nonché con un assetto a franapoggio rispetto all'immersione del versante (cfr. Fig. 12).

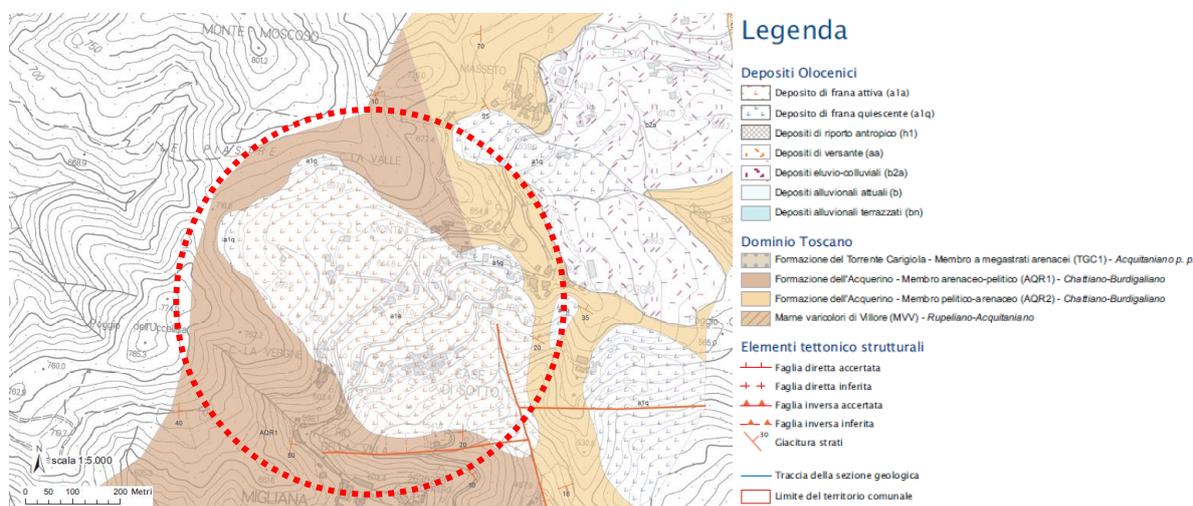


Fig. 12 Carta Geologica e Geomorfologica di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 – 15.000). In evidenza l'area d'intervento.

L'analisi di quanto riportato nella Carta Geologica - Tecnica di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 – 15.000)¹⁷ ha evidenziato nell'area d'intervento la presenza dell'unità geologica - tecnica del tipo **ALS** (Alternanza di litotipi stratificato) caratterizzata da una giacitura degli strati immergente verso i quadranti sudorientali con un'inclinazione dai 10° ai 40° nonché con un assetto a franapoggio rispetto all'immersione del versante (cfr. Fig. 13).

¹⁷ Comune di Cantagallo (2015) - Fondazione Prato Ricerche. Istituto per la ricerca ambientale e la mitigazione dei rischi. Dott. Geol. Andrea Fiaschi, Dott. Geol. Luca Matassoni. Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 – 15.000).

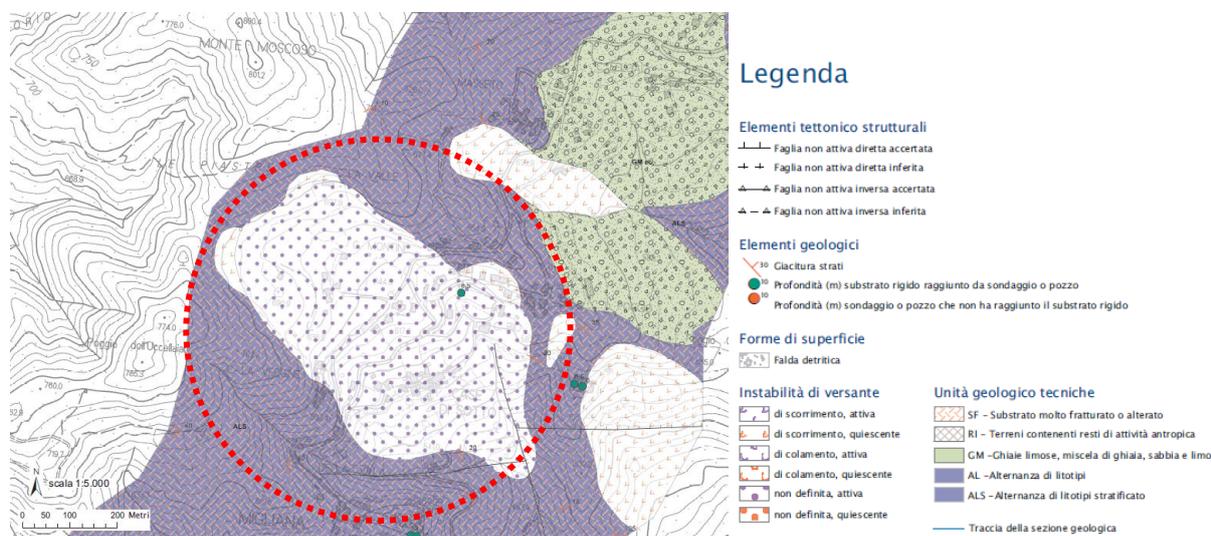


Fig. 13 Carta Geologico – Tecnica di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 – 15.000). In evidenza l’area d’intervento.

Il rilevamento geologico condotto ha permesso, dall’esame dei litotipi affioranti e dai risultati delle indagini dirette bibliografiche (cfr. Allegato 1B, 1C e 1D) e dedicate (cfr. Allegato 1E), di confermare la presenza, oltre che dei **depositi di frana attiva**, della **Formazione dell’Acquerino - Membro arenaceo – pelitico (AQR1)** e della **Formazione dell’Acquerino - Membro pelitico - arenaceo (AQR2)** (cfr. D.01A) coerentemente con la Carta Geologico- Tecnica di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 - 15.000), e di definire la locale stratigrafia relativamente ai cumuli di frana attiva (CFA), ai depositi di copertura/riporti (DC/R), al substrato nella sua porzione alterata (SA) ed al substrato nella sua porzione integra (SI) e di analizzare il locale quadro litostratigrafico anche in termini di spessori dei litotipi rinvenuti. Inoltre, la formazione di base è caratterizzata da una giacitura degli strati immergente verso i quadranti sudorientali con un’inclinazione dai 10° ai 40° nonché con un assetto a franapoggio rispetto all’immersione del versante.

Nello specifico si individuano le seguenti unità geologico – tecniche (cfr. Tabella 1):

- **Cumulo di frana attiva (CFA):** unità derivante dall’azione della gravità e caratterizzata da uno stato di attività attivo, costituita per lo più da limo argilloso sabbioso di colore secondario avana chiaro (Munsell 10YR 9/2), avana scuro (Munsell 10YR 8/6), bruno (Munsell 10YR 4/2) e marrone chiaro (Munsell 2.5R 7/12), dove prevale la componente sabbiosa, privo di strutture primarie e con

strutture secondarie del tipo alterazioni, con grado di consistenza pari a molto consistente e con inclusi elementi argilloso marnosi ed arenacei di colore primario avana scuro (Munsell 10YR 8/6) e grigio scuro (Munsell N4/), da millimetrici a metrici (massimo 3 m), con strutture primarie del tipo laminazione piano parallela, subangolari ed integri. Facies deposizionale di ambiente continentale (p. c. ÷ - 6,40/30,00 m);

- **Deposito di copertura/Ripporto (DC/R):** unità derivante dal disfacimento del locale substrato e da attività antropica, costituita per lo più da limo argilloso sabbioso limo di colore secondario avana scuro (Munsell 10YR 8/6), privo di strutture primarie e con strutture secondarie del tipo alterazioni, con grado di consistenza pari a consistente, con inclusi elementi argilloso marnosi ed arenacei di colore primario grigio scuro (Munsell N4/) da millimetrici a centimetrici (massimo 10 cm), con strutture primarie del tipo laminazione piano parallela, subangolari, integri e con inclusi resti di laterizi di colore primario marrone chiaro (Munsell 2.5R 7/12), da millimetrici a centimetrici (massimo 10 cm), subangolari ed integri e con inclusi rari frustoli vegetali di colore primario marrone (Munsell 5R 3/6), millimetrici ed integri. Facies deposizionale di ambiente continentale (p. c. ÷ - 1,00/2,80 m);
- **Substrato alterato (SA):** unità derivante dall'alterazione del locale substrato costituita per lo più da limo argilloso sabbioso di colore primario grigio scuro (Munsell N4/) e di colore secondario avana chiaro (Munsell 10YR 9/2), avana scuro (Munsell 10YR 8/6) ed ocre (Munsell 10YR 7/12), dove prevale la componente sabbiosa, debolmente strutturato con strutture primarie del tipo laminazione piano parallela, con grado di consistenza pari a molto consistente, con arenarie di colore primario grigio scuro (Munsell N4/), debolmente strutturate con strutture primarie del tipo laminazione piano parallela e con grado di consistenza pari a molto consistente e con marne argillose di colore primario grigio scuro (Munsell N4/) e di colore secondario avana scuro (Munsell 10YR 8/6), debolmente strutturate con strutture primarie del tipo laminazione piano parallela e con grado di consistenza pari a molto consistente. Facies deposizionale di ambiente marino (- 6,40/15,00 m ÷ - 18,00/19,00);

- **Substrato integro (SI):** unità costituita per lo più da arenarie, marne calcaree e calcare marnoso di colore primario grigio scuro (Munsell N4/), centimetrici (massimo 8 cm), con strutture primarie del tipo laminazione piano parallela con angolo di 45°, con grado di consistenza pari a molto consistente e marna argillosa di colore primario grigio scuro (Munsell N4/), ben strutturata con strutture primarie del tipo laminazione piano parallela e con grado di consistenza pari a molto consistente e con livelli limo argilloso sabbiosi di colore primario grigio scuro (Munsell N4/) e di colore secondario avana scuro (Munsell 10YR 8/6). Facies deposizionale di ambiente marino (> - 12,00/30,00 m).

In superficie, come riscontrato in corrispondenza degli affioramenti, i litotipi sono oggetto di processi pedogenetici, antropici e gravitativi che danno origine a depositi di copertura/riporti (**DC/R**) e cumuli di frana attiva (**CFA**) aventi uno spessore variabile per poi cedere il passo in profondità al substrato nella sua porzione prima alterata (**SA**) e poi integra (**SI**).

La ricostruzione di sezioni (**cf. Tavola 2A e 2B**), opportunamente orientate (**cf. D.01A**), ha permesso di estendere arealmente i dati puntuali addivenendo ad una corretta interpretazione del locale assetto geologico - tecnico evidenziando appunto come i depositi di copertura/riporti (**DC/R**) ed i cumuli di frana attiva (**CFA**) con la loro variabilità laterale di spessore caratterizzano l'intero versante e rappresentano il principale elemento destabilizzante dello stesso oltre a favorire, al proprio interno, forme di circolazione idrica a seguito delle precipitazioni meteoriche, anch'esse destabilizzanti e probabilmente oggetto di ulteriori apporti legati alla circolazione sotterranea all'interno del substrato alterato ed integro, comunque **rinvenute** in fase di sopralluogo ed in fase di misurazione dei livelli piezometrici all'interno dei fori strumentati sia bibliografici sia dedicati (**cf. Allegato 4A**).

Tabella 1 Unità geologico – tecnico dell'area d'intervento.

FORMAZIONE	UNITÀ GEOLOGICO - TECNICA	INDAGINI DEDICATE							
		(Sigla – Profondità (m dal p. c.))							
		S1-2021	S2-2021	S3-2021	S4-2021	S5-2021	S6-2021	S7-2021	S8-2021
AQR1 / AQR2	DC/R	- 0,00 ÷ 1,00	-	-	-	-	- 0,00 ÷ 2,80	-	-
a1a	CFA	- 1,00 ÷ 30,00>>	- 0,00 ÷ 22,80	- 0,00 ÷ 21,40	- 0,00 ÷ 17,50	- 0,00 ÷ 21,00>>	- 2,80 ÷ 6,40	- 0,00 ÷ 19,50	- 0,00 ÷ 18,00
AQR1 / AQR2	SA	-	-	-	-	-	- 6,40 ÷ 15,00	-	- 18,00 ÷ 19,00
AQR1 / AQR2	SI	-	> - 22,80	-	> - 17,50	-	> - 15,00	> - 19,50	> - 19,00

FORMAZIONE	UNITÀ GEOLOGICO - TECNICA	INDAGINI BIBLIGRAFICHE									
		(Sigla – Profondità (m dal p. c.))									
		S1-2004	S1-2013	S2-2013	S3-2013	P2-2017	P3-2017	I1-2017	I2-2017	I3-2017	I4-2017
AQR1 / AQR2	DC/R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
a1a	CFA	- 0,00 ÷ 10,00>>	- 0,00 ÷ 14,80	- 0,00 ÷ 19,20	- 0,00 ÷ 20,00	- 0,00 ÷ 15,00	- 0,00 ÷ 15,00	- 0,00 ÷ 12,00	- 0,00 ÷ 17,00	- 0,00 ÷ 20,00	- 0,00 ÷ 24,00
AQR1 / AQR2	SA	-	- 14,80 ÷ 20,00	- 19,20 ÷ 22,10	-	-	-	-	-	-	-
AQR1 / AQR2	SI	-	-	> 22,10	-	-	-	> 12,00	> 17,00	> 20,00	> 24,00

4. Idrogeologia

L’abitato di *Cantagallo* è ubicato in corrispondenza di un altipiano con i suoi 423,00 m s. l. m. in corrispondenza della casa comunale e quote minime pari a 150,00 m s. l. m. e massime pari 1.223,00 m s. l. m.¹⁸.

Il territorio comunale è delimitato ad oriente dal corso del *F. Bisenzio* allineato in direzione circa N - S e nel suo tratto iniziale caratterizzante in modo importante il settore centrale del territorio comunale con allineamento in direzione circa SW – NE per poi piegare verso sud in corrispondenza dell’abitato di *Mercatale di Vernio*, mentre ad occidente è delimitato dal corso del *Torrente Lumentra di Treppia* allineato in direzione circa S - N ed immissario del *Lago di Suviana*.

Numerosi poi i corsi d’acqua che svolgono un’azione di drenaggio dell’area d’intervento e nello specifico, il versante orientale del crinale su cui si erge l’abitato di *Migliana* risulta caratterizzato dalla presenza del *T. di Migliana* allineato in direzione NW – SE ed affluente in destra del *F. Bisenzio*, mentre il versante occidentale del crinale su cui si erge, ad oriente, l’abitato di *Migliana* risulta caratterizzato dalla presenza del *F.so di Rosinalo* affluente in destra del del *F. Bisenzio* (cfr. Fig. 14).

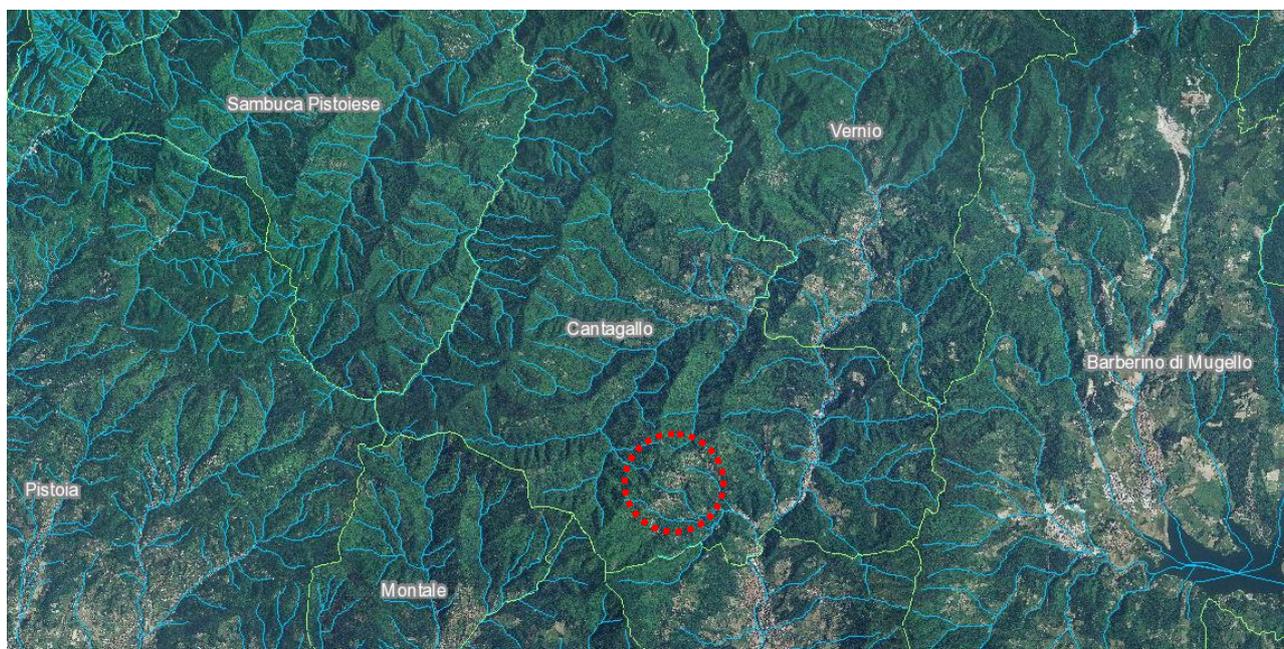


Fig. 14 Territorio comunale di *Cantagallo* e distribuzione del sistema idrografico principale e secondario.

¹⁸ <http://www.comuni-italiani.it/>.

I corsi d’acqua che solcano il fondovalle a loro volta ricevono gli apporti di innumerevoli fossi e solchi di erosione concentrati che, contribuendo in modo significativo al drenaggio delle acque superficiali, determinano con i loro apporti le massime portate di piena.

L’area d’intervento ricade all’interno dell’**Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale** e nello specifico all’interno del **Bacino Idrografico del Fiume Arno**¹⁹.

A seguito di specifici sopralluoghi effettuati in modo congiunto tra il progettista, il rappresentante del committente e lo scrivente si è deciso ad integrazione delle indagini dirette bibliografiche (cfr. **Allegato 1D**) per cui si ha a disposizione, e si è potuto nuovamente misurare, il relativo livello piezometrico (cfr. **Tabella 2 ed Allegato 4A e 4C**) di **predisporre** uno specifico programma indagini dirette dedicate oggetto di variazione in fase esecutiva (cfr. **Allegato 1E**) per cui si è potuto procedere alla misurazione del relativo livello piezometrico (cfr. **Tabella 2 ed Allegato 4A e 4C**). Ai dati a disposizione si sono aggiunti i livelli piezometrici rilevati in fase di esecuzione delle indagini dirette dedicate non oggetto di allestimento a piezometri, tra qui quelli relativi al sondaggio S6-2020 che in fase di esecuzione ha evidenziato la presenza di una **falda confinata in pressione** a - 15,00 m dal p. c. (cfr. **Allegato 4A e 4C**).

Tabella 2 Rete piezometrica installata nell’area d’intervento.

	Sigla	UNITÀ GEOLOGICO - TECNICA	Tipo di piezometro	Profondità tratto drenante (m da p. c.)
INDAGINI BIBLIOGRAFICHE	P2-2017	CFA	Tubo aperto	- 4,00 ÷ 15,00
	P3-2017	CFA	Tubo aperto	- 10,00 ÷ - 15,00
INDAGINI DEDICATE	S1-2020	CFA	Tubo aperto	- 3,00 ÷ - 18,00
		CFA	Casagrande	- 23,00 ÷ - 26,00
	S2-2020	CFA	Tubo aperto	- 3,00 ÷ - 21,00
		CFA/SI	Casagrande	- 21,00 ÷ - 24,50
	S3-2020	CFA	Tubo aperto	- 3,00 ÷ - 30,00
		SI	Casagrande	- 22,50 ÷ - 30,00

¹⁹ Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Geoportale nazionale. <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>.

Nello specifico l'area d'intervento è caratterizzata dalla presenza dei seguenti complessi idrogeologici (cfr. **D.01B**):

- **Complesso Idrogeologico della Frana di Migliana – Case di Sotto (C-FRA)**: costituito da limo argilloso sabbioso di colore secondario avana chiaro (Munsell 10YR 9/2), avana scuro (Munsell 10YR 8/6), bruno (Munsell 10YR 4/2) e marrone chiaro (Munsell 2.5R 7/12), dove prevale la componente sabbiosa, privo di strutture primarie e con strutture secondarie del tipo alterazioni, con grado di consistenza pari a molto consistente e con inclusi elementi argilloso marnosi ed arenacei di colore primario avana scuro (Munsell 10YR 8/6) e grigio scuro (Munsell N4/), da millimetrici a metrici (massimo 3 m), con strutture primarie del tipo laminazione piano parallela, subangolari ed integri. Il complesso è contraddistinto da una permeabilità di tipo **primaria per porosità** e di grado **medio – alto** (cfr. **D.01B**);
- **Complesso Idrogeologico della Formazione dell'Acquerino (C-AQR)**: costituito per lo più da arenarie, marne calcaree e calcare marnoso di colore primario grigio scuro (Munsell N4/), centimetrici (massimo 8 cm), con strutture primarie del tipo laminazione piano parallela con angolo di 45°, con grado di consistenza pari a molto consistente e marna argillosa di colore primario grigio scuro (Munsell N4/), ben strutturata con strutture primarie del tipo laminazione piano parallela e con grado di consistenza pari a molto consistente e con livelli limo argilloso sabbiosi di colore primario grigio scuro (Munsell N4/) e di colore secondario avana scuro (Munsell 10YR 8/6). Il complesso idrogeologico è contraddistinto da orizzonti con permeabilità di tipo **secondaria per fratturazione** è caratterizzati da un **grado di permeabilità medio - alto** frapposto ad orizzonti con permeabilità di tipo **primaria per porosità** è caratterizzati da un **grado di permeabilità da basso a nullo** (cfr. **D.01B**). Questo assetto da origine ad un **acquifero multistrato** e quindi ad una moltitudine di piccole sorgenti essendo la circolazione idrica sotterranea molto frazionata.

Il locale assetto topografico, caratterizzato da un'immersione verso i quadranti sudorientali, fa sì che il **Complesso Idrogeologico della Frana di Migliana – Case di Sotto (C-FRA)** sia

contraddistinto da una **falda libera** con gradiente verso i quadranti sudorientali mentre il locale assetto stratigrafico, caratterizzato da un assetto a franapoggio rispetto all’immersione del versante, fa sì che il **Complesso Idrogeologico della Formazione dell’Acquerino (C-AQR)** sia contraddistinto da una o più **falde confinate in pressione** con un gradiente verso i quadranti sudorientali (cfr. D.01B).

I due acquiferi molto probabilmente vengono in contatto in corrispondenza del contatto tra i cumuli di frana ed il sottostante substrato integro ed è proprio lungo questa fascia che gli apporti provenienti dalle falde confinate in pressione di substrato svolgono un’azione **penalizzante** nei confronti della massa già oggetto di mobilitazione.

Le unità geologico tecniche individuate in corrispondenza dell’area d’intervento presentano una permeabilità di tipo **primaria per porosità** e di grado **medio - alto** (DC/R e CFA) (10^{-1} m/s < k < 10^{-5} m/s) (cfr. Fig. 15 e Fig. 16), coerentemente con i parametri riscontrati sui campioni prelevati, tale da favorire l’infiltrazione delle acque meteoriche per cui, sono ipotizzabili circolazioni idriche all’interno degli stessi anche a seguito di precipitazioni meteoriche di modesta entità che comunque in sede di sopralluogo, di esecuzione delle indagini dirette bibliografiche e dedicate e di monitoraggio piezometrico (cfr. Allegato 4A) **sono state rinvenute**, passanti in profondità a litotipi caratterizzati da una permeabilità sia di tipo **primaria per porosità** e di grado **da basso a nullo** (SA – SI) sia di tipo **secondaria per fratturazione** e di grado **medio - alto** (SA – SI) tale da favorire circolazioni idriche all’interno degli stessi che comunque in sede di sopralluogo, di esecuzione delle indagini dirette bibliografiche e dedicate e di monitoraggio piezometrico (cfr. Allegato 4A e 4C) **sono state rinvenute**.

k (cm/s)	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi		Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte		
Determinazione diretta di K	Prove dirette in situ mediante pompaggio											
	Infiltrometri – Permeametri a carico costante											
Determinazione indiretta di K	Permeametri a carico variabile											
	Analisi granulometrica (applicabile a sabbie e ghiaie pulite)						Prove di consolidamento					

Fig. 15²⁰ Coefficienti di permeabilità rapportati alle classi di permeabilità ed al tipo di terreno.

²⁰ Pitagora Editrice – Mario Casadio, Carlo Elmi (1999). Il manuale del geologo.

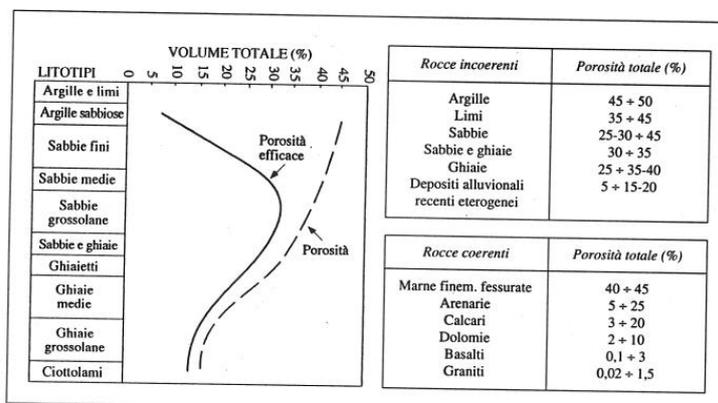


Fig. 16²¹ Porosità rapportata al tipo dei terreni.

Le elaborazioni geostatistiche condotte sui dati piezometrici misurati, previa discretizzazione in funzione del complesso idrogeologico oggetto di monitoraggio, hanno permesso di individuare due tipologie di falde. Nello specifico una **falda libera** all'interno del complesso idrogeologico caratterizzante l'area d'intervento relativamente alla sua porzione in frana (**C-FRA**) ed una o più **falde confinate in pressione** all'interno del complesso idrogeologico caratterizzante l'area d'intervento relativamente alla sua porzione non in frana (**C-AQR**) (cfr. **D.01B**).

²¹ Pitagora Editrice – Mario Casadio, Carlo Elmi (1999). Il manuale del geologo.

5. Geotecnica

A seguito di specifici sopralluoghi effettuati in modo congiunto tra il progettista, il rappresentante del committente e lo scrivente si è deciso ad integrazione delle indagini dirette bibliografiche (cfr. **Allegato 1A, 1B, 1C e 1D**) (cfr. **Tabella 3**) di **predisporre** uno specifico programma indagini dirette dedicate oggetto di variazione in fase esecutiva (cfr. **Allegato 1E**) (cfr. **Tabella 4**) e ad integrazione delle analisi di laboratorio bibliografiche (cfr. **Allegato 3A**) (cfr. **Tabella 5**) di **predisporre** uno specifico programma di analisi di laboratorio dedicate oggetto di variazione in fase esecutiva (cfr. **Allegati 3B**) (cfr. **Tabella 5**) che ha visto:

- l'esecuzione di n. 8 sondaggi verticali a rotazione e carotaggio continuo di cui n. 3 strumentati a piezometro a Tubo aperto e Casagrande (cfr. **Allegato 1E**);
- il prelievo di n. 2 campioni indisturbati (Q5) prelevati mediante campionatore a pistone o rotativo (S1C1= 10,30 m da p. c. (rappresentativo del cumulo di frana attivo (CFA)) e S1C2= 20,00 m dal p. c. (rappresentativo del cumulo di frana attivo (CFA))) e relative analisi di laboratorio (cfr. **Allegato 3B**).

Sulle carote sono state condotte prove geotecniche in situ del tipo:

- prove con penetrometro tascabile (pocket penetrometer test) (cfr. **Fig. 17**);
- prove con scissometro tascabile (vane test).

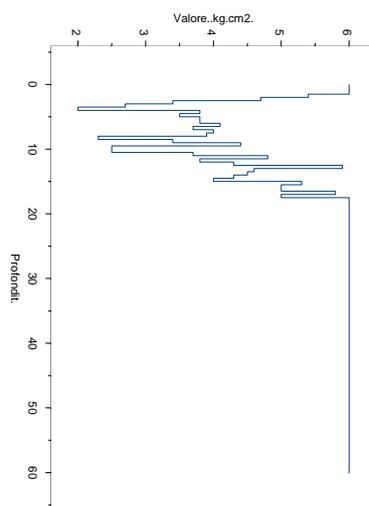


Fig. 17 Grafico tipo profondità (m) / resistenza al taglio in condizioni non drenate.

Le prove con pocket penetrometer test in situ sono assimilabili a delle prove di carico con espansione laterale libera e dalle stesse è possibile procedere ad una misura della resistenza al taglio in condizioni non drenate e quindi ad una stima della coesione non drenata (C_u)²² e della relativa consistenza (cfr. Fig. 18).

Pocket (Kg/cm ²)	Consistenza
< 0.25	Molto molle
0.25 – 0.50	Molle
0.50 – 1.00	Plastico
1.00 – 2.00	Consistente
2.00 – 4.00	Molto consistente
> 4.00	Duro

Fig. 18 Classificazione del terreno sulla base delle resistenze misurate con pocket penetrometer test.

Le prove con vane test in situ sono assimilabili a delle prove triassiali di compressione, consolidate anisotropicamente e non drenate e dalle stesse è possibile procedere ad una misura della resistenza al taglio in condizioni non drenate (S_u)²³ e quindi ad una stima della coesione non drenata (C_u)²⁴.

I campioni così prelevati sono stati sottoposti alle seguenti analisi di laboratorio:

- descrizione macroscopica e caratteristiche fisiche;
- analisi granulometrica;
- contenuto d'acqua;
- prova di taglio diretto (TD C-D);
- prova di espansione laterale libera (ELL).

Ciò ha permesso di addivenire alla definizione dei seguenti parametri:

- peso per unità di volume naturale (γ_{nat}) (Kg/cm³);

²² $C_u = \tau/2$ dove C_u è la coesione non drenata e τ è la resistenza al taglio in condizioni non drenate.

²³ $S_u = T/K$ dove “ S_u ” è la resistenza al taglio non drenata, “ T ” è il momento torcente massimo misurato e “ K ” la costante dello strumento utilizzato.

²⁴ $C_u = \tau/2$ dove “ C_u ” è la coesione non drenata e “ τ ” è la resistenza al taglio in condizioni non drenate.

- peso per unità di volume saturo (γ_{sat}) (Kg/cm^3);
- angolo di attrito drenato efficace (ϕ') (gradi);
- angolo di attrito non drenato (ϕ) (gradi);
- coesione drenata efficace (C') (Kg/cm^2);
- coesione non drenata (C_u) (Kg/cm^2).

Tabella 3 Indagini dirette bibliografiche.

Tipo di indagine	Quantità	Sigla	Profondità da p. c. (m)	Prove in foro – SPT (Sigla - Profondità da p. c. - Colpi – NSPT – Unità geologico - tecnica)	Prelievo campioni a profondità da p. c. (m)	Condizionamento foro
Prova penetrometrica statica	1	CPT1_2008	2,60	-	-	-
Prova penetrometrica dinamica media	10	DPM1A - 2003	4,00	-	-	-
		DPM1B - 2003	0,60	-	-	-
		DPM1 - 2003	0,70	-	-	-
		DPM2A - 2003	3,60	-	-	-
		DPM3 - 2003	6,70	-	-	-
		DPM1 - 2006	5,00	-	-	-
		DPM2 - 2006	7,50	-	-	-
		DPM1 - 2007	7,10	-	-	-
		DPM2 - 2007	4,80	-	-	-
Prova penetrometrica dinamica super pesante	8	DPSH1 - 1997	8,80	-	-	-
		DPSH2 - 1997	10,00	-	-	-
		DPSH3 - 1997	10,00	-	-	-
		DPSH1 - 2004	8,70	-	-	-
		DPSH2 - 2004	6,30	-	-	-
		DPSH1 - 06.2008	6,40	-	-	-
		DPSH2 - 06.2008	5,20	-	-	-
		DPSH1 - 10.2008	5,80	-	-	-



Opere di bonifica per la mitigazione del rischio su versante soggetto a frana in località Case di Sotto - Migliana

Progetto esecutivo

Relazione geologica

(L. R. n. 65 del 10.11.2014 e ss. mm. ii. e D. G. R. n. 663 del 20.05.2019)

(D. Lgs. n. 50 del 18.04.2016 art. 23 “Livelli della progettazione per gli appalti, per le concessioni di lavori nonché per i servizi” e ss. mm. ii.)

(D. P. R. n. 207 del 05.10.2010 e ss. mm. ii.)

(D. M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»” e ss. mm. ii.)

(R. D. n. 3267 del 30.12.1923 e ss. mm. ii.)

Tipo di indagine	Quantità	Sigla	Profondità da p. c. (m)	Prove in foro – SPT (Sigla - Profondità da p. c. - Colpi – NSPT – Unità geologico - tecnica)				Prelievo campioni a profondità da p. c. (m)	Condizionamento foro
				Sigla	Profondità	Colpi	NSPT		
Sondaggio verticale a rotazione e carotaggio continuo	10	S1+DH - 2013	20,00	S1-SPT1	7,60	8 - 8 - 11	Nspt= 19	-	Attrezzato per prova sismica in foro del tipo down hole
				S1-SPT2	11,20	10 - 22 - 40	Nspt= 62		
				S1-SPT3	15,00	30 - 35 - 42	Nspt= 77		
		S2+DH - 2013	23,00	S2-SPT1	9,00	19 - 21 - 22	Nspt= 43	-	Attrezzato per prova sismica in foro del tipo down hole
				S2-SPT2	13,00	15 - 50 - 13	Nspt= 63		
		S3+DH - 2013	20,00	S3-SPT1	9,00	22 - 31 - 22	Nspt= 53	-	Attrezzato per prova sismica in foro del tipo down hole
				S3-SPT2	12,00	12 - 14 - 16	Nspt= 30		
		S1 - 2004	8,50	-				-	-
		I1 - 2017	20,00	I1-SPT1	2,00	4 - 5 - 4	Nspt= 9	I1C1= 2,00	Attrezzato ad inclinometro
				I1-SPT2	4,50	5 - 7 - 12	Nspt= 19	I1SH1= 3,00	
				I1-SPT3	16,80	50 - Rif. 5 cm	-	I1C2= 4,50	
		I2 - 2017	39,00	I2-SPT1	3,00	12 - 19 - 13	Nspt= 32	I2C1= 3,00	Attrezzato ad inclinometro
				I2-SPT2	5,00	21 - 35 - 17	Nspt= 52	I2C2= 5,00	
				I2-SPT3	7,00	38 - Rif.	-	I2C3= 7,00	
		I3 - 2017	30,50	-				I3SH1= 2,80	Attrezzato ad inclinometro
-				I3SH2= 4,20					
-				I3SH3= 10,20					
I4 - 2017	34,00	I4-SPT1	2,10	5 - 5 - 7	Nspt= 12	I4C1= 2,10	Attrezzato ad inclinometro		
		I4-SPT2	4,30	14 - 14 - 12	Nspt= 26	I4SH1= 4,00			
		I4-SPT3	6,00	13 - Rif.	-	I4C2= 4,30 I4C3= 6,00			
P2 - 2017	15,00	-				P2SH1= 3,30 P2SH2= 5,00 P2SH3= 9,30	Attrezzato a piezometro del tipo Tubo aperto		
P3 - 2017	15,00	-				P3SH1= 3,10	Attrezzato a piezometro del tipo Tubo aperto		

Tabella 4 Indagini dirette dedicate.

Tipo di indagine	Quantità	Sigla	Profondità da p. c. (m)	Prove in foro – SPT (Sigla - Profondità da p. c. - Colpi – NSPT – Unità geologico - tecnica)				Prelievo campioni a profondità da p. c. (m)	Condizionamento foro
				Sigla	Profondità	Colpi	NSPT		
Sondaggio verticale a rotazione e	8	S1 - 2020	30,00	S1-SPT1	4,60	8 - 10 - 11	Nspt= 21	S1C1= 10,30	Attrezzato a piezometro del tipo Tubo aperto e Casagrande
				S1-SPT2	10,80	10 - 15 - 21	Nspt= 36	S1C2= 20,00	
				S1-SPT3	15,50	9 - 13 - 15	Nspt= 28	-	

Tipo di indagine	Quantità	Sigla	Profondità da p. c. (m)	Prove in foro – SPT (Sigla - Profondità da p. c. - Colpi – NSPT – Unità geologico - tecnica)				Prelievo campioni a profondità da p. c. (m)	Condizionamento foro
				S2-SPT1	S2-SPT2	S2-SPT3	S2-SPT3		
carotaggio continuo	S2 - 2020	30,00	S2-SPT1	5,00	Rif. 5 cm	Nspt= -	-	Attrezzato a piezometro del tipo Tubo aperto e Casagrande	
			S2-SPT2	10,50	Rif. 5 cm	Nspt= -	-		
			S2-SPT3	17,00	Rif. 5 cm	Nspt= -	-		
	S3 - 2020	30,00	S3-SPT1	5,50	19 - 19 - 24	Nspt= 43	-	Attrezzato a piezometro del tipo Tubo aperto e Casagrande	
			S3-SPT2	11,00	Rif. 5 cm	Nspt= -	-		
			S3-SPT3	19,80	Rif. 7 cm	Nspt= -	-		
	S4 - 2020	20,00	S4-SPT1	5,00	11 - 14 - 21	Nspt= 35	-	Attrezzato ad inclinometro	
			S4-SPT2	11,00	Rif. 5 cm	Nspt= -	-		
			S4-SPT3	17,5	Rif. 6 cm	Nspt= -	-		
	S5 - 2020	21,00	S5-SPT1	4,80	17 - 9 - 10	Nspt= 19	-	Attrezzato ad inclinometro	
			S5-SPT2	9,00	10 - 14 - 10	Nspt= 24	-		
			S5-SPT3	14,50	9 - 24 - 27	Nspt= 51	-		
	S6 - 2020	19,50	S6-SPT1	5,80	18 - 27 - 29	Nspt= 56	-	Attrezzato ad inclinometro	
			S6-SPT2	10,00	Rif. 4 cm	Nspt= -	-		
			S6-SPT3	15,00	Rif. 5 cm	Nspt= -	-		
	S7 - 2020	21,00	S7-SPT1	4,30	13 - 19 - 15	Nspt= 34	-	Attrezzato ad inclinometro	
			S7-SPT2	9,40	15 - 21 - 25	Nspt= 46	-		
			S7-SPT3	14,40	16 - 22 - 27	Nspt= 49	-		
	S8 - 2020	20,00	S8-SPT1	5,00	21 - 29 - 35	Nspt= 64	-	Attrezzato ad inclinometro	
			S8-SPT2	10,20	19 - 31 - 38	Nspt= 69	-		
			S8-SPT3	14,20	22 - 29 - 38	Nspt= 67	-		

A partire dalle risultanze del analisi di laboratorio dedicate (**cfr. Allegato 3B**), dai dati bibliografici (**cfr. Allegato 3A**), all’esperienza maturata su litotipi similari ubicati in contesti geologici e geomorfologici anch’essi prossimi al contesto che si stà analizzando, ed allo scopo di fornire un quadro geotecnico di riferimento delle unità geologico - tecniche individuate, di seguito si riporta la parametrizzazione geotecnica dei cumuli di frana attiva (**CFA**), dei depositi di copertura/riporti (**DC/R**), del substrato alterato (**SA**) e del substrato integro (**SI**).



Tabella 5 Analisi di laboratorio bibliografiche e dedicate.

UNITÀ GEOLOGICO - TECNICA	Parametri			INDAGINI BIBLIGRAFICHE																INDAGINI DEDICATE			
				I1C1-2017	I1C2-2017	I1SH1-2017	I2C1-2017	I2C2-2017	I2C3-2017	I3SH1-2017	I3SH2-2017	I3SH3-2017	I4C1-2017	I4C2-2017	I4C3-2017	I4SH1-2017	P2SH1-2017	P2SH2-2017	P2SH3-2017	P3SH1-2017	S1C1-2021	S2C1-2021	
Cumulo di frana attiva (CFA)	Peso di volume naturale	γ_{nat}	Kg/cm ³	1,95*10 ⁻³	2,08*10 ⁻³	2,03*10 ⁻³	2,10*10 ⁻³	1,93*10 ⁻³	2,00*10 ⁻³	1,94*10 ⁻³	1,81*10 ⁻³	2,11*10 ⁻³	1,70*10 ⁻³	1,68*10 ⁻³	1,71*10 ⁻³	1,82*10 ⁻³	2,17*10 ⁻³	1,72*10 ⁻³	1,90*10 ⁻³	1,94*10 ⁻³	2,07*10 ⁻³	2,08*10 ⁻³	
	Peso di volume saturo	γ_{sat}	Kg/cm ³	2,07*10 ⁻³	2,08*10 ⁻³	2,03*10 ⁻³	2,12*10 ⁻³	2,04*10 ⁻³	2,01*10 ⁻³	2,02*10 ⁻³	1,86*10 ⁻³	2,12*10 ⁻³	1,95*10 ⁻³	1,96*10 ⁻³	1,98*10 ⁻³	1,99*10 ⁻³	2,22*10 ⁻³	1,97*10 ⁻³	2,08*10 ⁻³	2,09*10 ⁻³	2,19*10 ⁻³	2,21*10 ⁻³	
	Densità relativa	Dr	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Contenuto d'acqua	Wn	%	14,20	21,8	23,8	18,5	17,2	24,6	18,6	31,6	19,1	12,1	10,4	11,1	15,2	12,4	12,1	12,4	13,1	20,0	13,4	
	Indice dei vuoti	e	-	0,57	0,58	0,61	0,52	0,64	0,66	0,63	0,96	0,52	0,77	0,76	0,75	0,69	0,41	0,74	0,63	0,61	0,55	0,38	
	Porosità	n	%	36,2	36,8	37,9	34,4	39,2	39,9	38,7	49,0	34,4	43,4	43,3	43,0	41,0	29,0	42,5	38,7	37,8	35,37	27,74	
	Grazi di saturazione	Sr	%	66,9	100	100	95,5	72,6	99,4	78,9	88,8	98,9	42,4	36,7	39,9	58,6	82,5	43,9	54,3	59,3	97,86	93,61	
	Limite liquido	LL	%	-	36,9	33,2	30,5	29,3	-	29,8	54,2	-	32,3	29,5	-	35,7	-	27,3	33,0	-	-	-	
	Limite plastico	LP	%	-	24,8	27,4	23,0	21,6	-	22,3	27,0	-	19,8	18,5	-	23,5	-	19,1	22,6	-	-	-	
	Indice plastico	IP	%	-	12,1	5,8	7,5	7,8	-	6,6	27,2	-	12,5	11,0	-	12,2	-	8,1	10,3	-	-	-	
	Analisi granulometrica	Ghiaia	%	62,5	11,4	43,3	34,1	36,7	33,2	52,8	5,9	48,0	25,4	46,7	51,6	36,1	46,9	53,3	42,0	54,2	22,33	25,87	
		Sabbia	%	18,1	13,9	21,4	23,3	20,3	23,2	22,8	7,9	27,6	22,1	12,7	18,0	20,6	25,3	11,7	26,0	21,8	21,82	20,59	
		Limo	%	13,1	54,0	25,5	27,1	34,2	35,5	17,6	59,6	19,9	37,6	27,4	24,9	33,0	19,0	25,0	24,2	20,0	29,39	36,17	
		Argilla	%	6,3	20,7	9,9	15,4	8,9	8,1	6,7	26,7	4,5	14,9	13,2	5,4	10,3	6,1	10,0	7,8	4,0	26,46	17,37	
	Prova di taglio diretto - Tipo CD	Angolo d'attrito drenato efficace	ϕ'	°	-	-	36	-	-	-	33	-	38	-	-	-	31	37	35	42	34	25,2	23,2
		Coazione drenata efficace	C'	Kg/cm ²	-	-	0,10	-	-	-	0,24	-	0,14	-	-	-	0,08	0,07	0,08	0,09	0,19	0,15	0,12
Prova di taglio diretto residuo	Angolo d'attrito residuo	ϕ_r	°	-	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-	-	30	34	32	39	30	-	-	
	Coazione residua	C _r	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	0	0	0-	0	0	-	-	
Prova ad espansione laterale libera	Resistenza a rottura	σ	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,38	2,60	
	Coazione non drenata	C _u	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,69	1,30	
Modulo di Young	Eu - Ey	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Modulo Edometrico	Ed - Mo	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Deposito di copertura/ Riporto (DC/R)	Peso di volume naturale	γ_{nat}	Kg/cm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Peso di volume saturo	γ_{sat}	Kg/cm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Densità relativa	Dr	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



UNITÀ GEOLOGICO - TECNICA	Parametri			INDAGINI BIBLIGRAFICHE																INDAGINI DEDICATE		
				IIC1-2017	IIC2-2017	IISH1-2017	I2C1-2017	I2C2-2017	I2C3-2017	I3SH1-2017	I3SH2-2017	I3SH3-2017	I4C1-2017	I4C2-2017	I4C3-2017	I4SH1-2017	P2SH1-2017	P2SH2-2017	P2SH3-2017	P3SH1-2017	S1C1-2021	S2C1-2021
	Contenuto d'acqua	W _n	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Indice dei vuoti	e	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Porosità	n	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Grazi di saturazione	S _r	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Limite liquido	LL	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Limite plastico	LP	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Indice plastico	IP	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Analisi granulometrica	Ghiaia	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sabbia	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Limo	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Argilla	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Prova di taglio diretto – Tipo CD	Angolo d'attrito drenato efficace	φ'	°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Coesione drenata efficace	C'	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Prova di taglio diretto residuo	Angolo d'attrito residuo	φ _r	°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Coesione residua	C _r	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prova ad espansione laterale libera	Resistenza a rottura	σ	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Coesione non drenata	C _u	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coesione non drenata	C _u	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Modulo di Young	Eu - Ey	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Modulo Edometrico	Ed - Mo	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Substrato alterato (SA)	Peso di volume naturale	γ _{nat}	Kg/cm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Peso di volume saturo	γ _{sat}	Kg/cm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Densità relativa	D _r	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Contenuto d'acqua	W _n	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Indice dei vuoti	e	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Porosità	n	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



UNITÀ GEOLOGICO - TECNICA	Parametri			INDAGINI BIBLIGRAFICHE																INDAGINI DEDICATE			
				IIC1-2017	IIC2-2017	IISH1-2017	I2C1-2017	I2C2-2017	I2C3-2017	I3SH1-2017	I3SH2-2017	I3SH3-2017	I4C1-2017	I4C2-2017	I4C3-2017	I4SH1-2017	P2SH1-2017	P2SH2-2017	P2SH3-2017	P3SH1-2017	S1C1-2021	S2C1-2021	
	Grazi di saturazione	Sr	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Limite liquido	LL	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Limite plastico	LP	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Indice plastico	IP	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Analisi granulometrica	Ghiaia	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sabbia	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Limo	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Argilla	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Prova di taglio diretto – Tipo CD	Angolo d'attrito drenato efficace	ϕ'	°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Coazione drenata efficace	C'	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Prova di taglio diretto residuo	Angolo d'attrito residuo	ϕ_r	°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Coazione residua	C _r	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Prova ad espansione laterale libera	Resistenza a rottura	σ	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Coazione non drenata	C _u	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modulo di Young	Eu - Ey	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Modulo Edometrico	Ed - Mo	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Substrato integro (SI)	Peso di volume naturale	γ_{nat}	Kg/cm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Peso di volume saturo	γ_{sat}	Kg/cm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Densità relativa	Dr	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Contenuto d'acqua	W _n	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Indice dei vuoti	e	-																				
	Porosità	n	%																				
	Grazi di saturazione	Sr	%																				
	Limite liquido	LL	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Limite plastico	LP	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Indice plastico	IP	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



UNITÀ GEOLOGICO - TECNICA	Parametri		INDAGINI BIBLIGRAFICHE																INDAGINI DEDICATE		
			I1C1-2017	I1C2-2017	I1SH1-2017	I2C1-2017	I2C2-2017	I2C3-2017	I3SH1-2017	I3SH2-2017	I3SH3-2017	I4C1-2017	I4C2-2017	I4C3-2017	I4SH1-2017	P2SH1-2017	P2SH2-2017	P2SH3-2017	P3SH1-2017	S1C1-2021	S2C1-2021
Analisi granulometrica	Ghiaia	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sabbia	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Limo	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Argilla	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prova di taglio diretto – Tipo CD	Angolo d'attrito drenato efficace	ϕ'	°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coesione drenata efficace	C'	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prova di taglio diretto residuo	Angolo d'attrito residuo	ϕ_r	°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coesione residua	C _r	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prova ad espansione laterale libera	Resistenza a rottura	σ	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coesione non drenata	C _u	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modulo di Young		Eu - Ey	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modulo Edometrico		Ed - Mo	Kg/cm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Cumulo in frana attiva (CFA)²⁵

Dal punto di vista geotecnico il materiale presenta un comportamento prevalentemente granulare con una coesione da bassa a molto bassa.

Peso per unità di volume naturale (Kg/cm ³)	$\gamma_{nat} = 1,68 \cdot 10^{-3} \div 2,17 \cdot 10^{-3}$ (si consiglia $1,93 \cdot 10^{-3}$)
Peso per unità di volume saturo (Kg/cm ³)	$\gamma_{sat} = 1,86 \cdot 10^{-3} \div 2,22 \cdot 10^{-3}$ (si consiglia $2,05 \cdot 10^{-3}$)
Angolo di attrito drenato efficace (gradi)	$\phi' = 23,20 \div 42,00$ (si consiglia 33,44)
Angolo di attrito non drenato (gradi)	$\phi = 0,00 \div 0,00$ (si consiglia 0,00)
Coesione drenata efficace (Kg/cm ²)	$C' = 0,07 \div 0,24$ (si consiglia 0,13)
Angolo di attrito residuo (gradi)	$\phi_r = 30,00 \div 39,00$ (si consiglia 33,33)
Coesione residua (Kg/cm ²)	$C_r = 0,00 \div 0,00$ (si consiglia 0,00)
Resistenza a rottura (Kg/cm ²)	$\sigma = 1,38 \div 2,60$ (si consiglia 1,99)
Coesione non drenata (Kg/cm ²)	$C_u = 0,69 \div 1,30$ (si consiglia 1,00)

Deposito di copertura/Ripporto (DC/R)²⁶

Dal punto di vista geotecnico il materiale presenta un comportamento prevalentemente granulare con una coesione da bassa a molto bassa.

Peso per unità di volume naturale (Kg/cm ³)	$\gamma_{nat} = 1,70 \cdot 10^{-3} \div 1,80 \cdot 10^{-3}$ (si consiglia $1,75 \cdot 10^{-3}$)
Peso per unità di volume saturo (Kg/cm ³)	$\gamma_{sat} = 1,85 \cdot 10^{-3} \div 1,95 \cdot 10^{-3}$ (si consiglia $1,90 \cdot 10^{-3}$)
Angolo di attrito drenato efficace (gradi)	$\phi' = 20,00 \div 30,00$ (si consiglia 25,00)
Angolo di attrito non drenato (gradi)	$\phi = 0,00 \div 0,00$ (si consiglia 0,00)
Coesione drenata efficace (Kg/cm ²)	$C' = 0,15 \div 0,25$ (si consiglia 0,20)
Coesione non drenata (Kg/cm ²)	$C_u = 0,20 \div 0,30$ (si consiglia 0,25)

Substrato alterato (SA)²⁷

Dal punto di vista geotecnico il materiale presenta un comportamento di tipo sia granulare sia coesivo.

Peso per unità di volume naturale (Kg/cm ³)	$\gamma_{nat} = 1,95 \cdot 10^{-3} \div 2,05 \cdot 10^{-3}$ (si consiglia $2,00 \cdot 10^{-3}$)
Peso per unità di volume saturo (Kg/cm ³)	$\gamma_{sat} = 2,05 \cdot 10^{-3} \div 2,15 \cdot 10^{-3}$ (si consiglia $2,10 \cdot 10^{-3}$)

²⁵ Valori determinati mediante elaborazione statistica delle risultanze delle analisi di laboratorio.

²⁶ Valori determinati su base bibliografica.

²⁷ Valori determinati su base bibliografica.

Angolo di attrito drenato efficace (gradi)	$\phi' = 30,00 \div 40,00$ (si consiglia 35,00)
Angolo di attrito non drenato (gradi)	$\phi = 0,00 \div 0,00$ (si consiglia 0,00)
Coesione drenata efficace (Kg/cm ²)	$C' = 0,65 \div 0,75$ (si consiglia 0,70)
Coesione non drenata (Kg/cm ²)	$C_u = 1,15 \div 1,25$ (si consiglia 1,20)

Substrato integro (SI)²⁸

Dal punto di vista geotecnico il materiale presenta un comportamento di tipo sia granulare sia coesivo.

Peso per unità di volume naturale (Kg/cm ³)	$\gamma_{nat} = 2,05 \cdot 10^{-3} \div 2,15 \cdot 10^{-3}$ (si consiglia $2,10 \cdot 10^{-3}$)
Peso per unità di volume saturo (Kg/cm ³)	$\gamma_{sat} = 2,15 \cdot 10^{-3} \div 2,25 \cdot 10^{-3}$ (si consiglia $2,20 \cdot 10^{-3}$)
Angolo di attrito drenato efficace (gradi)	$\phi' = 35,00 \div 40,00$ (si consiglia 37,50)
Angolo di attrito non drenato (gradi)	$\phi = 0,00 \div 0,00$ (si consiglia 0,00)
Coesione drenata efficace (Kg/cm ²)	$C' = 0,85 \div 0,95$ (si consiglia 0,90)
Coesione non drenata (Kg/cm ²)	$C_u = 1,45 \div 1,55$ (si consiglia 1,50)

Le caratteristiche meccaniche di questi terreni variano, risultando alquanto scadenti nelle porzioni prossime alla superficie, migliorando in modo evidente a profondità maggiori, influenzate comunque dal contenuto d'acqua che in fase di sopralluogo ed in fase di esecuzione delle indagini dirette dedicate (**cf. Allegato 1E**) e del relativo monitoraggio piezometrico (**cf. Allegato 4A**) è **stata riscontrata**.

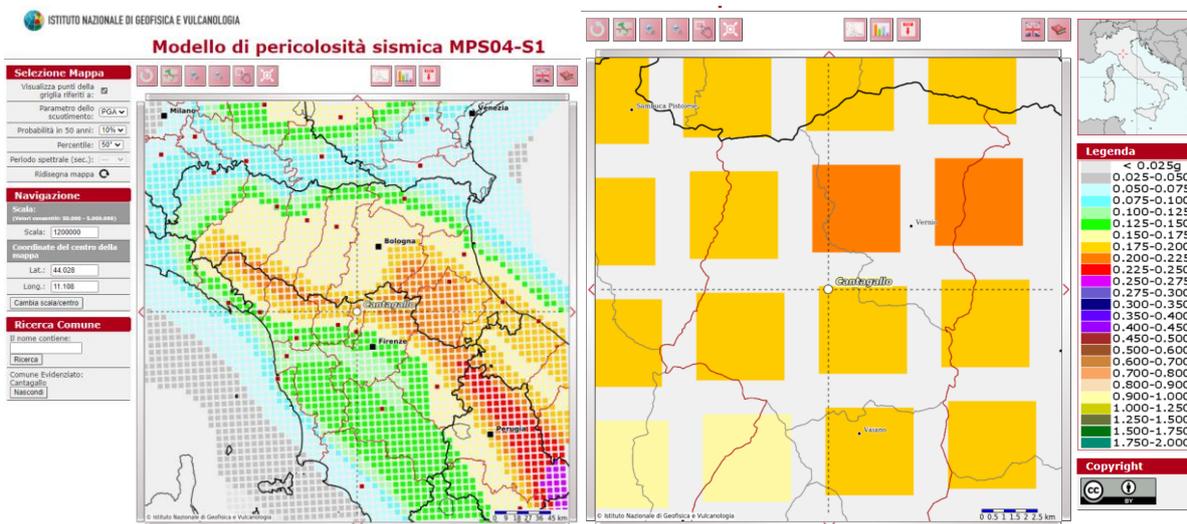
²⁸ Valori determinati su base bibliografica.

6. Sismica

Riferendoci alla vigente classificazione sismica (aprile 2021) il territorio italiano non è più suddiviso sulla base della categoria sismica attribuita ai diversi territori comunali (a ciascuna delle categorie corrispondeva un grado di sismicità S), bensì in zone sismiche (da 1 a 4) ciascuna delle quali individuate secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni²⁹.

Nell’ambito della vigente classificazione la zona sismica è definita sulla base di parametri di pericolosità calcolati con tecniche statistiche su tutto il territorio nazionale e, soprattutto, in corrispondenza dei centri abitati.

In base ai dati forniti dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia³⁰ relativi ai valori di pericolosità sismica del territorio nazionale (riferimento: Ordinanza PCM del 28 Aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005), fonte MPS04 su griglia di 0,05°, il territorio comunale di *Cantagallo* presenta una **pericolosità sismica compresa tra 0,175 g ÷ 0,200 g** (cfr. Fig. 19).



²⁹ Naso G., Petitta M. & Scarascia Mugnozza G. (2005). La Microzonazione Sismica. Metodi, esperienze e normativa. Dipartimento della Protezione Civile – Servizio Sismico Nazionale. CD-ROM. Università di Roma “La Sapienza” – Dipartimento di Scienze della Terra. CD-ROM.

Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile. Classificazione sismica. <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/classificazione-sismica>.

³⁰ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale. http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/lazio.html.

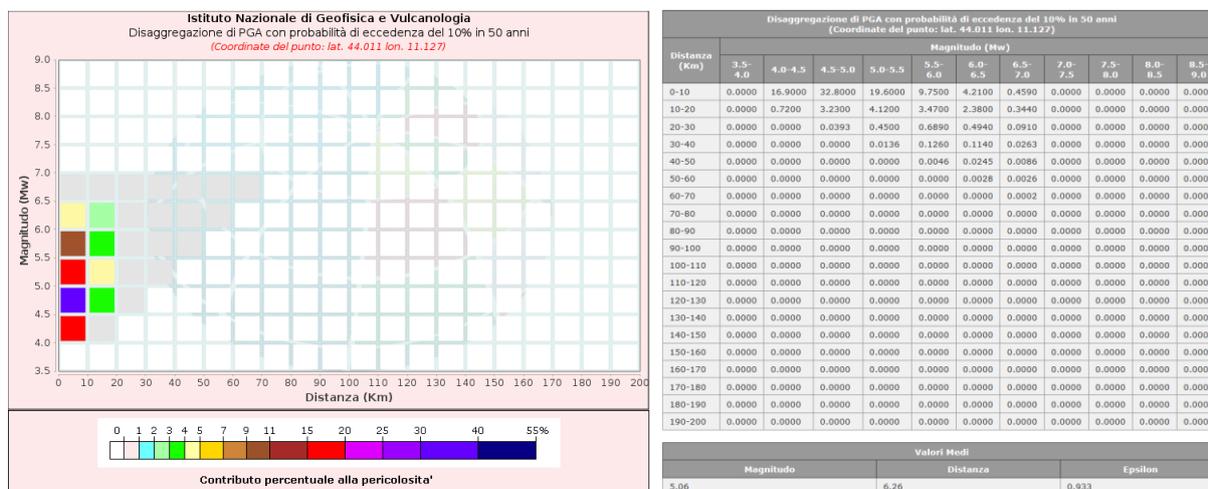


Fig. 19 Modello di pericolosità sismica MPS04-S1. Gli assi sono centrati sull'area d'intervento.

All'interno della vigente classificazione sismica (aprile 2021) il territorio comunale di *Cantagallo* ricade in **zona sismica 2**³¹. Inoltre, in base alle nuove norme tecniche ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Nell'ambito del Progetto Zonazione sismogenetica ZS9 del GNDT³² l'area d'intervento ricade all'interno della **Zona 915** (Appennino settentrionale e centrale) (cfr. Fig. 20) caratterizzata da:

- meccanismi di fagliazione prevalente normale,
- valori massimi di Magnitudo Momento Mw = 6.6.

³¹ Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile. <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/classificazione-sismica>.

³² Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2006). Ordinanza P. C. M. 3274/2003 del 28.04.2006 – All. 1b – Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale – Zonazione sismogenetica ZS9. <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>, <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>.

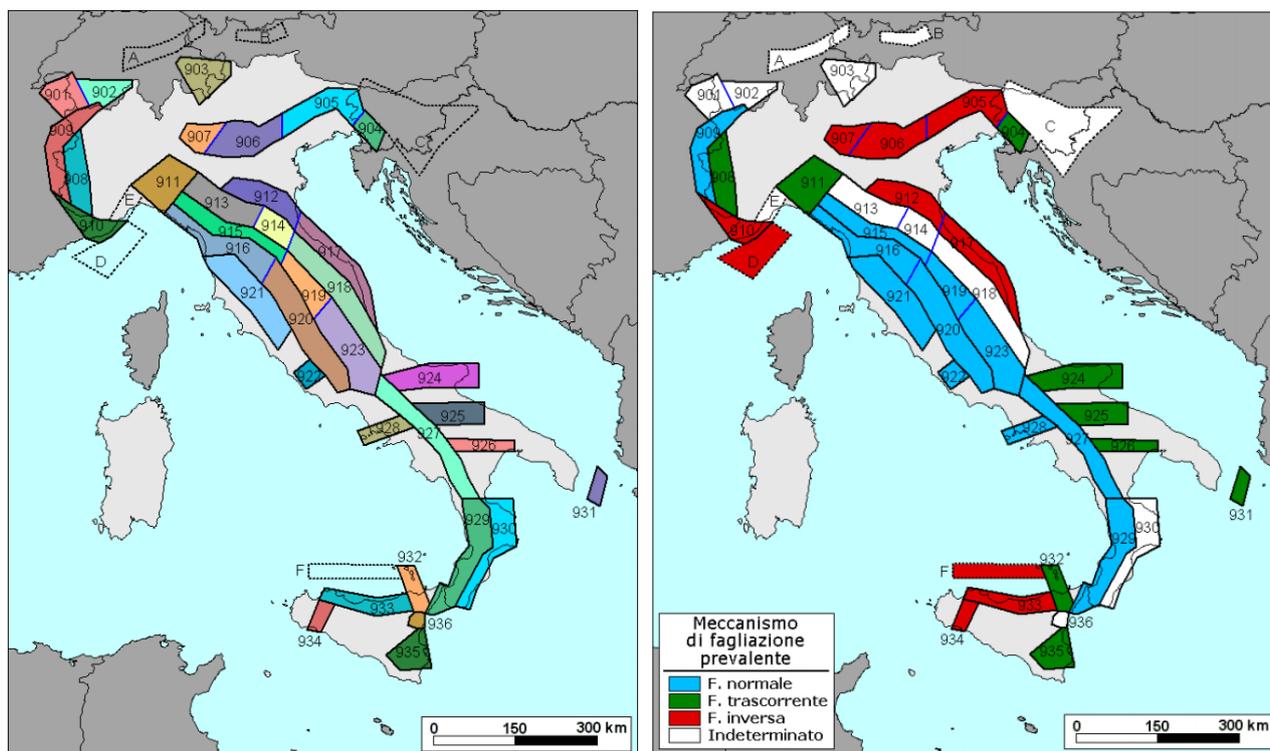


Fig. 20 Zonazione simogenetica ZS9 e meccanismo di fagliazione prevalente. Le diverse zone sono individuate da un numero. Le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

La consultazione dell’Archivio Storico Macrosismico Italiano ha permesso di acquisire informazioni relativamente al Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15 v2.0)³³, utilizzato per gli studi di pericolosità sismica in Italia, ed il Database Macrosismico dei Terremoti

³³ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15 v2.0). <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>.

Italiani (DBMI15 v2.0)³⁴ utilizzato per la compilazione del catalogo CPTI e relativi ad un arco temporale che va dall’anno 1000 all’anno 2017 (**periodo individuato di 92 anni e valori di $M_w > 3,70$**), al fine di individuare epicentri che hanno interessato il territorio comunale di *Cantagallo* (cfr. **Tabella 6**) (cfr. **Fig. 21** e **Fig. 22**).

Tabella 6 Database Macrosismico Italiano DBMI15 v2.0 (dal 1000 al 2017).

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v3.0										
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano 2015										
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)										
Seismic history of	Cantagallo									
PlaceID	IT_44775									
Coordinates (lat, lon)	44.022, 11.081									
Municipality (ISTAT 2015)	Cantagallo									
Province	Prato									
Regione	Toscana									
No. of reported earthquakes	3									
Intensity	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
NF	1903	07	27	03	46		Lunigiana	79	7-8	5.19
2	1919	09	25	03	15		Frignano	7	4	3.70
3	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.8

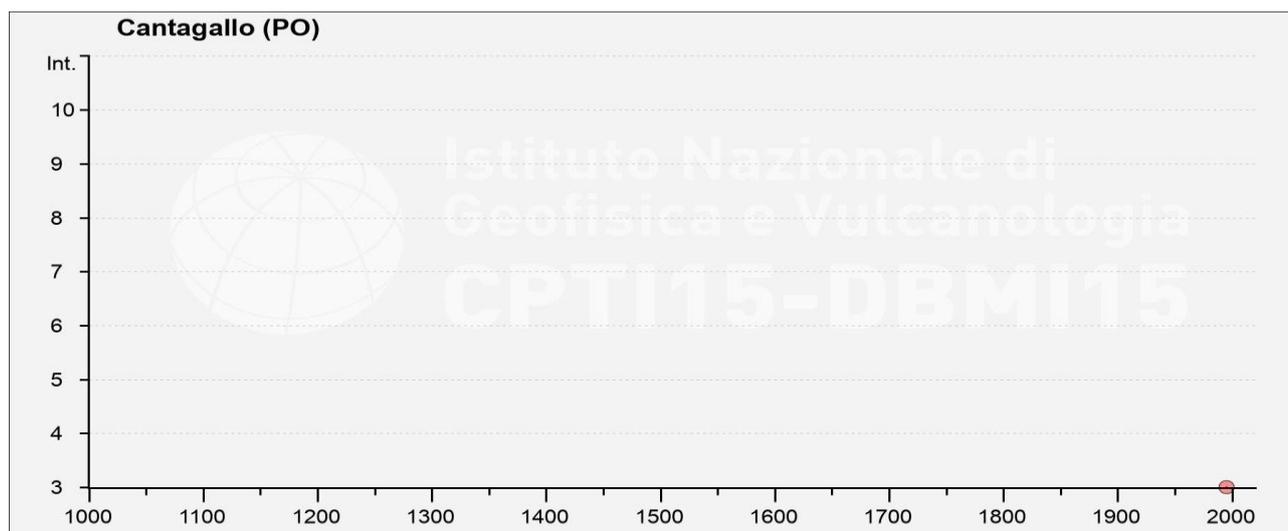


Fig. 21 Database Macrosismico Italiano DBMI15 v2.0 (dal 1000 al 2017).

³⁴ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15 v2.0). <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>.

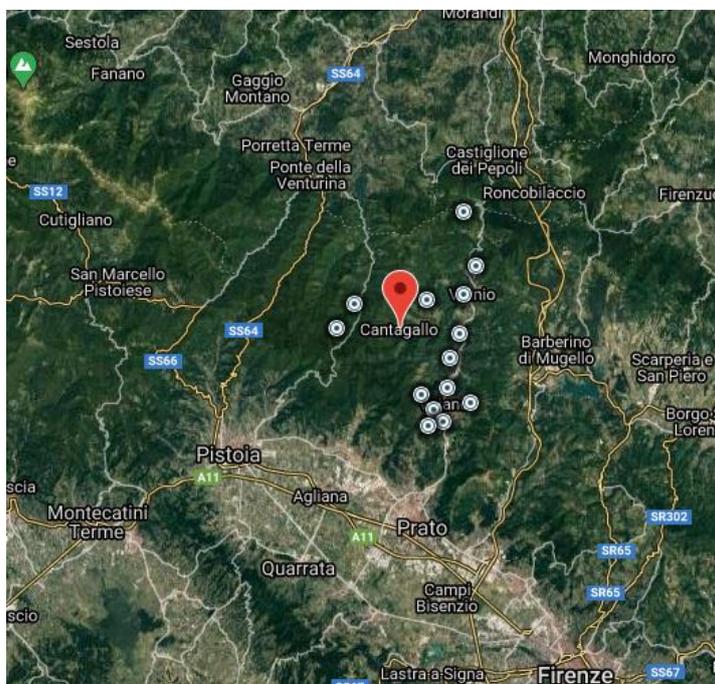


Fig. 22 Database Macrosismico Italiano DBMI15 v2.0 (dal 1000 al 2017).

La consultazione dell'Archivio ISIDE (Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base)³⁵ che contiene i dati parametrici di tutti i terremoti localizzati dalla sala di sorveglianza sismica dell'INGV di Roma, e nello specifico degli eventi avvenuti tra il 01.01.1985 ed oggi, ha permesso di individuare n. 5 terremoti di magnitudo $M_w > 4$, nel raggio di 30 km dal comune di *Cantagallo* e nel periodo compreso tra il 10.10.1995 (data dell'ultimo terremoto individuato nell'ambito del Database Macrosismico Italiano DBMI15 v2.0 (cfr. **Tabella 6**) (cfr. **Fig. 21** e **Fig. 22**) ed il 31.12.2020 (cfr. **Fig. 23**).

³⁵ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Progetto ISIDE - Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base <http://terremoti.ingv.it/iside#>.

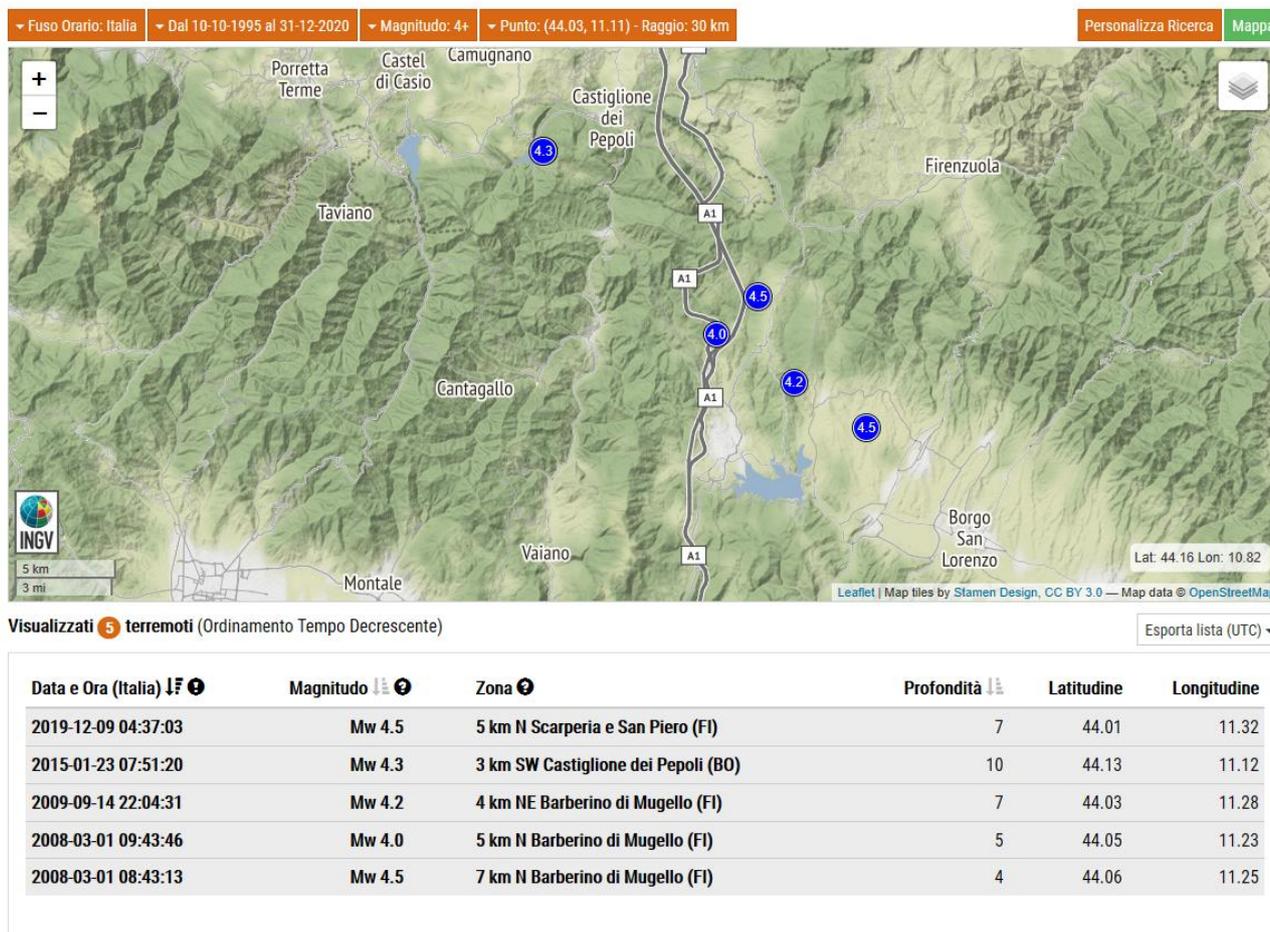


Fig. 23 Archivio ISIDE - Terremoti localizzati nell'intorno di Cantagallo.

Nell'ambito del Progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults)³⁶ che sintetizza le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano secondo la seguente distinzione:

- faglia capace: faglia che sicuramente ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa, nell'intervallo Pleistocene superiore - Presente;
- faglia quaternaria da indagare: faglia che ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa nel corso del Quaternario anteriormente al Pleistocene superiore (Pleistocene medio per le aree cratoniche), per la quale non si può escludere a priori

³⁶ Ispra – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Progetto Progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults). <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>. <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>. <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>.

una riattivazione all'interno del contesto geodinamico attuale in assenza di ulteriori indagini specifiche.

l'area di intervento **non è interessata** dalla presenza di nessun tipo di faglia capace nel raggio di 10 km dall'area di intervento.

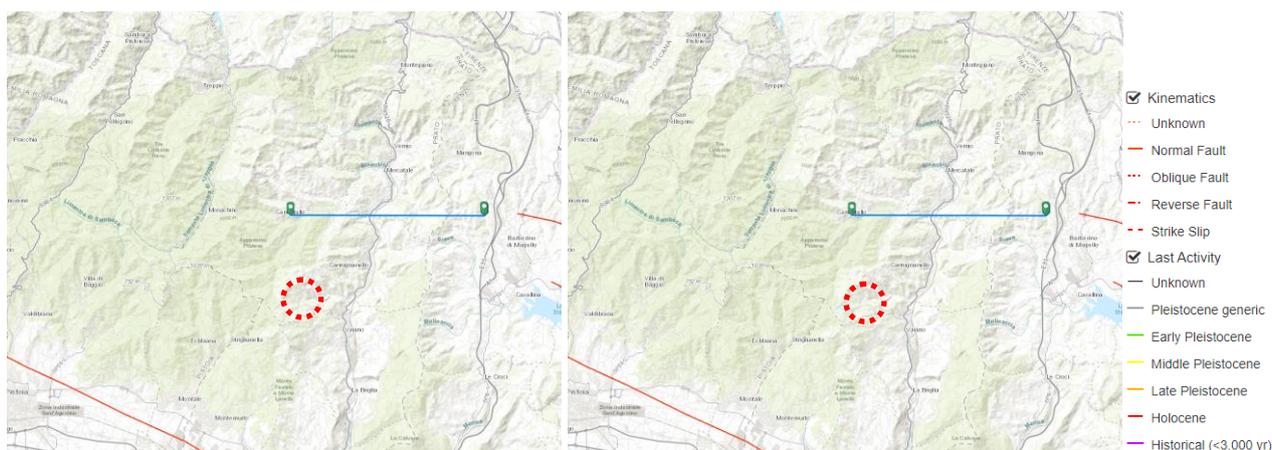


Fig. 24 Progetto ITHACA (ITaly Hazard from CAPable faults). Sulla sinistra le faglie distinte per cinematico mentre sulla destra le faglie distinte per il periodo di ultima attività. In evidenza l'ara d'intervento.

Inoltre, **non è interessata** dalla presenza di **nessuna** Fonte Sismogenetica di qualunque tipo e stato di attività (cfr. Fig. 25).

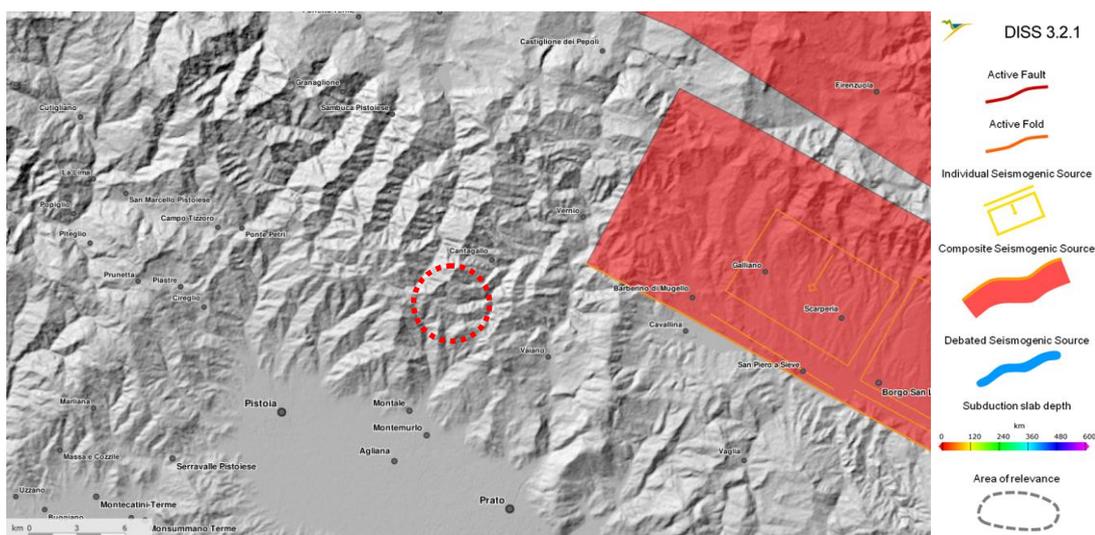


Fig. 25 Database of Individual Seismogenic Sources (DISS version 3). In evidenza l'area d'intervento.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo³⁷, ai fini dell’identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30,00 m di profondità “... Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. ...”³⁸.

L’analisi di quanto riportato nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e delle Frequenze di Risonanza di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 – 15.000)³⁹ ha evidenziato come l’area d’intervento ricada all’interno di **Zone di attenzione per instabilità - Instabilità di versante** con stato di attività da **attivo** a **quiescente** (cfr. Fig. 26).

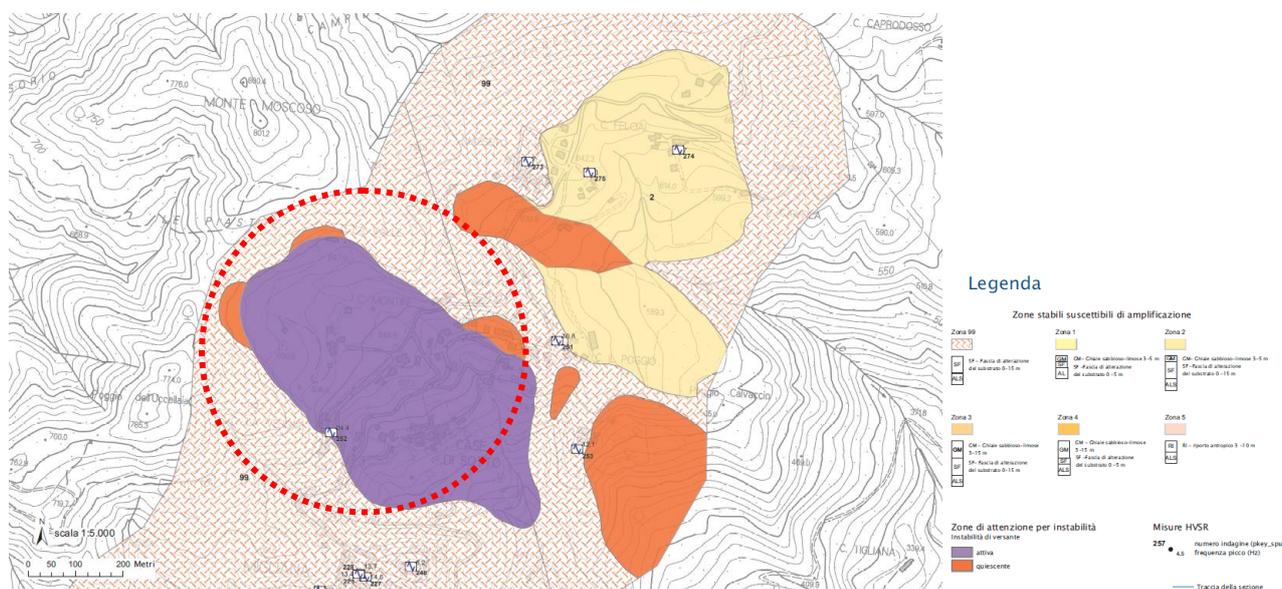


Fig. 26 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e delle Frequenze di Risonanza di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 - 15.000). In evidenza l’area d’intervento.

³⁷ Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» – Capitolo 6.2.2 “Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica”.

³⁸ Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» – Capitolo 3.2.2 “Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche”.

³⁹ Comune di Cantagallo (2015) - Fondazione Prato Ricerche. Istituto per la ricerca ambientale e la mitigazione dei rischi. Dott. Geol. Andrea Fiaschi, Dott. Geol. Luca Matassoni. Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 – 15.000).

Di seguito si riportano i parametri di pericolosità sismica⁴⁰ calcolati in corrispondenza dell’area d’intervento a partire dall’ipotesi di una **Classe d’uso 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 ...*⁴¹) ed una **vita nominale ≥ 50 anni** (... *Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari ...*⁴²) (cfr. Fig. 27).

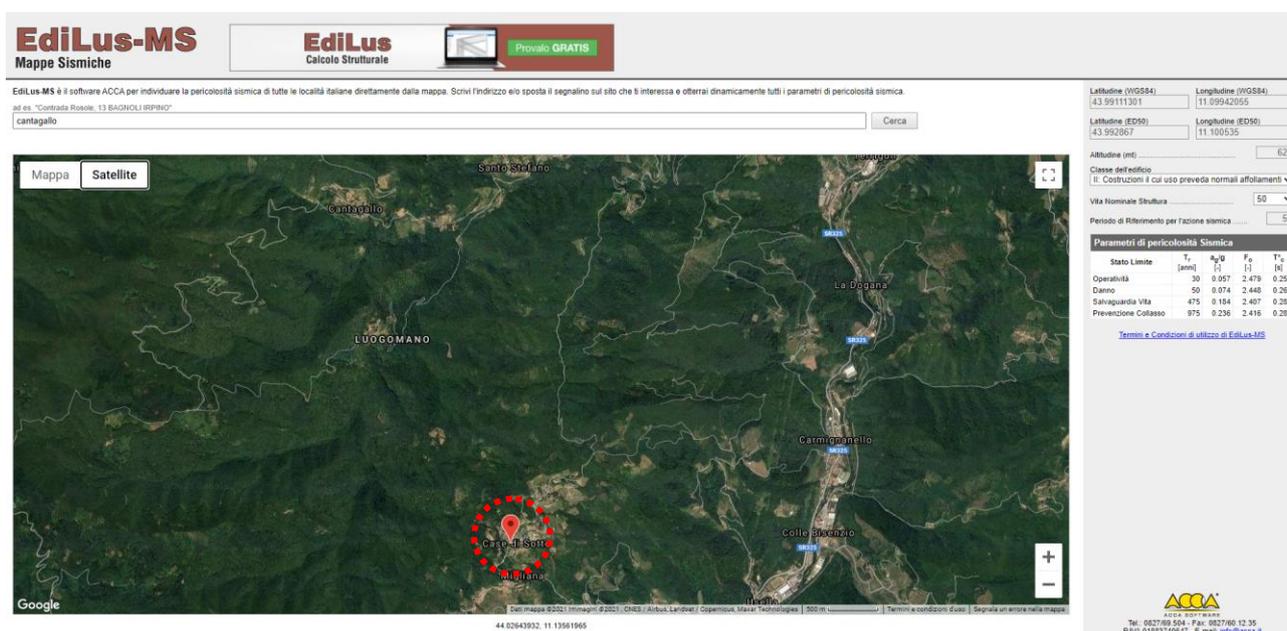


Fig. 27 Parametri di pericolosità sismica calcolati in corrispondenza dell’area d’intervento.

Inoltre, relativamente all’amplificazione topografica, è possibile attribuire una **categoria topografica T1** (Caratteristiche della superficie topografica: *Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* ⁴³) ed un valore massimo del **coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$** (Ubicazione dell’opera o dell’intervento: -⁴⁴) (cfr. Fig. 28).

⁴⁰ <http://www.acca.it/EdiLus-MS/>.

⁴¹ Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» – Capitolo 2.4.2 “Classi d’uso”.

⁴² Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» – Capitolo 2.4.1 “Vita nominale di progetto”.

⁴³ Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» – Tab. 3.2.III “Categorie topografiche”.

⁴⁴ Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» – Tab. 3.2.V “Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T ”.

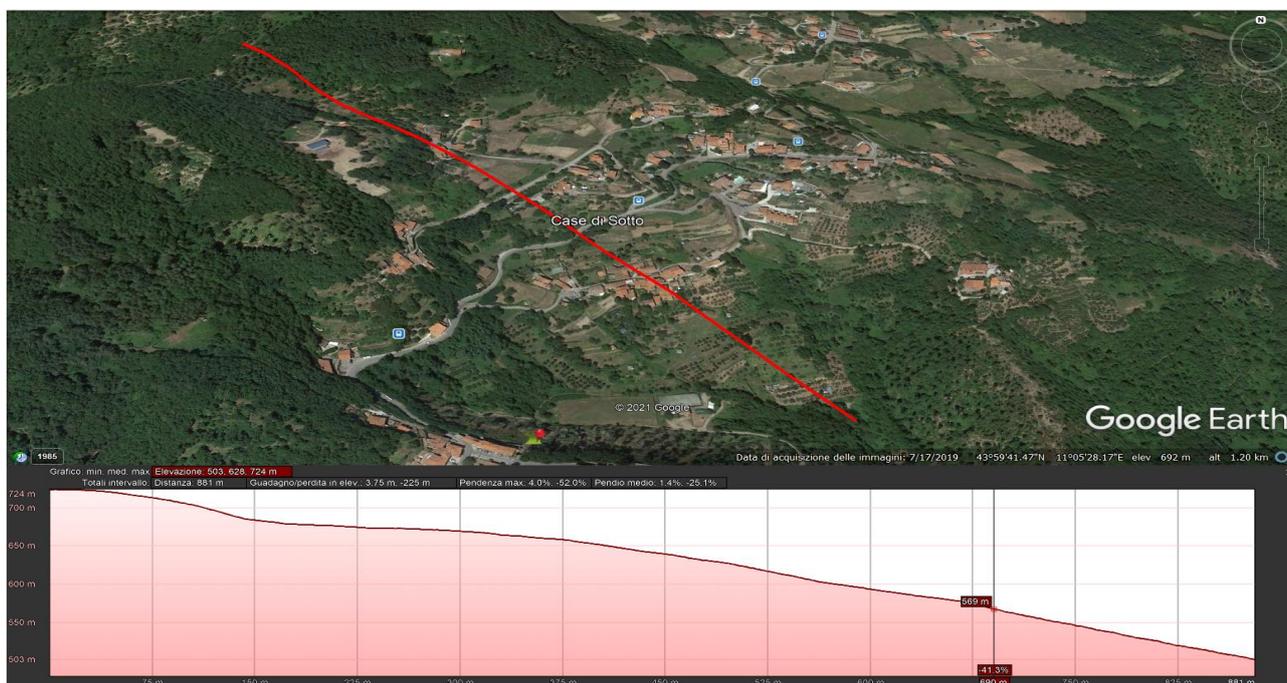


Fig. 28 Condizioni topografiche del versante calcolate attraverso il software Google Earth.

La presenza di almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15,00 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ 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 $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 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 $U_c > 3,5$) (cfr. Fig. 29);

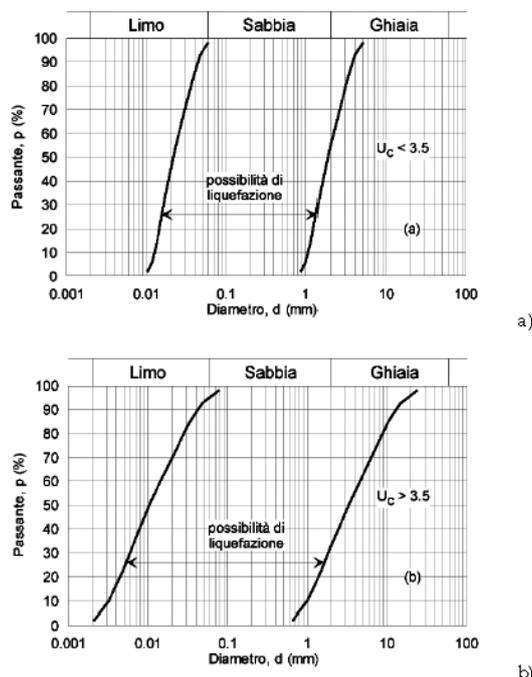


Fig. 29 Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione.

ha portato ad **escludere** verifiche sulla liquefazione dei litotipi affioranti.

A seguito di specifici sopralluoghi effettuati in modo congiunto tra il progettista, il rappresentante del committente e lo scrivente si è deciso di **predisporre**, ad integrazione delle indagini indirette bibliografiche (cfr. Allegato 2A, 2B, 2C, 2D e 2E) (cfr. Tabella 7), uno specifico programma indagini indirette dedicate (cfr. Allegato 2F) (cfr. Tabella 8) che ha visto l’esecuzione di:

- n. 2 profili sismici a rifrazione ed elaborazione dati con metodologia m. a. s. w. (M. a. s. w. 1= 115,00 m e M. a. s. w. 2= 115,00 m) (cfr. Allegato 2F).

Tabella 7 Indagini indirette bibliografiche.

Tipo di indagine	Quantità	Sigla	Lunghezza (m)	V_{s30} /equivalente (m/s)	Frequenza di picco del rapporto H/V (Hz) F0	Ampiezza di picco del rapporto H/V A0
Sismica a rifrazione	4	Ps1 - 100001L18	46,00	-	-	-
		Ps2 - 100001L19	46,00	-	-	-
		Ps3 - 100001L14	46,00	-	-	-
		Ps4 - 100001L15	48,00	-	-	-
Tomografia sismica	6	ST1_2013	161,00	-	-	-
		ST2_2013	230,00	-	-	-
		ST1 (P-SH)_2017	141,00	-	-	-
		ST2 (P-SH)_2017	141,00	-	-	-

Tipo di indagine	Quantità	Sigla	Lunghezza (m)	V _{s30/equivalente} (m/s)	Frequenza di picco del rapporto H/V (Hz) F0	Ampiezza di picco del rapporto H/V A0
Sismica a rifrazione	4	Ps1 - 100001L18	46,00	-	-	-
		Ps2 - 100001L19	46,00	-	-	-
		Ps3 - 100001L14	46,00	-	-	-
		Ps4 - 100001L15	48,00	-	-	-
Tomografia sismica	6	ST1_2013	161,00	-	-	-
		ST2_2013	230,00	-	-	-
		ST3 (SH)_2017	94,00	-	-	-
		ST4 (SH)_2017	70,50	-	-	-
Tomografia elettrica	3	ERT1_2013	235,00	-	-	-
		TOMOEL1_2017	235,00	-	-	-
		TOMOEL2_2017	141,00	-	-	-

Tabella 8 Indagini indirette dedicate.

Tipo di indagine	Quantità	Sigla	Lunghezza (m)	V _{s30/equivalente} (m/s) ⁴⁵	Frequenza di picco del rapporto H/V (Hz) F0	Ampiezza di picco del rapporto H/V A0
M. a. s. w.	2	M.a.s.w. 1 - 2022	115,00	405,64	-	-
		M.a.s.w. 2 - 2022	115,00	406,21	-	-

A partire dai dati bibliografici e dall’esperienza maturata su litotipi simili ubicati in contesti geologici e geomorfologici anch’essi prossimi al contesto che si sta analizzando **non è stato possibile attribuire** frequenza del picco del rapporto H/V f0 ed un’ampiezza di picco alla frequenza A0.

A partire dai dati bibliografici (cfr. Allegato 2B, 2C e 2E) e dall’esperienza maturata su litotipi simili ubicati in contesti geologici e geomorfologici anch’essi prossimi al contesto che si sta analizzando si riscontra come le unità geologico – tecniche siano caratterizzate da valori delle V_s che tendono ad aumentare con la profondità (cfr. Tabella 9).

Tabella 9 Modellazione sismica dell’area d’intervento.

FORMAZIONE	UNITÀ GEOLOGICO - TECNICA	INDAGINI PREGRESSE
		V _s (m/s)
Deposito di frana attiva (a1a)	CFA	500 ÷ 1.000
Formazione dell’Acquerino – Membro arenaceo – pelitico (AQR1) / Formazione dell’Acquerino – Membro pelitico – arenaceo (AQR2)	DC/R	200 ÷ 300

⁴⁵ Dato relativo ad una profondità delle fondazioni dal p. c. pari a 0,00 m dal p. c..



Formazione dell'Acquerino – Membro arenaceo – pelitico (AQR1) / Formazione dell'Acquerino – Membro pelitico – arenaceo (AQR2)	SA	1.000 ÷ 1.200
Formazione dell'Acquerino – Membro arenaceo – pelitico (AQR1) / Formazione dell'Acquerino – Membro pelitico – arenaceo (AQR2)	SI	>1.200

A partire dalle risultanze delle indagini indirette dedicate (cfr. **Allegato 2F**), dalle risultanze delle indagini indirette bibliografiche (cfr. **Allegato 2A, 2B, 2C, 2D e 2E**) e dall'esperienza maturata su unità geologico – tecniche similari ubicate in contesti geologici e geomorfologici anch'essi prossimi al contesto che si stà analizzando, il terreno di fondazione relativamente all'area d'intervento, e secondo l'**approccio semplificato**, può essere definito di **Tipo B** ($V_{S30/equivalente} = 405,64 \div 406,21$ m/s a 0,00 m dal p. c. ($H = 30,00$ m dal p. c.)) (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*⁴⁶).

⁴⁶ Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» – Tab. 3.2.II “Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.”.

7. Conclusioni

Su incarico del comune di *Cantagallo* è stato eseguito lo studio, relativo ad una fase progettuale del tipo **esecutiva** e conforme al quadro legislativo vigente (L. R. n. 65 del 10.11.2014 e ss. mm. ii. e D. G. R. n. 663 del 20.05.2019, D. Lgs. n. 50 del 18.04.2016 art. 23 “Livelli della progettazione per gli appalti, per le concessioni di lavori nonché per i servizi” e ss. mm. ii., D. P. R. n. 207/2010 e ss. mm. ii., D. M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»” e ss. mm. ii. e R. D. n. 3267 del 30.12.1923 e ss. mm. ii.), finalizzato all’acquisizione dei parametri geomorfologici, geologici, idrogeologici, geotecnici e sismici relativi a un’area ubicato all’interno del territorio comunale di *Cantagallo*, più precisamente in corrispondenza delle frazioni *Migliana* e *Case di Sotto*, al fine di arrestare i dissesti idrogeologici accorsi ed in atto.

L’analisi di quanto riportato nella Carta del Vincolo Idrogeologico ha evidenziato come l’area d’intervento **sia assoggettata** al vincolo stesso.

L’analisi di quanto riportato nel Progetto IFFI ha evidenziato, per quanto riguarda i fenomeni gravitativi di versante, **l’interazione diretta** di forme areali del tipo **scivolamento rotazionale/traslativo** con stato di attività **attivo** con l’area d’intervento.

L’analisi di quanto riportato nel Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico – Rischio da frana ha evidenziato come l’area d’intervento ricada in una zona con grado di pericolosità **PF4 (Molto elevata)**.

L’analisi di quanto riportato nel Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico – Rischio idraulico ha evidenziato **l’assenza d’interazione diretta** di aree a vario grado di pericolosità con l’area d’intervento con conseguente grado di pericolosità dell’area **PI0 (Nulla)** e rischio **RI0 (Nullo)**.

L’analisi di quanto riportato nella Carta Geologica e Geomorfologica di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 - 15.000) ha evidenziato **l’interazione diretta** di forme areali del tipo **frana non definita** e stato di attività **attiva** con l’area d’intervento.

L’analisi di quanto riportato nella Carta di Sintesi (Scala 1:2.500) allegata alla relazione geologica del progetto di fattibilità tecnica ed economica ha evidenziato come l’area interessata dal dissesto sia caratterizzata da movimenti differenziati al proprio interno, con settori attualmente stabili ed altri in movimento sia lungo la superficie di scivolamento principale sia lungo le superfici

di scivolamento rotazionale secondarie verso i quadranti sudorientali, nonché da spessori dei cumuli di frana importanti variabili dal 16,0 ai 24,0 m.

L’analisi del monitoraggio geodetico condotto tra il 2014 ed il 2016 ha evidenziato come l’area interessata dal dissesto, e quindi sottoposta a monitoraggio, sia caratterizzata da spostamenti verticali e nello specifico ad un abbassamento omogeneo di circa 5 cm.

Il rilevamento geomorfologico effettuato ha permesso di meglio definire il locale quadro geomorfologico relativamente alle **forme gravitative** del tipo **forme di erosione** e nello specifico forme lineari del tipo **scarpata principale rotazionale/traslativo (GR1)** con stato di attività **attivo** e del tipo **forme di accumulo** e nello specifico forme poligonali del tipo **corpo di frana per scorrimento rotazionale (GR19)**, materiale **detrito**, contenuto d’acqua **umido**, velocità **molto lento**, attività **attivo sospeso**, distribuzione **confinato**, stile **singolo** e stadio **avanzato**, **forme fluviali** del tipo lineare quale **solco di ruscellamento concentrato** con stato di attività **attivo s. s.**, del tipo lineare quale **vallecola a V** con stato di attività **attivo s. s.** e del tipo lineare quale **scarpata di erosione fluviale con altezza < 3 m** con stato di attività **attivo s. s.** e **forme antropiche** del tipo lineare quale **corso d’acqua incanalato artificialmente** e del tipo lineare quale **orlo di terrazzo a muretti o a scarpate**.

Inoltre, l’evoluzione geomorfologica recente dell’area, a partire dal 2013 ad oggi, ha interessato le infrastrutture esistenti, nello specifico la rete viaria, i sottoservizi e l’edificato esistente determinando sia il danneggiamento dello stesso, sia l’evacuazione dello stesso sia la demolizione dello stesso.

L’analisi di quanto riportato in bibliografia geologica ha permesso di ricondurre i litotipi affioranti in corrispondenza dell’area d’intervento alla formazione **mgL** (Carta Geologica d’Italia - Scala 1:100.000), alla formazione del **Flysch arenacei esterni: arenarie, siltiti, argilliti e marne con olistostromi (30)** (Carta Geologica della Regione Toscana - Scala 1:250.000), alla **Formazione dell’Acquerino - Membro arenaceo – pelitico (AQR1)** (Carta Geologica e Geomorfologica di Microzonazione Sismica di Livello I - Scala 1:5.000 – 15.000) ed all’unità geologico – tecnica del tipo **ALS** (Alternanza di litotipi stratificato) (Carta Geologico - Tecnica di Microzonazione Sismica di Livello I - Scala 1:5.000 – 15.000).

Il rilevamento geologico condotto ha permesso, dall’esame dei litotipi affioranti e dai risultati delle indagini dirette bibliografiche e dedicate, di confermare la presenza, oltre che dei **depositi di frana attiva**, della **Formazione dell’Acquerino - Membro arenaceo – pelitico (AQR1)** e della

Formazione dell'Acquerino - Membro pelitico - arenaceo (AQR2) coerentemente con la Carta Geologico- Tecnica di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 - 15.000) e di definire la locale stratigrafia relativamente ai cumuli di frana attiva (CFA), ai depositi di copertura/riporti (DC/R), al substrato nella sua porzione alterata (SA) ed al substrato nella sua porzione integra (SI) e di analizzare il locale quadro litostratigrafico anche in termini di spessori dei litotipi rinvenuti. Inoltre, la formazione di base è caratterizzata da una giacitura degli strati immergente verso i quadranti sudorientali con un'inclinazione dai 10° ai 40° nonché con un assetto a franapoggio rispetto all'immersione del versante.

Ne consegue come le opere di consolidamento debbano attestarsi nel substrato integro (SI), superando quindi i cumuli di frana attiva (CFA), i depositi di copertura/riporti (DC/R) ed il substrato alterato (SA).

L'analisi di quanto riportato in bibliografia idrogeologica ha permesso di ricondurre i litotipi affioranti in corrispondenza dell'area d'intervento all'**Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale** e nello specifico all'interno del **Bacino Idrografico del Fiume Arno**, nonché al **Complesso Idrogeologico della Frana di Migliana – Case di Sotto (C-FRA)** ed al **Complesso Idrogeologico della Formazione dell'Acquerino (C-AQR)**.

Il locale assetto topografico, caratterizzato da un'immersione verso i quadranti sudorientali, fa sì che il **Complesso Idrogeologico della Frana di Migliana – Case di Sotto (C-FRA)** sia contraddistinto da una **falda libera** con gradiente verso i quadranti sudorientali mentre il locale assetto stratigrafico, caratterizzato da un assetto a franapoggio rispetto all'immersione del versante, fa sì che il **Complesso Idrogeologico della Formazione dell'Acquerino (C-AQR)** sia contraddistinto da una o più **falde confinate in pressione** con un gradiente verso i quadranti sudorientali.

I due acquiferi molto probabilmente vengono in contatto in corrispondenza del contatto tra i cumuli di frana ed il sottostante substrato integro ed è proprio lungo questa fascia che gli apporti provenienti dalle falde confinate in pressione di substrato svolgano un'azione **penalizzante** nei confronti della massa già oggetto di mobilitazione.

Le unità geologico - tecniche individuate in corrispondenza dell'area d'intervento presentano una permeabilità di tipo **primaria per porosità** e di grado **medio - alto** (DC/R e CFA) (10^{-1} m/s < k < 10^{-5} m/s), coerentemente con i parametri riscontrati sui campioni prelevati, tale da favorire l'infiltrazione delle acque meteoriche per cui, sono ipotizzabili circolazioni idriche all'interno degli

stessi anche a seguito di precipitazioni meteoriche di modesta entità che comunque in sede di sopralluogo, di esecuzione delle indagini dirette bibliografiche e dedicate e di monitoraggio piezometrico **sono state rinvenute**, passanti in profondità a litotipi caratterizzati da una permeabilità sia di tipo **primaria per porosità** e di grado **da basso a nullo** (SA – SI) sia di tipo **secondaria per fratturazione** e di grado **medio - alto** (SA – SI) tale da favorire circolazioni idriche all’interno degli stessi che comunque in sede di sopralluogo, di esecuzione delle indagini dirette bibliografiche e dedicate e di monitoraggio piezometrico **sono state rinvenute**.

Le elaborazioni geostatistiche condotte sui dati piezometrici misurati, previa discretizzazione in funzione del complesso idrogeologico oggetto di monitoraggio, hanno permesso di individuare due tipologie di falde. Nello specifico una **falda libera** all’interno del complesso idrogeologico caratterizzante l’area d’intervento relativamente alla sua porzione in frana (**C-FRA**) ed una o più **falde confinate in pressione** all’interno del complesso idrogeologico caratterizzante l’area d’intervento relativamente alla sua porzione non in frana (**C-AQR**).

Le caratteristiche meccaniche di questi terreni variano, risultando alquanto scadenti nelle porzioni prossime alla superficie, migliorando in modo evidente a profondità maggiori, influenzate comunque dal contenuto d’acqua che in fase di sopralluogo ed in fase di esecuzione delle indagini dirette dedicate e del relativo monitoraggio piezometrico **è stata riscontrata**.

L’analisi di quanto riportato in bibliografia sismica individua il comune di *Cantagallo* come **zona sismica 2** e con **pericolosità sismica compresa tra 0,175 g ÷ 0,200 g**.

Nell’ambito del Progetto Zonazione sismogenetica ZS9 del GNDT l’area d’intervento ricade all’interno della **Zona 915** (Appennino settentrionale e centrale) caratterizzata da meccanismi di fagliazione prevalente normale e da valori massimi di Magnitudo Momento $M_w = 6.6$.

Nell’ambito del Progetto ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults) l’area d’intervento **non è interessata** dalla presenza di nessun tipo di faglia capace, inoltre, **non è interessata** dalla presenza di **nessuna** Fonte Sismogenetica di qualunque tipo e stato di attività.

L’analisi di quanto riportato nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e delle Frequenze di Risonanza di Microzonazione Sismica di Livello I (Scala 1:5.000 – 15.000) ha evidenziato come l’area d’intervento ricada all’interno di **Zone di attenzione per instabilità - Instabilità di versante** con stato di attività da **attivo** a **quiescente**.

A partire dalle risultanze delle indagini indirette dedicate, dalle risultanze delle indagini indirette bibliografiche e dall’esperienza maturata su unità geologico – tecniche similari ubicate in contesti

geologici e geomorfologici anch'essi prossimi al contesto che si stà analizzando, il terreno di fondazione relativamente all'area d'intervento, e secondo l'**approccio semplificato**, può essere definito di **Tipo B** ($V_{S30/equivalente} = 405,64 \div 406,21$ m/s a 0,00 m dal p. c. (H= 30,00 m dal p. c.)), all'opera può essere attribuita una **Classe d'uso III** ed una **vita nominale ≥ 50 anni**, una **categoria topografica T1**, un valore massimo del **coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$** , **non è stato possibile attribuire** frequenza del picco del rapporto H/V f_0 ed un'ampiezza di picco alla frequenza A0 (per dati acquisiti non interpretabili) e sono da **escludere** fenomeni di liquefazione.

Al fine quindi di ripristinare le infrastrutture esistenti e conferire alle stesse requisiti di sicurezza è necessario intervenire sul versante con opere di regimazione ed allontanamento verso i limitrofi corpi idrici superficiali delle acque meteoriche e di circolazione superficiale, di drenaggio superficiale e profondo, ed allontanamento verso i limitrofi corpi idrici superficiali, delle acque di circolazione sotterranea il cui dimensionamento dovrà tenere conto del modello geologico - tecnico ricostruito.

Alla luce quindi di quanto riportato si ritiene che il modello geologico – tecnico ricostruito, associato alla parametrizzazione geotecnica e sismica, definisca in modo univoco il quadro all'interno del quale calare la progettazione **esecutiva** delle opere volte al ripristino delle condizioni di sicurezza dell'area d'intervento.

Quindi, a corredo di quanto già esposto, tutti gli interventi dovranno inoltre essere realizzati con tipologie costruttive finalizzate alla riduzione della vulnerabilità delle opere e del rischio della pubblica incolumità.

Celenza sul Trigno (CH), Maggio 2022.

Firma
Il geologo senior
Dott. Geol.
Andrea Venosini
(Dott. Geol. Andrea Venosini)