



PROVINCIA DI PISA

SETTORE VIABILITA' TRASPORTI E PROTEZIONE CIVILE



**Relazione geologica di supporto al progetto di messa in sicurezza della S.P. 329,
tra il km 16+800 e il km 17+100, nel comune di Monteverdi Marittimo (PI)**

(ai sensi D.M. 17/01/2018)

20 agosto 2018

Dott. Geol. Francesco Agnelli

Dott. Geol. Francesco Agnelli – Via Pietro Nenni, Loc. Civettaio n.65, Torrita di Siena (Siena) -
P. IVA 01199830520 - cell. 3478247486 - tel. 0577687734 -
francesco.agnelli@alice.it – francesco.agnelli@epap.sicurezzapostale.it

Indice

1. Premessa

2. Inquadramento geografico e morfologico

3. Inquadramento geologico

3.1 Inquadramento geologico generale

3.2 Modello geologico del sottosuolo di fondazione

MODELLO GEOLOGICO SITO N.1 – SEZIONE 1-1' E SEZIONE 3-3''

MODELLO GEOLOGICO SITO N.3 – SEZIONE 2-2' E SEZIONE 4-4'

4. Aspetti geomorfologici

5. Aspetti litologico-tecnici

6. Aspetti idrogeologici e di vulnerabilità degli acquiferi

7. Aspetti di pericolosità geologica (geomorfologica)

8. Aspetti di pericolosità idraulica

9. Aspetti di pericolosità sismica

9.1 Pericolosità sismica di base

9.2 Sismicità storica del comune di Pomarance e aspetti di microzonazione sismica

9.3 Aspetti di pericolosità sismica locale

10. Fattibilità dell'intervento

11. Conclusioni

Allegati

TAVOLA A – Aspetti di Quadro Conoscitivo

TAVOLA B – Modello geologico del sottosuolo nelle tratte di intervento

1. Premessa

La presente relazione è stata redatta allo scopo di definire il quadro conoscitivo e il modello geologico del sottosuolo di riferimento per gli interventi di messa in sicurezza della S.P. n. 329. Gli interventi sono tesi al consolidamento di due dissesti gravitativi presenti tra il km 16+800 e il km 17+100 circa. I siti di intervento si trovano in corrispondenza del Podere La Matronata, nel comune di Monteverdi Marittimo (PI), a sud-ovest dello stesso abitato di Monteverdi (vedi inquadramento nell'allegata Tavola A).

Gli interventi consistono nella realizzazione di opere di contenimento e ripristino del rilevato stradale nelle tratte interessate da rottura conclamata ed eventualmente da fessurazione a margine delle medesime tratte già franate.

Lo studio compendia le note geologiche, geomorfologiche, litologico-tecniche, idrogeologiche, di pericolosità geologica (di frana da PAI e geologica-geomorfologica da PS-RU), idraulica e sismica (pericolosità di base attesa per l'areale di interesse e sismicità storica). I territori comunali risultano attualmente non dotati di studi di Microzonazione Sismica, perciò a corredo della cartografia di quadro conoscitivo non è stata allegata alcuna cartografia afferente al tematismo della pericolosità sismica locale. Le indicazioni di cui tenere conto nella stima degli effetti stratigrafici e topografici sono stati trattati direttamente nei paragrafi relativi alla stima dell'azione sismica all'interno della relazione geotecnica.

Lo studio geologico e la redazione dei diversi tematismi di quadro conoscitivo dell'areale di interesse è stato effettuato tenendo conto sia delle linee guida VEL della Regione Toscana (così come indicato nelle istruzioni tecniche approvate con delibera d.g.r.t. n. 420/2010), che ai sensi del D.M. 17/01/2018. Gli studi geologici sono stati condotti sia attraverso un approfondimento a scala globale (comprensorio di interesse) che locale di dettaglio sul sito di interesse. A tale scopo per la rappresentazione della geologia, effettuata sulla scorta della cartografia geologica regionale esistente (CARG e Database Geologico regionale), la scala di rappresentazione utilizzata è quella di 1:10.000. Per gli aspetti geomorfologici, litologico-tecnici e idrogeologici, nonché per le pericolosità sugli aspetti geologici e idraulici, la cartografia è stata riportata in scala 1:5.000 e 1:2.000.

2. Inquadramento geografico e morfologico

L'area di studio fa parte è inquadrabile all'interno del territorio comunale di Monteverdi Marittimo (PI). Tale comune si colloca tra i territori di Bibbona, Monteverdi Marittimo e

Pomarance (a nord e ad est), di Castagneto Carducci e Sassetta (ad ovest), di Suvereto e Monterotondo Marittimo (a sud).

I due siti oggetto di studio sono individuabili nella porzione occidentale del territorio comunale di Monteverdi.

Il territorio comunale di Monteverdi Marittimo ha una estensione pari a circa 99 km² e comprende al suo interno una parte del settore occidentale della Val di Cecina. Il territorio risulta caratterizzato da prevalenti zone collinari talora interrotte da ridotte zone vallive per la presenza di torrenti che nella parte sud risultano tributari del Fiume Cornia.

Le altimetrie presenti nell'areale di studio variano tra valori massimi di circa 390 m (in corrispondenza delle zone collinari presenti a monte della strada provinciale) e circa 220 m s.l.m.m. (a valle della stessa provinciale 329). Lo stesso tracciato stradale in corrispondenza dei due tratti interessati da frane, si trovano alla quota di circa 348-349 m s.l.m..

L'uso del suolo nella zona di intervento è riconducibile in prevalenza a copertura boschiva a latifoglie e zone arbustive.

3. Inquadramento geologico

3.1 Inquadramento geologico generale

Dall'analisi della cartografia CARG aggiornata, redatta in scala 1:10.000, relativamente alla sezione n. 306010 del foglio n. 306 "Massa Marittima" (progetto "Continuum Geologico della Regione Toscana"), nonché dalla consultazione del Data-Base Geologico della Regione Toscana e sulla scorta delle evidenze di campagna riscontrate in corrispondenza del sito di interesse e di un più ampio intorno (rilevamento geologico realizzato a supporto del presente studio) si evince che nel comprensorio di studio affiorano le seguenti unità geologiche (vedi Tavola A):

DEPOSITI QUATERNARI

DEPOSITI OLOCENICI

Forme e depositi

- Corpo di frana (a1)

Frana con stato di attività e tipo di movimento indeterminato. Si tratta di depositi caotici di litotipi eterogenei, costituiti da elementi litoidi più o meno eterometrici, immersi in una

matrice di natura variabile da limoso-sabbiosa a limoso-argillosa a seconda del litotipo di origine. Lo spessore è di qualche metro.

- Depositi di versante (aa)

Si tratta di accumuli lungo i versanti di frammenti litoidi, eterometrici, angolosi, talora stratificati con matrice sabbiosa o sabbioso-limosa prevalentemente al piede dei versanti dove affiorano le formazioni litoidi.

DOMINIO LIGURE INTERNO

Unità dei Flysch a Elmintoidi, Unità di Ottone

- Flysch di Ottone-Monteverdi (OMT)

Calcari, calcari marnosi, marne ed argilliti calcaree torbiditiche con intercalazioni di arenarie e siltiti. In particolare per la formazione di Monteverdi si registra la presenza di sequenze torbiditiche calcareo-marnose generalmente con base arenacea. In prossimità di Monteverdi e del sito di studio si osservano sequenze delle seguenti litofacies:

- calcari marnosi di colore grigio-scuro, a grana in genere medio-fine, talvolta con base arenacea; spesso presentano una caratteristica sfaldatura detta a “piuma”; solo raramente sono silicei. La potenza degli strati di questa litofacies è variabile, da centimetrica a qualche metro (max 3 m);
- marne di colore grigio-scuro o nero; presentano talvolta una caratteristica sfaldatura secondo piani obliqui alla stratificazione;
- areniti calcarifere grigio-scure, spesso gradate, con base fillosilicatica e grana variabile da media a finissima. Spessore degli strati variabile da centimetrino a metrico (max circa 1 m);
- calcari a grana fine e frattura concoide, di colore grigio chiaro. Spessore degli strati da centimetrino a decimetro;
- siltiti grigie finemente laminate ed argilliti nere.

L'ambiente di sedimentazione è marino profondo. Lo spessore della formazione talora risulta ridotto per fenomeni di laminazione tettonica.

Presentano spessori di qualche decina di metri.

(Cretacico sup. – Paleocene inf.)

- Flysch di Ottone-Monteverdi – Membro a lenti argillitico-marnose (α)

Si tratta di porzioni della ex-unità di Monteverdi, attuale OMT caratterizzate da torbiditi prevalentemente a grana (***ex MTVa***) in cui risultano pressoché assenti livelli calcarei. Si presentano perciò perlopiù come argilliti e argilliti marnose grigio-chiare o ocre e marne argillose grigio-scuere o marroni sottilmente foliettate. Lo spessore massimo di questo membro è circa 30 m

(Cretacico sup. – Paleocene inf.)

- Flysch di Ottone-Monteverdi – Membro a lenti argillitico-marnose (\mathbf{l})

Si tratta di porzioni della ex-unità di Monteverdi, attuale OMT caratterizzate da prevalenti livelli calcarei di colorazione generalmente grigio-chiara, con spessori da pochi centimetri a qualche decimetro.

Lo spessore massimo del membro è di 50 m.

a grana (***ex MTVa***) in cui risultano pressoché assenti livelli calcarei. Si presentano perciò perlopiù come argilliti e argilliti marnose grigio-chiare o ocre e marne argillose grigio-scuere o marroni sottilmente foliettate. Lo spessore massimo di questo membro è circa 30 m

(Cretacico sup. – Paleocene inf.)

All'interno della carta geologica generale sono state riportate le tracce di potenziali faglie dirette certe e faglie generiche, sviluppatesi all'interno del complesso del dominio ligure.

3.2 Modello geologico del sottosuolo

Ai sensi delle NTC 2018 è stato definito il modello geologico del sottosuolo nelle tratte stradali oggetto di intervento. La ricostruzione dei limiti verticali delle unità geologiche all'interno del volume significativo (ritenuto in questa fase per le opere ipotizzate), è basata sia sulle note geologiche di cartografia regionale CARG, che sui rilievi eseguiti in sito e sulle risultanze della campagna di indagini geognostiche e geofisiche eseguite a corredo del presente studio. Perciò il modello geologico del sottosuolo è stato discriminato (vedi allegata

Tavola B) in primo luogo sulla scorta delle evidenze litologiche desunte dai carotaggi geognostici, nonché tenendo conto dei rifrattori individuati con la sismica a rifrazione.

L'assetto geologico-stratigrafico del sottosuolo ricostruito per la tratta stradale della SP n. 329, in corrispondenza della prima frana (Sito n. 1 tra il km 17+000 e il km 17+100 circa, vedi sezione longitudinale 1-1' e trasversale 3-3' in Tavola B):

MODELLO GEOLOGICO SITO N. 1 - SEZIONE 1-1' E SEZIONE 3-3'

DEPOSITI QUATERNARI

DEPOSITI OLOCENICI

Forme e depositi

- Terreni di riporto (h5**) – da 0,0 a 1,5 m da p.c.**

Si tratta di terreni costituiti da ghiaia e breccia con rari ciottoli, in matrice sabbiosa limoso, addensati. Non risultano cartografati nella carta geologica generale in quanto come già detto è stata realizzata sulla scorta della cartografia CARG. Con le indagini di sottosuolo e i rilievi di superficie sono state aggiunte le coltri antropiche affioranti. Laddove è stato cartografato il corpo di frana, non è stata considerata la coltre antropica, in quanto ritenuta facente parte della coltre di frana (vedi Tav. B). Lo spessore varia tra 0,8 e 1,5 m circa da p.c..

- Corpo di frana (a1**) – da 0,0 a 8,0 m da p.c.**

Frana con stato di attività indeterminato e con movimento del tipo per scorrimento. Si tratta di depositi caotici di litotipi eterogenei, costituiti da elementi litoidi più o meno eterometrici, immersi in una matrice di natura variabile da limoso-sabbiosa a limoso-argillosa a seconda del litotipo di origine. Lo spessore è di qualche metro.

DOMINIO LIGURE INTERNO

Unità dei Flysch a Elmintoidi, Unità di Ottone

- Flysch di Ottone-Monteverdi – Membro a lenti argillitico-marnose (α**) – da 8,0 a 19,5 m da p.c.**

Si tratta di porzioni della ex-unità di Monteverdi, attuale OMT caratterizzate da torbiditi prevalentemente a grana (**ex MTVa**) in cui risultano pressoché assenti livelli calcarei. Si

presentano perciò perlopiù come argilliti e argilliti marnose grigio-chiare o ocra e marne argillose grigio-scuere o marroni sottilmente foliettate. Lo spessore massimo di questo membro è circa 30 m. Nel sito n. 1 di studio presenta uno spessore massimo di circa 19 m ed è costituito pressoché totalmente da argilliti e siltiti (vedi foto in fig. 1).

(Cretacico sup. – Paleocene inf.)



Fig. 1: Affioramento della Formazione DI Ottone – Membro ad argilliti-marnose (***a***) in corrispondenza della frana afferente al sito n.1.

- Flysch di Ottone-Monteverdi (**OMT**) – da 19,5 a 20,0 m da p.c.

Calcari, calcari marnosi, marne ed argilliti calcaree torbiditiche con intercalazioni di arenarie e siltiti. In particolare per la formazione di Monteverdi si registra la presenza di sequenze torbiditiche calcareo-marnose generalmente con base arenacea. In prossimità di Monteverdi e del sito di studio si osservano sequenze delle seguenti litofacies:

- calcari marnosi di colore grigio-scuro, a grana in genere medio-fine, talvolta con base arenacea; spesso presentano una caratteristica sfaldatura detta a “piuma”; solo raramente sono silicei. La potenza degli strati di questa litofacies è variabile, da centimetrica a qualche metro (max 3 m);
- marne di colore grigio-scuro o nero; presentano talvolta una caratteristica sfaldatura secondo piani obliqui alla stratificazione;

- areniti calcarifere grigio-scure, spesso gradate, con base fillosilicatica e grana variabile da media a finissima. Spessore degli starti variabile da centimetrino a metrico (max circa 1 m);
- calcari a grana fine e frattura concoide, di colore grigio chiaro. Spessore degli starti da centimetrino a decimetro;
- siltiti grigie finemente laminate ed argilliti nere.

L'ambiente di sedimentazione è marino profondo. Lo spessore della formazione talora risulta ridotto per fenomeni di laminazione tettonica.

All'interno del volume significativo si presume che sia presenti per pochi decimetri a partire da circa 19,5-20 m da p.c..

(Cretacico sup. – Paleocene inf.)

L'assetto geologico-stratigrafico del sottosuolo ricostruito per la tratta stradale della SP n. 329, in corrispondenza della seconda frana (Sito n. 2 tra il km 16+900 e il km 16+800 circa, vedi sezione longitudinale 2-2' e trasversale 4-4' in Tavola B):

MODELLO GEOLOGICO SITO N. 2 - SEZIONE 2-2' E SEZIONE 4-4'

DEPOSITI QUATERNARI

DEPOSITI OLOCENICI

Forme e depositi

- Terreni di riporto (h5) – da 0,0 a 1,5 m da p.c.

Si tratta di terreni costituiti da ghiaia e breccia con rari ciottoli, in matrice sabbiosa limoso, addensati. Non risultano cartografati nella carta geologica generale in quanto come già detto è stata realizzata sulla scorta della cartografia CARG. Con le indagini di sottosuolo e i rilievi di superficie sono state aggiunte le coltri antropiche affioranti. Laddove è stato cartografato il corpo di frana, non è stata considerata la coltre antropica, in quanto ritenuta facente parte della coltre di frana (vedi Tav. B). Lo spessore varia tra 0,8 e 1,5 m circa da p.c..

- Corpo di frana (**a1**) – da 0,0 a 7,6 m da p.c.

Frana con stato di attività indeterminato e con movimento del tipo per scorrimento. Si tratta di depositi caotici di litotipi eterogenei, costituiti da elementi litoidi più o meno eterometrici, immersi in una matrice di natura variabile da limoso-sabbiosa a limoso-argillosa a seconda del litotipo di origine. Lo spessore è di qualche metro.

DOMINIO LIGURE INTERNO

Unità dei Flysch a Elmintoidi, Unità di Ottone

- Flysch di Ottone-Monteverdi – Membro a lenti argillitico-marnose (**α**) – da 7,6 a 19,5 m da p.c.

Si tratta di porzioni della ex-unità di Monteverdi, attuale OMT caratterizzate da torbiditi prevalentemente a grana (**ex MTVa**) in cui risultano pressoché assenti livelli calcarei. Si presentano perciò perlopiù come argilliti e argilliti marnose grigio-chiare o ocra e marne argillose grigio-scuere o marroni sottilmente foliettate. Lo spessore massimo di questo membro è circa 30 m. Nel sito n. 2 di studio presenta uno spessore massimo di circa 19 m e si presenta in facies calcareo-marnosa, a rappresentare un passaggio prossimo all'unità madre del Flysch di Ottone-Monteverdi. E' costituito con percentuale prossima al 50% sia da livelli calcarei e calcareo-marnosi grigi (livelli lapidei), che da livelli siltitico-argillitici grigio-verdi (vedi foto in fig. 1).

(Cretacico sup. – Paleocene inf.)

- Flysch di Ottone-Monteverdi (**OMT**) – da 19,5 a 20,0 m da p.c.

Calcari, calcari marnosi, marne ed argilliti calcaree torbiditiche con intercalazioni di arenarie e siltiti. In particolare per la formazione di Monteverdi si registra la presenza di sequenze torbiditiche calcareo-marnose generalmente con base arenacea. In prossimità di Monteverdi e del sito di studio si osservano sequenze delle seguenti litofacies:

- calcari marnosi di colore grigio-scuro, a grana in genere medio-fine, talvolta con base arenacea; spesso presentano una caratteristica sfaldatura detta a “piuma”; solo raramente sono silicei. La potenza degli strati di questa litofacies è variabile, da centimetrica a qualche metro (max 3 m);

- marne di colore grigio-scuro o nero; presentano talvolta una caratteristica sfaldatura secondo piani obliqui alla stratificazione;
- areniti calcarifere grigio-scuri, spesso gradate, con base fillosilicatica e grana variabile da media a finissima. Spessore degli strati variabile da centimetrino a metrico (max circa 1 m);
- calcari a grana fine e frattura concoide, di colore grigio chiaro. Spessore degli strati da centimetrino a decimetro;
- siltiti grigie finemente laminate ed argilliti nere.

L'ambiente di sedimentazione è marino profondo. Lo spessore della formazione talora risulta ridotto per fenomeni di laminazione tettonica.

All'interno del volume significativo si presume che sia presenti per pochi decimetri a partire da circa 19,5-20 m da p.c..

(Cretacico sup. – Paleocene inf.)



Fig. 2: Ipotesi di affioramento della Formazione di Ottone – Membro ad argilliti-marnose (A) in corrispondenza della frana afferente al sito n.2. Possibile già passaggio ad Ottone.

Le unità cretache e neogene sopra descritte hanno origine con la genesi della catena appenninica, a seguito della quale per effetto della formazione di sovrascorrimenti e spostamento progressivo delle forze compressive verso NE le unità tettoniche denominate

Liguridi (derivanti dall'ambiente deposizionale del Dominio Ligure) si sono accavallate su unità del Dominio Toscano (vedi fig. 3).

L'assetto tettono-stratigrafico delle liguridi (unità alloctone) è il risultato del processo di deformazione crustale iniziato a partire dal Cretacico superiore e che si è protratto fino all'Eocene medio attraverso il quale è avvenuta la formazione della catena appenninica. Infatti con movimento compressivo verso NE, è avvenuto l'accavallamento di vari lembi crustali costituiti sia da rocce del basamento che da rocce sedimentarie. I contatti geologici tra le varie unità, molto spesso sono da ritenersi dei contatti tettonici.



Fig. 3: Domini paleogeografici dell'Appennino settentrionale

Nell'Eocene medio-superiore ha inizio la fase intracontinentale dell'orogenesi appenninica. In questa fase, come già accennato, si ha lo sviluppo di una tettonica a thrust e falde con sottoscorrimento verso ovest delle Unità Toscane (prima) e di quelle Umbro-Marchigiane (dopo) sotto le unità precedentemente impilate. Fenomeni gravitativi e di retroscorrimento, anche importanti, accompagnano in superficie questa strutturazione crostale.

Con la fine della fase compressiva appenninica, ha avuto inizio la fase distensiva che ha portato all'apertura del mar Tirreno e alla formazione dei sistemi ad horst e graben con il quale si sono formati i diversi bacini deposizionali neogenici e quaternari della Toscana (vedi fig. 4).

Questa nuova fase è stata caratterizzata da una tettonica distensiva che ha determinato un assottigliamento della crosta terrestre con conseguente sprofondamento della stessa lungo linee di rottura (*faglie*) adiacenti tra di loro. Le faglie sviluppatesi in questa fase presentano ovviamente tutte direzione appenninica, in quanto legate ai movimenti tettonici che hanno originato la stessa catena montuosa.

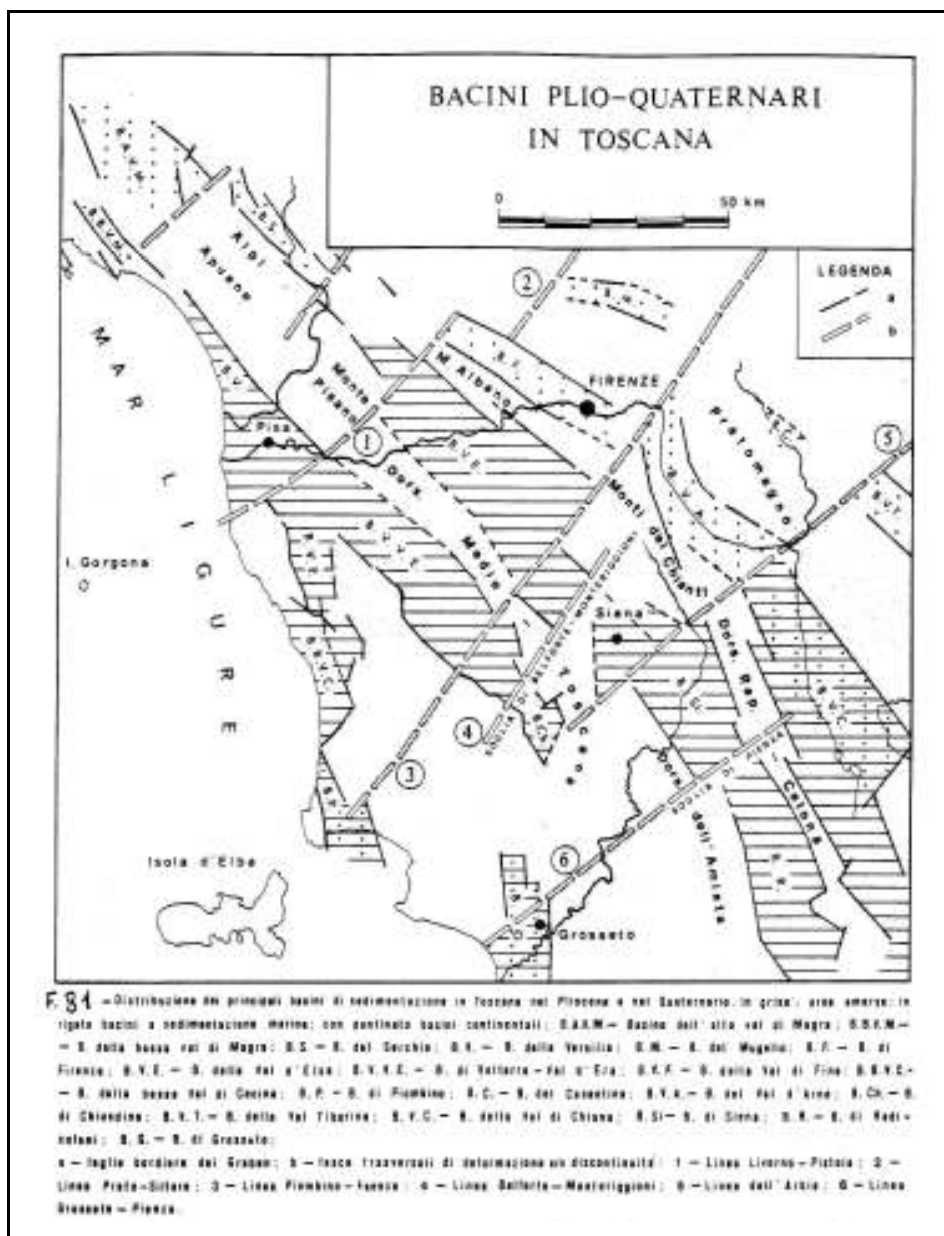


Fig. 4: Bacini deposizionali neogenici e quaternari della Toscana.

La deposizione dei sedimenti “marini” plio-pleistocenici è stata caratterizzata più volte dall’alternarsi di fasi trasgressive e fasi regressive. Le variazioni granulometriche presenti nei sedimenti marini sono la testimonianza che nel passato si sono alternati ambienti deposizionali di mare profondo o poco profondo con ambienti di spiaggia o addirittura di tipo continentale-lacustre.

Successivamente nel Pliocene medio superiore, l’innescarsi di un generale fenomeno di sollevamento tettonico (isostatico) ha portato al verificarsi di una regressione del mare con il conseguente instaurarsi di un ambiente continentale (deposizione di sedimenti fluvio-lacustri).

I movimenti crustali più importanti sono riconducibili cronologicamente al Miocene superiore.

4. Aspetti geomorfologici

Relativamente agli aspetti geomorfologici, la tratta della SP 329 soggetta a fenomeni franosi ed oggetto di studio risulta intersecare due principali corpi franosi recentemente mobilitatisi e perciò identificabili ancora come potenzialmente attivi per evoluzione verso monte della corona di frana. Le frane interessano parte della carreggiata stradale, obliterando almeno una delle due corsie.

I due dissesti hanno un fronte di frana rispettivamente di 15 e 20 m e una estensione a valle paragonabile a quella del coronamento. Perciò i corpi di frana attualmente hanno una estensione contenuta. Tuttavia risulta più ampia l'estensione della fessurazione pervasiva esistente sulla soletta di asfalto, osservabile in loco a margine sulle estremità di monte dei coronamenti, nell'intervallo kilometrico 16+800 – 17+100.

Sulla carta geomorfologica, redatta in scala 1:5.000, sono stati riportati i due corpi di frana.

Il corpo di frana presente più in vicinanza della kilometrica 16+800 è caratterizzato da una maggiore estensione. Non a caso si sviluppa alla sommità di una fascia collinare in cui ha origine un ramo del reticolo idraulico locale e perciò maggiormente soggetta ad erosione con naturale approfondimento del torrente sottostante e scalzamento del piede con conseguente movimentazione della coltre detritica presente alla base del rilevato stradale.

Similari condizioni morfo-evolutive del versante si riscontrano in prossimità dell'altra frana (presente a sud-ovest), anche se qui il corpo si è sviluppato al bordo di una zona di concentrazione delle acque di ruscellamento provenienti dalla porzione di monte del versante (zona di cresta a monte di Pod. Matronata). A sud di Pod. Matronata, infatti, sussiste una fascia caratterizzata da alcuni tratti dove è possibile individuare scarpate di erosione attive o quiescenti. In tale porzione del versante è individuabile, anche sulla scorta di studi pregressi, un coltre detritica colluviale (depositi eluvio-colluviali).

Altrove in zone distanti da quella di intervento, sono riscontrabili zone di alto morfologico (creste rocciose) e coltri di versante riconducibili o a depositi di versante o a frane quiescenti e/o attive.

Le pendenze in corrispondenza dei due siti di intervento si aggirano attorno a valori compresi tra il 25 e il 31%. L'inclinazione del pendio perciò varia generalmente tra circa 14 e 18 °. In particolare per entrambe le due frane l'inclinazione risulta $\geq 15^\circ$.

Entrambi i coronamenti delle frane si trovano ad una quota altimetrica di circa 349 m s.l.m.m..

Nella Tavola A è riportato uno stralcio della cartografia IFFI relativamente all'area di studio, a comprova della esistenza delle coltri di frana e di versante già mappate in precedenza all'interno delle diverse cartografie esistenti (es. CARG).

Dall'intersezione delle informazioni geologiche, litologico-tecniche (descritte di seguito) e geomorfologiche, si nota che in corrispondenza della tratta stradale soggetta a fenomeni di rottura del rilevato, alla base è presente del substrato principalmente argillitico. Tale litotipo se sottoposto ad alterazione potrebbe facilitare nel tempo l'instaurarsi di processi di rottura progressiva del pendio, i quali poi tendono a sfociare in rotture repentine come quelle verificatesi nei due siti da consolidare.

Dalle risultanze delle indagini geognostiche si è potuto osservare che i corpi di frana attivi attuali hanno uno spessore compreso tra circa 3 e 4 m. Tuttavia le indagini hanno evidenziato la presenza di una coltre a consistenza limitata ben più spessa, la quale potrebbe essere ricondotta o a vecchie deformazioni progressive del versante o comunque ad una condizione litologica predisponente per l'eventuale instaurarsi di ulteriori frane più profonde in futuro. La coltre infatti raggiunge spessori di circa 8 m da p.c..

5. Aspetti litologico-tecnici

Nella tavola di quadro conoscitivo (Tavola A) è mostrata la carta litologico-tecnica e dei dati di base dell'area di interesse. Tale tematismo è stato redatto in scala 1:5.000 relativamente ad alle tratte oggetto di studio.

Le unità litologico-tecniche discriminate sono descritte di seguito.

Unità B

Unità litologico-tecnica **B3** descrivibile come materiale lapideo stratificato costituito da alternanze ordinate di livelli lapidei (L) e livelli pelitici (P), con prevalenza dei livelli lapidei su quelli pelitici ($L > 75\%$). E' riconducibile alla formazione geologica OMT e dei relativi membri geologici.

Unità litologico-tecnica **B5**: materiale lapideo stratificato costituito da alternanze ordinate di livelli lapidei e livelli pelitici, con percentuale di livelli pelitici $> 75\%$ e talora discontinuità laterale e verticale dei livelli lapidei presenti nella serie stratigrafica. La parte pelitica risulta

costituire pressoché totalmente la serie stratigrafica. E' individuabile in corrispondenza della tratta stradale oggetto di intervento e soggetta a processi deformativi del versante. E' associabile al membro dell'unità di Ottone-Monteverdi costituito da argilliti e marne.

Unità E

Unità litologico-tecnica E2.a3/4.t3: materiali granulari non cementati o poco cementati costituiti da brecce in matrice sabbiosa, da poco addensate a sciolte, con presenza di frazione interstiziale coesiva, non sufficiente ad alterare il carattere granulare globale del terreno. Comprende le coltri detritiche di versante (eluvio-colluviali) e di frana generate dal substrato dell'unità di Ottone-Monteverdi.

Unità F

Unità litologico-tecnica F1.s5/6: materiali coesivi con consistenza limitata o nulla costituiti da limo con argilla, da privo di consistenza a poco consistente. Sono compresi i depositi delle coltri di frana che si originano dal substrato fliscioide di natura principalmente argillitico-marnoso del membro di Monteverdi (ex MTVa).

Sulla carta litologico-tecnica sono stati riportati i dati di base riferiti alle indagini geognostiche e sismiche realizzate per il presente studio.

Le opere di consolidamento andranno ad interferire nei primi metri di sottosuolo con materiali afferenti all'unità F e talora all'unità E. Solo a profondità elevata si raggiungono materiali riconducibili all'unità B (> 8 m).

6. Aspetti idrogeologici e di vulnerabilità degli acquiferi

Dallo studio delle caratteristiche medie di permeabilità delle unità geologiche cartografate in scala 1:5.000 per l'area di studio, è stata prodotta la carta idrogeologica di dettaglio per il sito di intervento (vedi tavola di quadro conoscitivo).

L'analisi ha evidenziato la presenza di litotipi per cui sono discriminabili classi di permeabilità variabili nell'intervallo bassa/medio-elevata.

L'unità idrogeologica a **permeabilità bassa (B)**, discriminata all'interno della cartografia di dettaglio, è riconducibile l'ammasso roccioso di natura argillitico-marnosa del membro afferente alla formazione OMT. A tale unità idrogeologica è associabile una permeabilità $<10^{-7}$ m/s.

L'unità idrogeologica a **permeabilità medio-bassa (MB)** rappresenta le coltri detritiche di versante eluvio-colluviali e franose prodotte dall'alterazione del substrato argillitico della formazione Ottone-Monteverdi. Per tale unità è ipotizzabile una permeabilità dell'ordine di circa $10^{-6} - 10^{-7}$ m/s.

L'unità idrogeologica a **permeabilità media (M)** presenta come serbatoio lo scheletro roccioso dell'unità Ottone-Monteverdi. A tale unità è associabile una permeabilità dell'ordine di circa $10^{-5} - 10^{-6}$ m/s.

All'interno dell'unità idrogeologica a **permeabilità medio-alta (MA)** sono compresi i depositi eluvio-colluviali e di frana generati dai processi di alterazione del substrato fliscioide dell'unità OMT. A tale unità idrogeologica è associabile una permeabilità dell'ordine di circa $10^{-5} - 10^{-4}$ m/s.

Sulla scorta della discretizzazione delle unità idrogeologiche con le diverse classi di permeabilità, è possibile definire per l'area di studio le seguenti classi di vulnerabilità degli acquiferi:

- **vulnerabilità degli acquiferi bassa**, riconducibile al membro ad argilliti e marne dell'unità OMT
- **vulnerabilità degli acquiferi medio-bassa**, riconducibile alle coltri eluvio-colluviali e di frana formatesi all'interno del substrato argillitico;
- **vulnerabilità degli acquiferi media**, riconducibile all'ammasso roccioso dell'unità OMT;
- **vulnerabilità degli acquiferi medio-elevata**, associabile alle coltri di versante maggiormente permeabili.

Per quanto concerne la quota della superficie piezometrica all'interno del versante, si evidenzia che dalla lettura effettuata in data 20 agosto 2018 sul piezometro a tubo aperto installato in loco all'interno del foro di sondaggio S2, si è potuto osservare che la superficie piezometrica alla data del rilievo si attesta ad una profondità di circa **7,82 m da p.c.**

Come descritto nella parte di relazione afferente alla modellazione geotecnica, il dato idrogeologico riscontrato all'interno del piezometro, trova corrispondenza con la natura litologica dei materiali restituiti dal carotaggio. In particolare l'orizzonte incoerente o comunque poco coerente saturo si trova sopra alla porzione di substrato maggiormente integra o comunque poco fratturata, la quale probabilmente costituisce limite semi-permeabile o impermeabile nei confronti della circolazione idrica più superficiale lungo il versante.

Gli interventi di realizzazione dei consolidamenti saranno da realizzare su materiali caratterizzati da un grado di vulnerabilità variabile da medio-basso a basso.

7. Aspetti di pericolosità geologica (geomorfologica)

Ai sensi del regolamento della regione Toscana n. 53/R del 2011 sono distinte le seguenti classi di pericolosità geologica:

Pericolosità geologica molto elevata (G.4): aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi.

Pericolosità geologica elevata (G.3): aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%.

Pericolosità geologica media (G.2): aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%.

Pericolosità geologica bassa (G.1): aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

Nella tavola di quadro conoscitivo (Tavola A) è stata riportata la cartografia di PS in scala 1:2000 esclusivamente ridotta ad un buffer di circa 100 m ritenuto significativo per l'evoluzione dei fenomeni oggetto di studio. Da tale cartografia si evince che entrambi i siti di intervento delle frane (sito n. 1 e n. 2) sono soggetti a pericolosità geologica media (G.2). Ovviamente in corrispondenza dei corpi di frana la pericolosità risulta molto elevata (G.4), per la quale la cartografia non risulta aggiornata.

In allegato all'interno della Tavola di Quadro Conoscitivo si riporta un estratto anche della carta di pericolosità da frana dell'AdB Toscana Costa in scala 1:5000, relativamente al solito buffer significativo sopra menzionato.

Si nota che in corrispondenza della zona di studio non risultano tracciate particolari aree a pericolosità se non poco ad ovest della seconda frana movimentatasi in corrispondenza delle

contri eluvio-colluviali riportate nella carta geomorfologica. In corrispondenza di tali depositi, infatti, per effetto delle pendenze e della natura dei materiali detritici è stata riportata una zona a **P.F.E.** (pericolosità da frana elevata).

Al punto 1 dell'art. 13 delle Norme Tecniche di Piano in merito alle aree P.F.M.E. è così definito:

- Nelle aree P.F.M.E. sono consentiti gli interventi di consolidamento, bonifica, protezione, sistemazione dei fenomeni franosi, nonché quelli atti a controllare e mitigare i processi geomorfologici che determinano le condizioni di pericolosità molto elevata, approvati dall'Ente competente, tenuto conto del presente Piano di Assetto Idrogeologico. Gli interventi dovranno essere tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.

Al punto 1 dell'art. 14 delle Norme Tecniche di Piano in merito alle aree P.F.E. è così definito:

- Nelle aree P.F.E. sono consentiti gli interventi di consolidamento, bonifica, sistemazione, protezione e prevenzione dei fenomeni franosi, nonché quelli atti a controllare e mitigare gli altri processi geomorfologici che determinano le condizioni di pericolosità elevata, approvati dall'Ente competente, tenuto conto del presente Piano di Assetto Idrogeologico. Gli interventi dovranno essere tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.

8. Aspetti di pericolosità idraulica

Ai sensi del regolamento della regione Toscana n. 53/R del 2011 sono distinte le seguenti classi di pericolosità idraulica:

Pericolosità idraulica molto elevata (I.4): *aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr < 30$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni: a)vi sono notizie storiche di inondazioni; b)sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori*

rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

Pericolosità idraulica elevata (I.3): *aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < TR < 200$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni: a)vi sono notizie storiche di inondazioni; b)sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.*

Pericolosità idraulica media (I.2): *aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < TR < 500$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni: a)non vi sono notizie storiche di inondazioni; b)sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.*

Pericolosità idraulica bassa (I.1): *aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni: a)non vi sono notizie storiche di inondazioni; b)sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.*

Nella tavola di quadro conoscitivo è stata riprodotta la carta della pericolosità idraulica come redatta a livello di RU comunale, limitatamente al buffer significativo dell'area di studio. Da tale tematismo si evince che in sito non sono presenti aree a pericolosità significativa per gli aspetti idraulici.

Perciò la pericolosità idraulica nell'area di intervento risulta **bassa** o irrilevante (**I.1**).

9. Aspetti di pericolosità sismica

9.1 Pericolosità sismica di base

Con Deliberazione GRT n° 431 del 19 giugno 2006 la Giunta Regionale della Toscana approvava la riclassificazione sismica del territorio regionale, applicando i criteri nazionali riportati nell'O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006, di cui la Mappa di Pericolosità Sismica in figura 5 ne rappresenta l'Allegato 1.

Tale classificazione teneva conto della individuazione della pericolosità sismica locale e della relativa azione sismica di progetto sulla base di un approccio “zona-dipendente”, metodo legato anche alla normativa nazionale vigente nel 2006 in materia di costruzioni (DM 1996 e NTC 2005). Secondo la GRT n°431/2006 il comune di Monteverdi Marittimo risultava classificato in **zona 3**.

Ai sensi delle nuove Norme Tecniche (D.M. 14/01/2008) la pericolosità sismica di base deve essere individuata sulla mappa di pericolosità prodotta a livello nazionale dall'I.N.G.V (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) nella quale tale pericolosità è espressa in termini di accelerazione massima orizzontale delle onde sismiche su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s) e con superficie topografica orizzontale (condizione topografica T1).

La stima della pericolosità sismica risulta basata su un approccio di tipo sito-dipendente, dove la pericolosità non è più assegnata per territorio comunale ma sui nodi di una griglia di punti a maglia quadrata presenti su tutto il territorio nazionale.

La pericolosità sismica di base da utilizzare per il calcolo di quella progettuale è determinata all'interno del territorio compreso tra quattro vertici della maglia. Tali vertici sono identificati da un codice univoco (ID), da coordinate geografiche espresse in gradi decimali (latitudine e longitudine) e da parametri spettrali (a_g/g , F_0 , T_c^*) riferiti a diversi tempi di ritorno T_r .

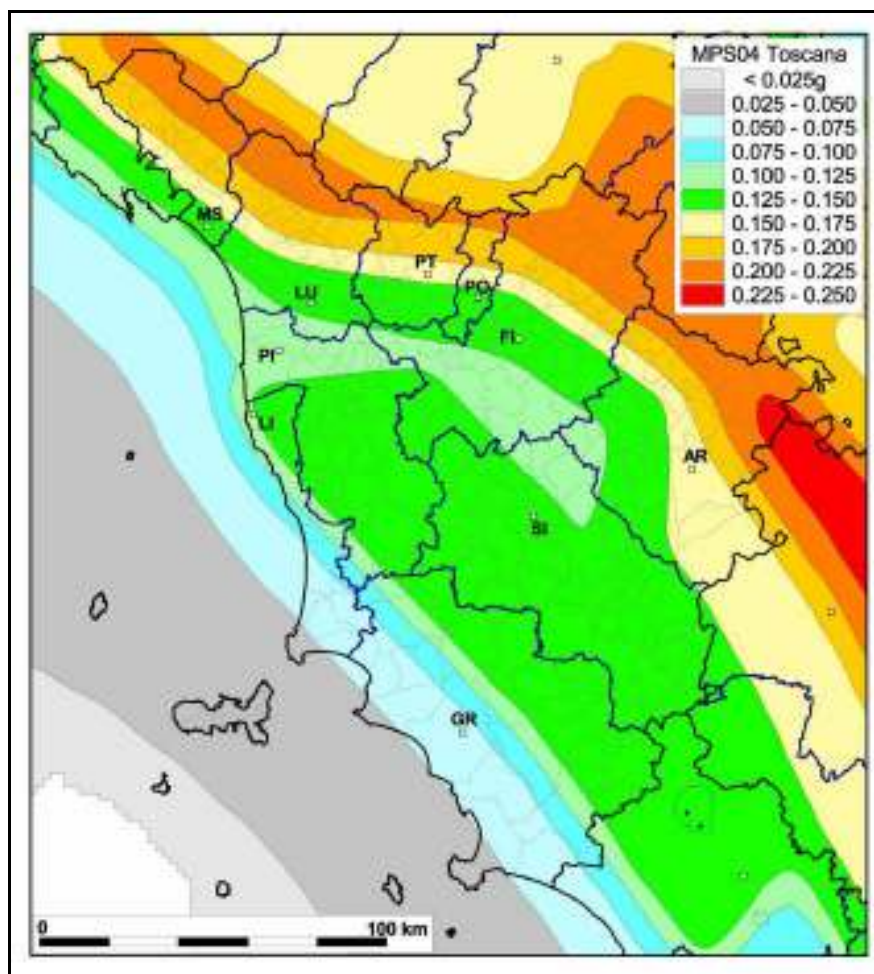


Fig. 5: Mappa di pericolosità sismica (MPS) della Toscana (mappa mediana al 50° percentile). I valori di accelerazione sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (INGV, 2004)

In fig. 7 è mostrato un estratto della mappa dell'INGV, relativo al territorio comunale di Monteverdi Marittimo, con riportati i nodi e la relativa scala di valori associati di accelerazione sismica su suolo rigido, riferiti ad un tempo di ritorno di 475 anni e una probabilità di superamento in 50 anni del 10%.

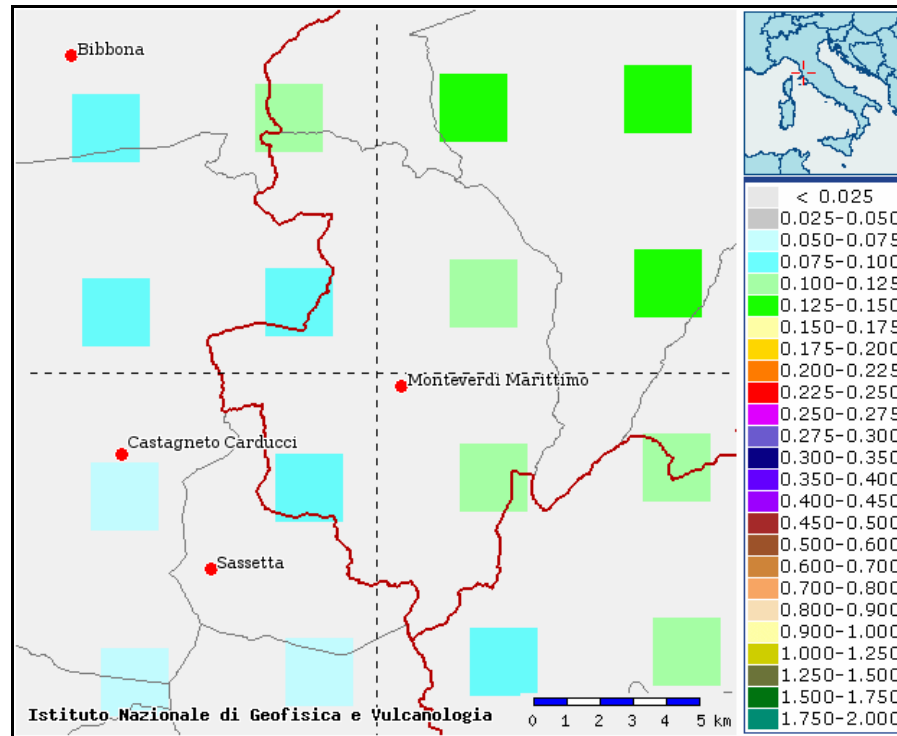


Fig.6: Mappa di pericolosità sismica (INGV) relativa al territorio comunale di Monteverdi Marittimo (mappa mediana al 50° percentile). I valori di accelerazione associati a ciascun nodo sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (INGV, 2004)

Considerando la necessità di adattare la classificazione sismica del territorio regionale alla nuova mappa di pericolosità sismica (sito-dipendente), sulla scorta dei valori di a_g riferiti ai diversi punti della maglia e tenendo conto di una serie di aspetti valutativi legati alla presenza, all'interno dei territori comunali, di nodi con valori di $a_g > 0,15g$, è stata prodotta la nuova mappa di classificazione sismica regionale approvata con Del. GRT n. 421/2014.

Secondo la nuova classificazione, il comune di Monteverdi Marittimo è stato riconfermato in **zona 3**.

Di seguito è mostrata l'ubicazione del comune di Monteverdi Marittimo sulla nuova mappa di classificazione sismica dei comuni toscani (vedi fig. 7).

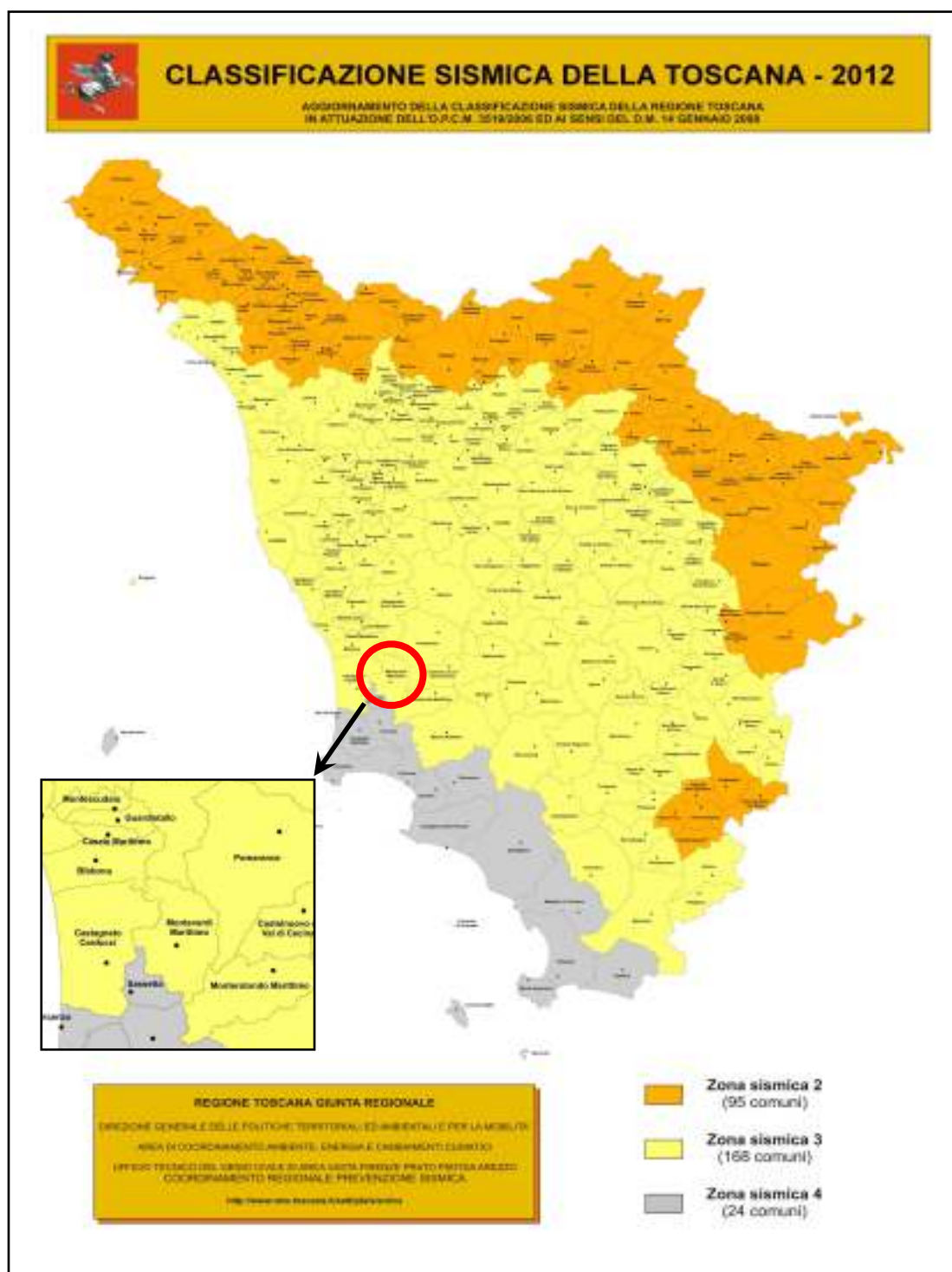


Fig.7: Mappa di pericolosità sismica della Regione Toscana

Di seguito si riportano i parametri sismici sito-specifici estrapolati per la zona di studio lungo la SP 329.

Sito in esame.

latitudine: 43,167008
longitudine: 10,682163
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 22714	Lat: 43,1509	Lon: 10,6800	Distanza: 1803,258
Sito 2	ID: 22715	Lat: 43,1525	Lon: 10,7484	Distanza: 5611,858
Sito 3	ID: 22493	Lat: 43,2025	Lon: 10,7462	Distanza: 6520,295
Sito 4	ID: 22492	Lat: 43,2009	Lon: 10,6776	Distanza: 3780,885

Parametri sismici

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

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,034 g
Fo: 2,557
Tc*: 0,206 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,042 g
Fo: 2,566
Tc*: 0,224 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,095 g
Fo: 2,584
Tc*: 0,275 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,119 g
Fo: 2,594
Tc*: 0,282 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:
Ss: 1,200
Cc: 1,510

	St:	1,200	
	Kh:	0,010	
	Kv:	0,005	
	Amax:	0,480	
	Beta:	0,200	
SLD:			
	Ss:	1,200	
	Cc:	1,480	
	St:	1,200	
	Kh:	0,012	
	Kv:	0,006	
	Amax:	0,588	
	Beta:	0,200	
SLV:			
	Ss:	1,200	
	Cc:	1,420	
	St:	1,200	
	Kh:	0,027	
	Kv:	0,014	
	Amax:	1,338	
	Beta:	0,200	
SLC:			
	Ss:	1,200	
	Cc:	1,420	
	St:	1,200	
	Kh:	0,041	
	Kv:	0,021	
	Amax:	1,677	
	Beta:	0,240	

9.2 Sismicità storica del comune di Monteverdi Marittimo e aspetti di Microzonazione Sismica

All'interno del portale INGV per l'area di Monteverdi Marittimo non è presente alcuna catalogazione di eventi sismici storici di interessi per il territorio comunale.

Per quanto concerne la microzonazione sismica del territorio di Monteverdi, non si è a conoscenza della esistenza di studi di microzonazione tali da poter correlare i siti di intervento a zone suscettibili di amplificazione sismica.

Relativamente alla presenza nel territorio di studio di strutture tettoniche potenzialmente attive e capaci, si evidenzia che dallo studio del comprensorio di interesse non è emersa la presenza di faglie attive o potenzialmente attive in grado di generare deformazioni in superficie fino a piano campagna.

Tale dato è stato confermato per mezzo della consultazione delle banche dati nazionali di riferimento per la catalogazione delle faglie attive e capaci (banca dati DISS-INGV e ITHACA-ISPRA).

9.3 Aspetti di pericolosità sismica locale

Ai sensi del regolamento della regione Toscana n. 53/R del 2011 sono distinte le seguenti classi di pericolosità sismica locale:

Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4): zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; terreni suscettibili di liquefazione dinamica in comuni classificati in zona sismica 2;

Pericolosità sismica locale elevata (S.3): zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri;

Pericolosità sismica locale media (S.2): zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3);

Pericolosità sismica locale bassa (S.1): zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

Le misure di sismica attiva effettuate per il presente studio fanno ipotizzare una pericolosità sismica locale per il sito media (S.2). Tuttavia essendo in corrispondenza della frana, trattandosi di frana attiva, è da considerare una **pericolosità sismica locale molto elevata**

(S.4). Per tale tematismo, comunque, mancando la cartografia da strumento urbanistico comunale, nonché di Microzonazione Sismica, non è stata riportata alcuna cartografia nell'allegata tavola di quadro conoscitivo. Le indicazioni di pericolosità precedentemente riportate sono solamente un contributo indicativo che si vuole dare per il presente studio e che non vuole sostituire i dati ufficiali dello strumento urbanistico comunale.

Si evidenzia che le risultanze delle prove MASW hanno restituito per entrambi i corpi di frana una categoria di sottosuolo (a cui riferirsi per la stima dell'azione sismica di progetto) **B**.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, alla categoria **B** appartengono *“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.*

10. Fattibilità dell'intervento

Ai sensi della D.P.G.R. n. 53/R del 2011, sono previste le seguenti condizioni di fattibilità:

- **Fattibilità senza particolari limitazioni (F1):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

- **Fattibilità con normali vincoli (F2):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

- **Fattibilità condizionata (F3):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.

- **Fattibilità limitata (F4):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi, dati da attività di monitoraggio e verifiche atte a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

Al fine di realizzare l'intervento, trattandosi di intervento diretto, non è necessario esprimere una fattibilità dello stesso intervento. Si evidenzia, inoltre, come per gli aspetti di pericolosità geologica (geomorfologica), idraulica e sismica locale, che a livello di strumento urbanistico

comunale vigente non sussistono cartografie rappresentative per il sito di intervento esplicative di tali note.

Al fine comunque di definire completamente gli aspetti legati alle note di pericolosità e fattibilità attese per l'intervento, si presume che la fattibilità dell'intervento possa risultare similmente alle seguenti condizioni:

- **fattibilità limitata (F4)** per gli aspetti di pericolosità geologica (geomorfologica)
- **fattibilità senza particolari limitazioni (F1)** per gli aspetti idraulici
- **fattibilità limitata (F4)** per gli aspetti sismici,

Gli interventi oggetto di progettazione sono tesi a diminuire la pericolosità attesa e perciò la campagna geognostica e geofisica realizzata a supporto della progettazione e del presente studio, soddisfa le richieste di approfondimento previste dalla 53/R per situazioni di pericolosità geologica e sismica elevata o molto elevata e delle relative condizioni di fattibilità sopra ipotizzate.

11. Conclusioni

L'analisi di quadro conoscitivo per gli aspetti geologici ha evidenziato che a scala regionale l'areale di studio è interessato da un substrato geologico costituito dall'unità di Ottone-Monteverdi (OTM). Inoltre è emersa la presenza, in corrispondenza delle frane oggetto di bonifica, di una sotto-unità caratterizzata da elevata abbondanza di livelli pelitici rispetto a quelli propriamente litoidi (calcarei e calcareo-marnosi) che contraddistinguono la serie dell'unità OMT.

L'analisi geomorfologica non ha restituito particolari evidenze rispetto a quelle già riscontrate sulla cartografia dello strumento urbanistico comunale.

L'analisi idrogeologica ha evidenziato l'esistenza in loco di materiali a bassa permeabilità che comunque diviene elevata laddove il pendio risulta interessato da corpi franosi o detritici.

L'analisi delle pericolosità attese evidenzia una pericolosità molto elevata per gli aspetti geologici (geomorfologici) e sismici (potenzialmente) solo in corrispondenza dei due piccoli corpi di frana, altrove risulta attesa una pericolosità media. Inoltre risulta irrilevante la pericolosità idraulica.

Lo studio di modellazione geologica del sottosuolo ha evidenziato la presenza lungo il tracciato stradale di materiali di riporto per spessori mediamente pari ad 1 m, i quali si trovano sovrapposti a materiali detritici incoerenti rappresentativi talora sia di presunte coltri eluvio-

colluviali di versante che di alterazione del substrato roccioso. Tali coltri risultano costituiti da materiali brecciati nei quali clasti di breccia da centimetrica a decimetrica di natura calcarea e calcareo-marnosa risulta immersa in una matrice limoso-argillosa legata all'alterazione delle siltiti e argilliti presenti nel medesimo substrato. Laddove sono stati tracciate le coltri di frana sono state riportate all'interno del modello geologico egualmente coltri di frana con spessori di qualche metro (unità a1).

Per la SP 329 sono stati analizzati due siti interessati da due distinte frane sul rilevato, collocate a poche decine di metri l'una dall'altra. Il primo sito è inquadrabile approssimativamente al km 17+000, il secondo in vicinanza del km 16+800.

Il primo sito afferente al km 17+000, pur correlabile con il modello geologico-stratigrafico ricostruito per il secondo sito, risulta caratterizzato da una geologia del sottosuolo tale da considerare le condizioni geotecniche sulla verticale del km 17+000 più scadenti rispetto a quelle del km 16+800. Infatti la stratigrafia del sondaggio S1 ha evidenziato che l'unità geologica caratteristica del 1° sito di studio (membro a peliti dell'unità di Ottone-Monteverdi, unità α) è caratterizzata da una quantità elevata di peliti ($\geq 75\%$ della carota) rispetto ai livelli calcarei e calcareo-marnosi. Di tale aspetto ne dovrà essere tenuto conto in fase di progettazione per il consolidamento della 1° frana.

A supporto dell'analisi geologico-geotecnica sono state realizzati sondaggi geognostici con prelievo in foro di campioni indisturbati e profili sismici con sismica a rifrazione in onde P, a cui sono state associate prove MASW per la determinazione del parametro $V_{s,30}$. L'analisi geomorfologica coadiuvata dallo studio geologico di dettaglio del sottosuolo (analisi stratigrafica con indagini geognostiche) ha permesso di supporre l'esistenza di più superfici di scivolamento a diverse profondità. In particolare si presume per entrambi i siti l'esistenza di una superficie di scivolamento attuale collocata all'interno delle coltri di versante o di alterazione del substrato (entro i primi 4 m circa da piano stradale) e una ulteriore superficie più profonda collocata a circa 8-9 m correlabile con un ulteriore livello più scadente riscontrato a circa 8-9 m da p.c.. Quest'ultima condizione è risultata più evidente nel sondaggio S2, ma le prove MASW evidenziano inversioni di velocità alla quota suddetta in entrambi i siti di studio.

L'analisi idrogeologica del versante, ha evidenziato che (come si evince dalla lettura effettuata in data 20 agosto 2018 sul piezometro S2) la superficie piezometrica alla data del rilievo si attesta ad una profondità di circa **7,82 m da p.c..**

Tale valore è ritenuto dal sottoscritto congruo con l'assetto lito-stratigrafico ricostruito per la frana n.2 in corrispondenza della quale è stato realizzato il sondaggio S2. Infatti dal carotaggio dei materiali presenti nei primi 15 m si nota che tra circa 6,90 e 7,60 (ma probabilmente anche fino a circa 8 m da p.c.) è presente un orizzonte di materiale prevalentemente limoso-argilloso, bruno, plasticizzato, con basso grado di consistenza e facilmente lavorabile con le dita, il quale è stato associato dal sottoscritto in prima istanza ad un probabile orizzonte deformativo e quindi ad una eventuale superficie di scorrimento. La corrispondenza tra quota della falda rilevata e litologia potrebbe suffragare l'ipotesi dell'esistenza di una zona deformativa a circa 8 m sulla verticale del sondaggio S2.

La modellazione sismica del sottosuolo ha evidenziato in tutti i siti di misurazione che la categoria a cui riferirsi per la determinazione dell'azione sismica di progetto è la categoria **B**. Ai sensi del D.M. 17/01/2018, alla categoria **B** appartengono *“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.*

lì, 20 agosto 2018

Dott. Geol. Francesco Agnelli

ALLEGATI

COMMITTENTE

COMUNE VERNIO (PO)
SETTORE LAVORI PUBBLICI
Piazza del comune, 20 - 59024 - S. Quirico di Vernio (PO)

PROGETTO

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DELLA STRADA
REGIONALE 325, NEL TRATTO DI TRACCIATO
CORRISPONDENTE ALLA FRAZIONE DI TERRIGOLI

TITOLO ELABORATO

TAVOLA A - ASPETTI DI QUADRO CONOSCITIVO

CONSULENTE INCARICATO

DOTT. GEOL. FRANCESCO AGNELLI
Via Pietro Nenni, loc. Civettolo n. 65 - 53049 Torrita di Siena (SI)
tel. 3478247486/0577687734 - francesco.agnelli@alice.it - P.IVA 01199830520

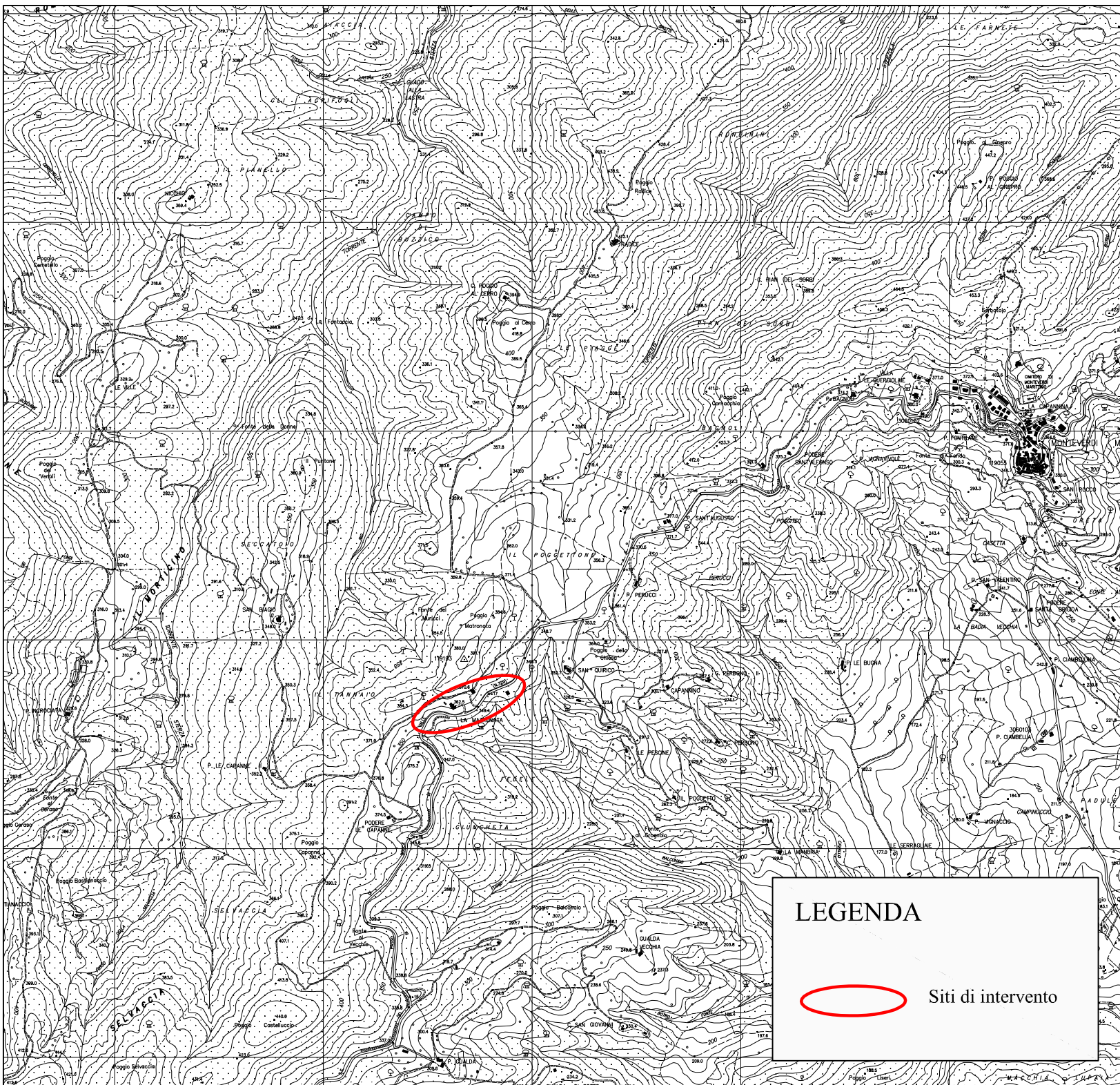
DATA

20 agosto 2018

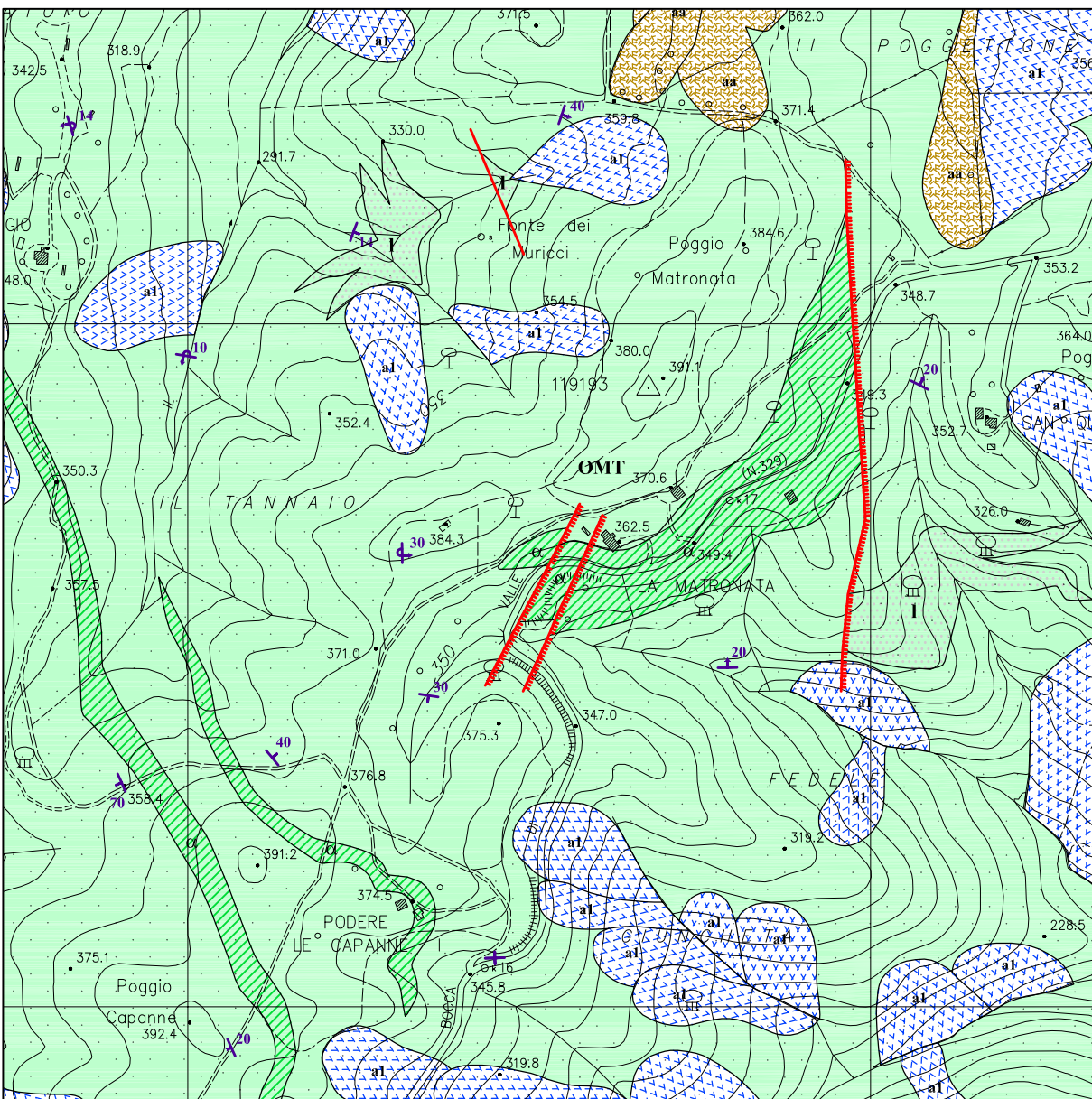
PROFESSIONISTA

Dott. Geol. Francesco Agnelli

Ubicazione interventi su CRT - scala 1:25.000



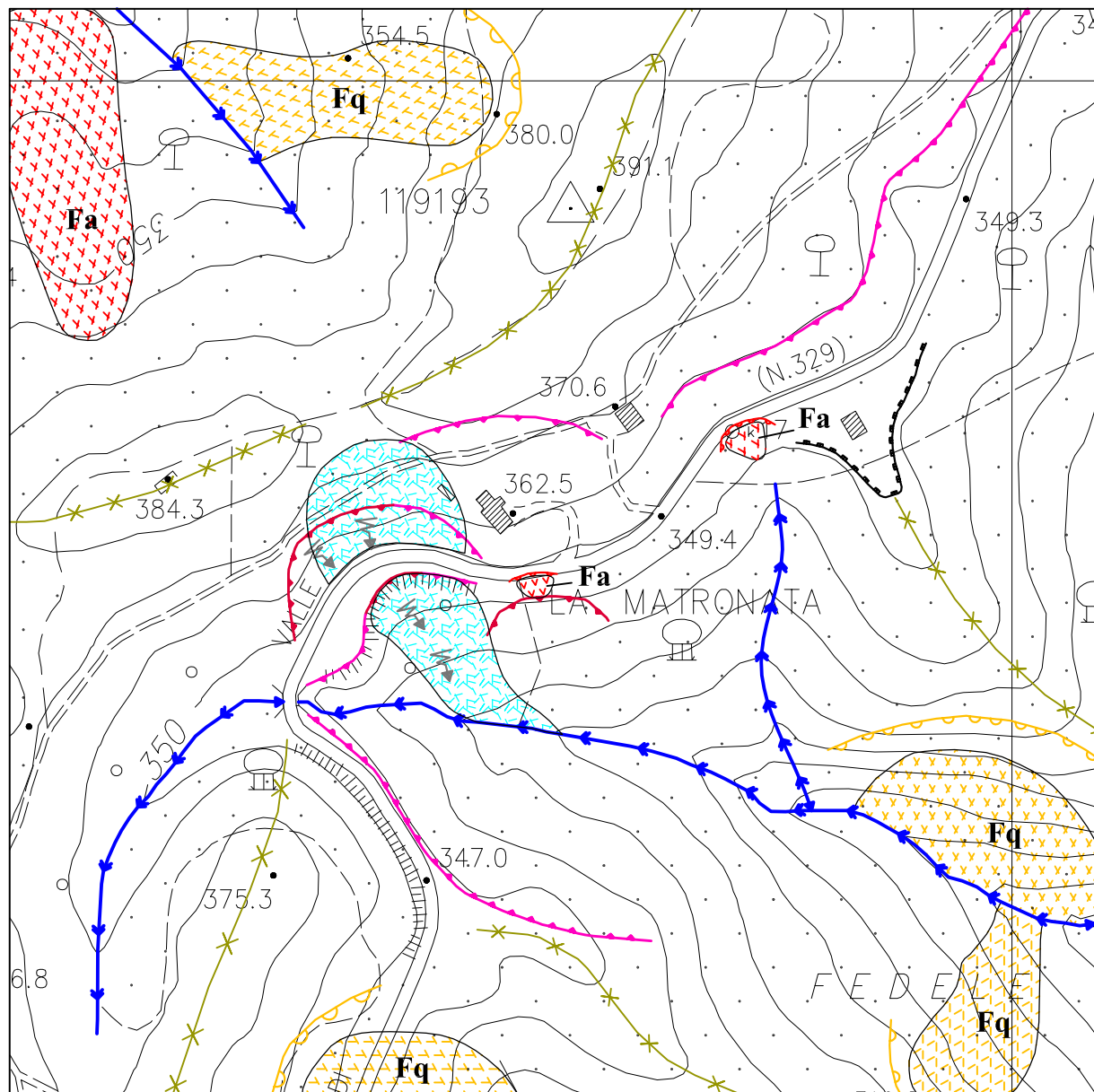
Carta geologica generale (da C.A.R.G.) - scala 1:10.000



LEGENDA

DEPOSITI OLOCENICI	DOMINIO LIGURE ESTERNO	Altri simboli
Forme e depositi	Unità dei Flysch a Elminoidi, Unità di Ottone	
a1 Frana con movimento e stato di attività indeterminati	OMT Flysch di Ottone-Monte Verdi (Crivacco sup.-Polesine inf.)	21 Giuntura con stratificazione dritta a polarità sconosciuta
aa Depositi di versante	a Unità OMT - Membra a lenti argilliche o marone (Crivacco sup.-Polesine inf.)	21 Giuntura con stratificazione rovescia a polarità sconosciuta
	l Unità OMT - Membra a lenti calcaree (Crivacco sup.-Polesine inf.)	21 Giuntura con stratificazione dritta a polarità sconosciuta
		Contatto stratigrafico
		Faglia diretta certa
		Faglia generica certa

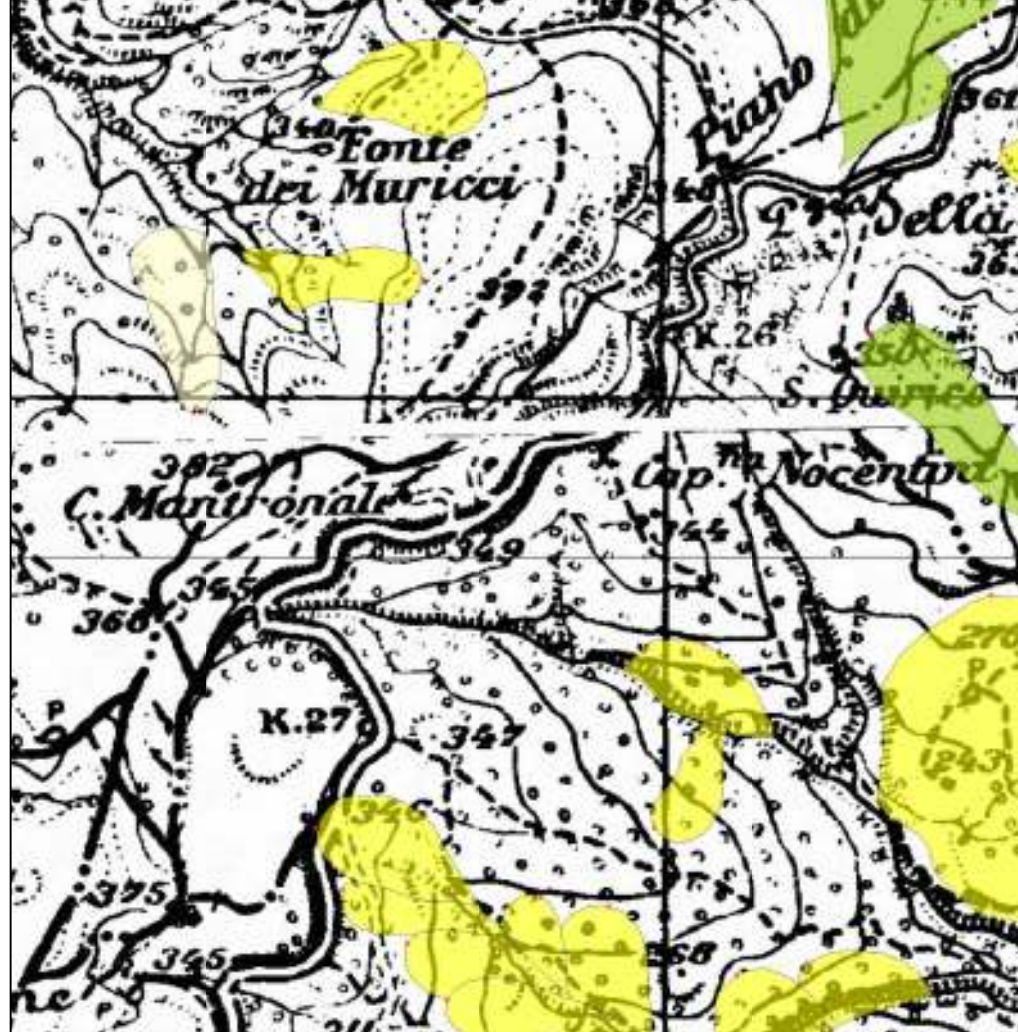
Carta geomorfologica - scala 1:5.000



LEGENDA

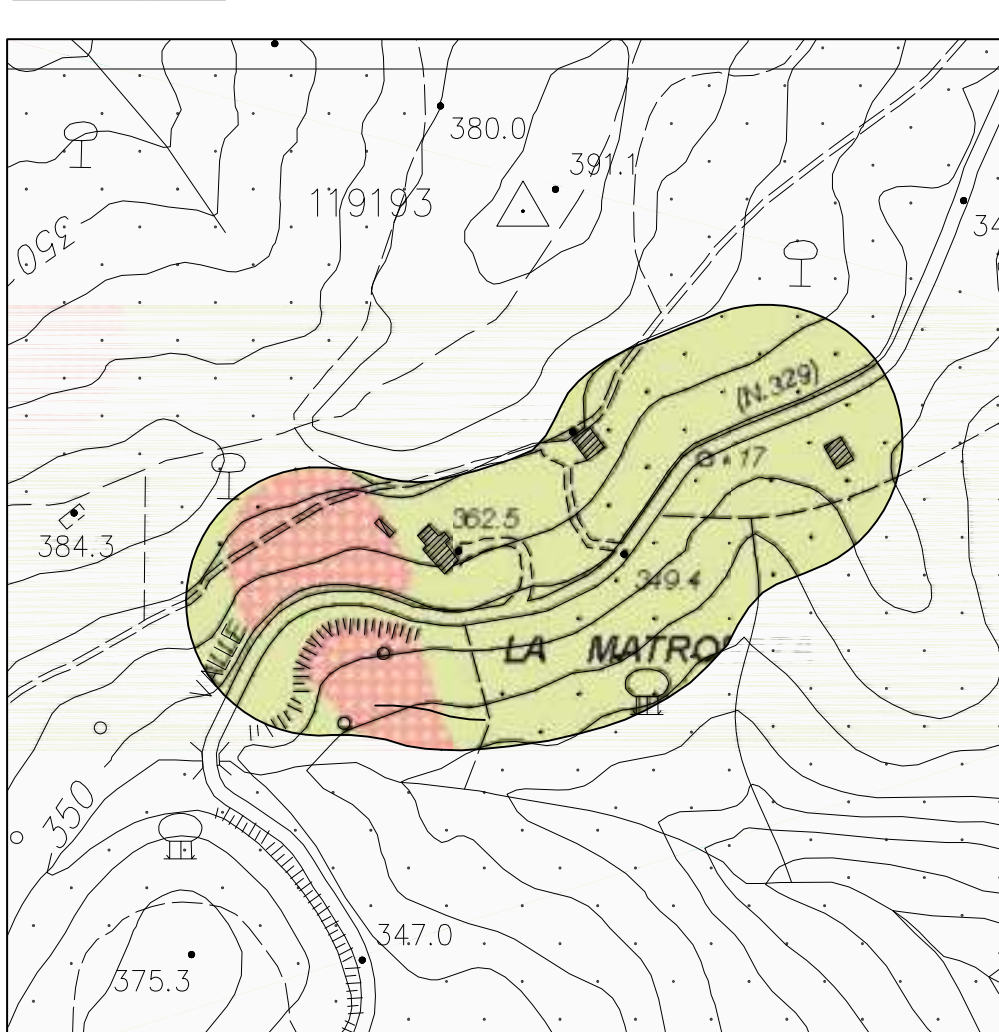
Forme strutturali	Forme, processi e depositi gravitativi di versante
Creste	Orlo di scarpata di frana attivo
Alveo con tendenza all'approfondimento	Orlo di scarpata di frana quiescente
Erosione superficiale localizzata	Orlo di scarpata di erosione attivo
Depositi eluvio-colluviali	Orlo di scarpata di erosione quiescente
Orlo di scarpata antropica	Corpo di frana per scorrimento attivo
	Corpo di frana per scorrimento quiescente

Carta della franosità (da Progetto IFFI) - scala 1:10.000



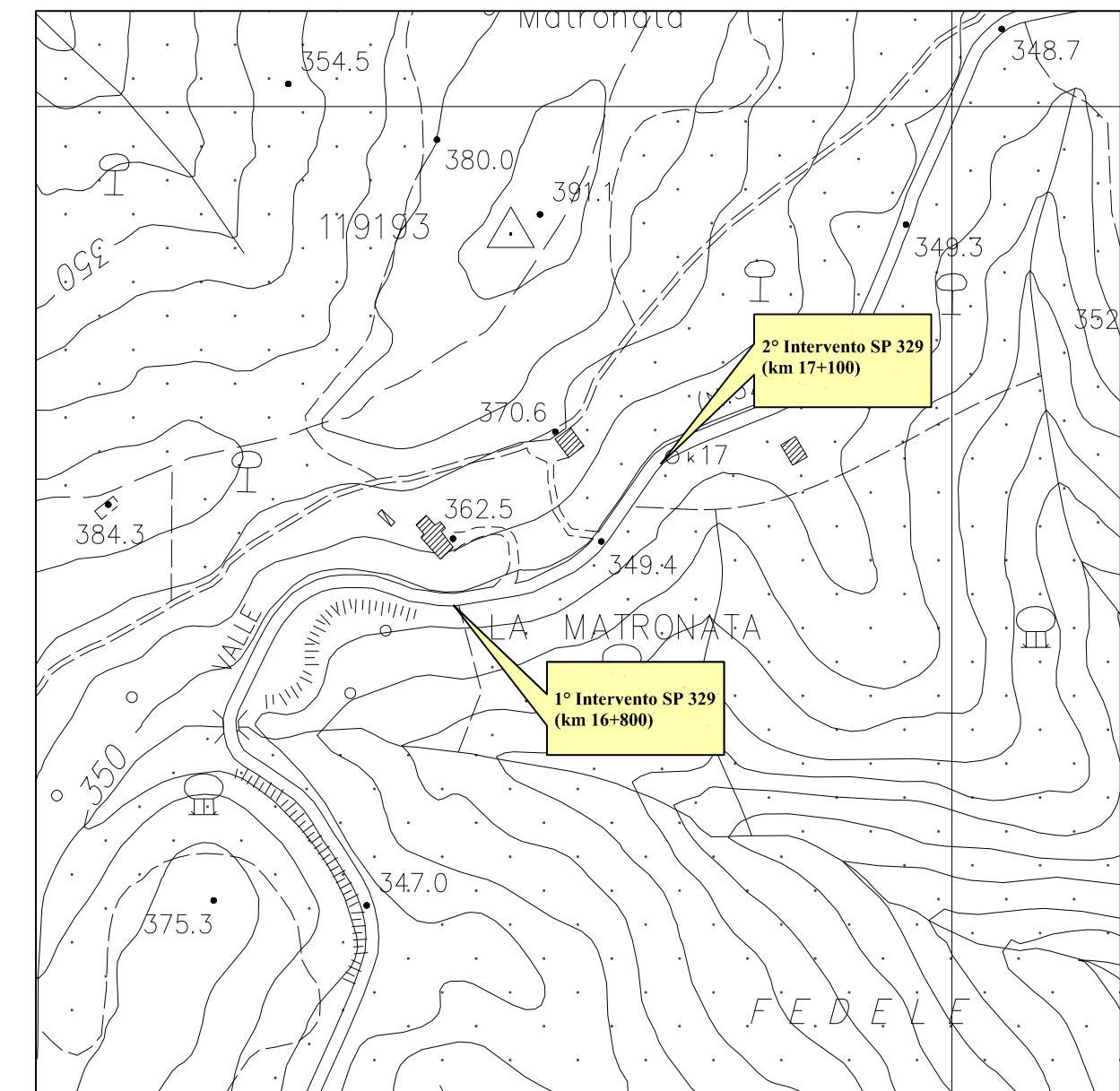
Layer IFFI	Tipologia di frana
Punto Identificativo del Fenomeno Frano	Orlo di scarpata di frana attiva
Scheda frana di 1° Livello	Orlo di scarpata di frana quiescente
Scheda frana di 2° Livello	Orlo di scarpata di erosione attivo
Scheda frana di 3° Livello	Orlo di scarpata di erosione quiescente
	Corpo di frana per scorrimento attivo
	Corpo di frana per scorrimento quiescente

Carta della pericolosità da frana (da PAI AdB Toscana Costa) scala 1:5.000



LEGENDA
Reticolo significativo al fine della difesa del suolo
Reticolo a sollevamento meccanico
Area a sollevamento meccanico
ASP (Area Strategica per Interventi di Prevenzione)
Cause di espansione realizzate
Pericolosità geomorfologica
Molto elevata (P.F.M.E.)
Elevata (P.F.E.)
Pericolosità idraulica
Molto elevata (P.I.M.E.)
Elevata (P.I.E.)
Punti critici (nodi e attraversamenti)
Area di particolare attenzione per la prevenzione dei dissesti idrogeologici
Area di particolare attenzione per la prevenzione dei dissesti idrogeologici
Area di particolare attenzione per l'equilibrio ceduto
Data di spigolo
Sedimenti durali
Costa Bassa
Costa Bassa con fenomeni di instabilità
Costa alta con fenomeni di instabilità

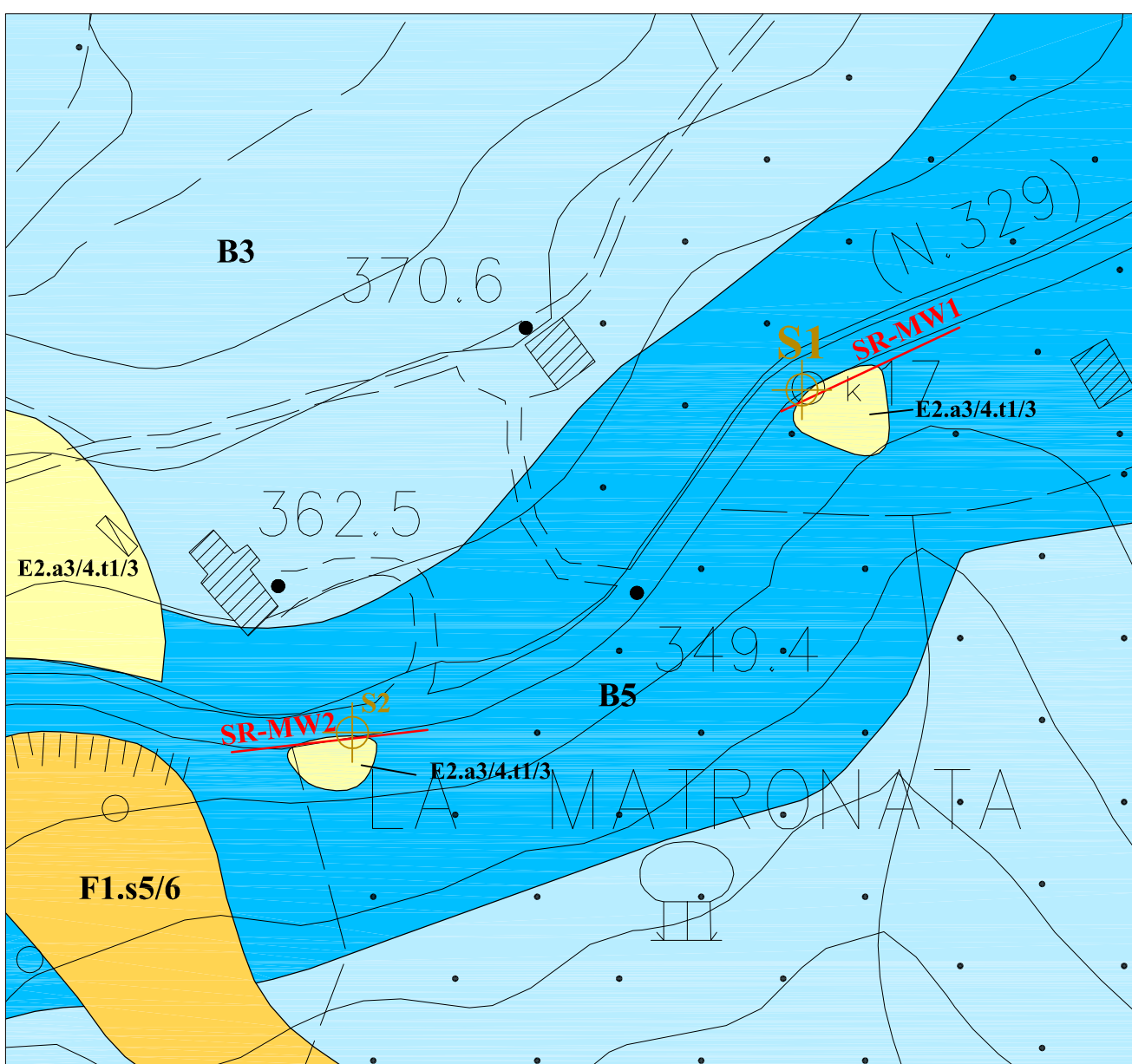
Ubicazione interventi su CTR - scala 1:5.000



LEGENDA

Ubicazione interventi

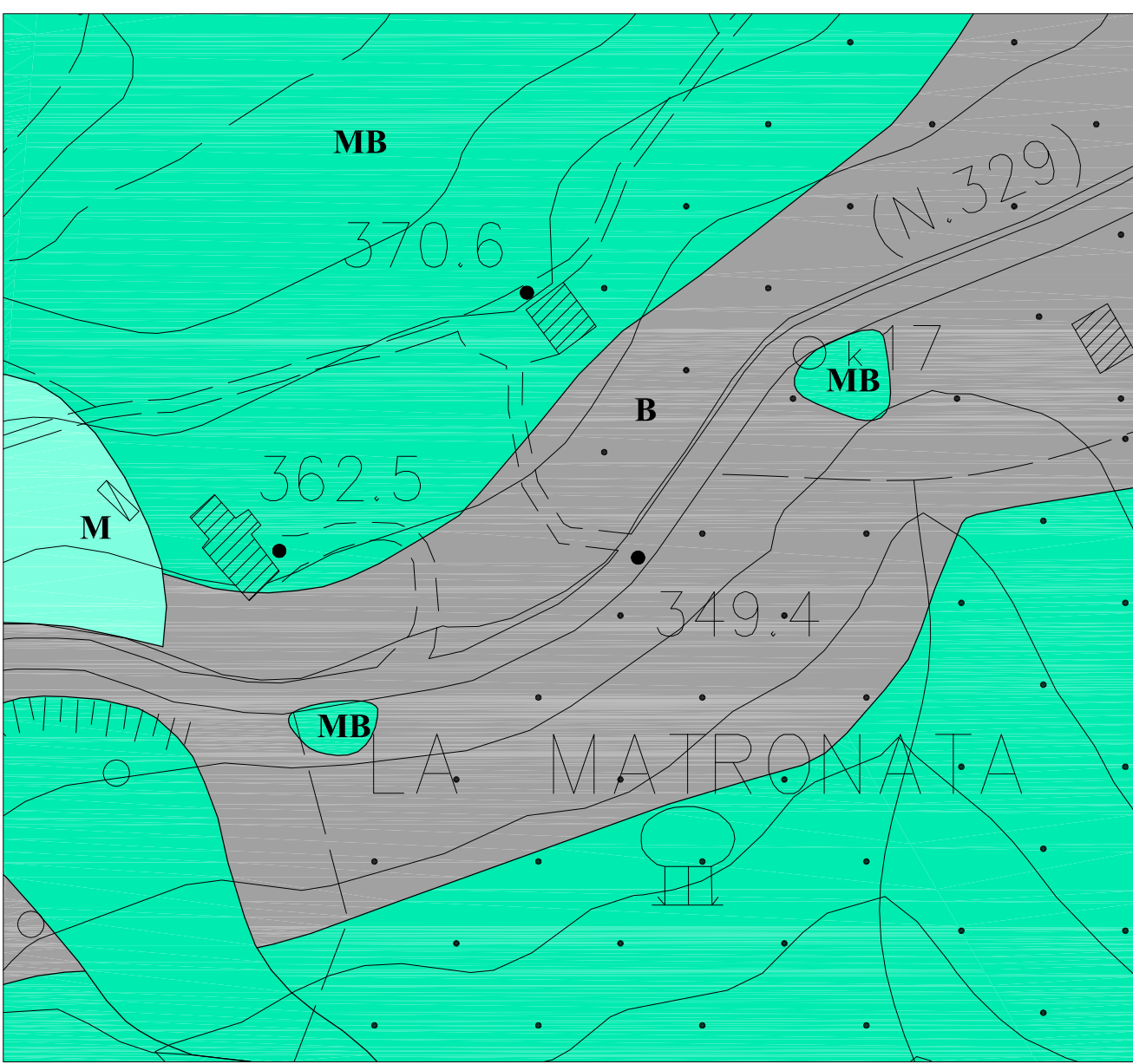
Carta litologico-technica e dei dati di base - scala 1:2.000



LEGENDA

Unità litologico-technica B	ALTRI SIMBOLI
B3 Materiale lapideo stratificato costituito da alternanze ordinate di livelli lapidei e livelli pellici, con prevalenza dei livelli lapidei su quelli pellici (L > 75%)	Indagini geognostiche
B5 Materiale lapideo stratificato costituito da alternanze ordinate di livelli lapidei e livelli pellici, con prevalenza dei livelli pellici su quelli lapidei (L < 75%) e talora discontinuità laterale e verticale dei livelli lapidei presenti nella serie stratigrafica	Sondaggio geognostico a carotaggio continuo
	Indagini sismiche
	Trincea profilo sismico a rifrazione con lunghezza variabile
Unità litologico-technica E	
E2.a3/4.11/3 Materiali granulari non cementati o poco cementati, costituiti da blocchi di scorie e poco adossati, con presenza talora di riporti frammenti di dimensioni maggiori e con presenza di fratture interstratificale coesiva non sufficiente ad alterare il carattere granulare globale del terreno	
Unità litologico-technica E	
F1.s5/6 Materiali coesivi con consistenza limitata o nulla costituiti da limo con argilla, da prove di consistenza a poco consistenti	

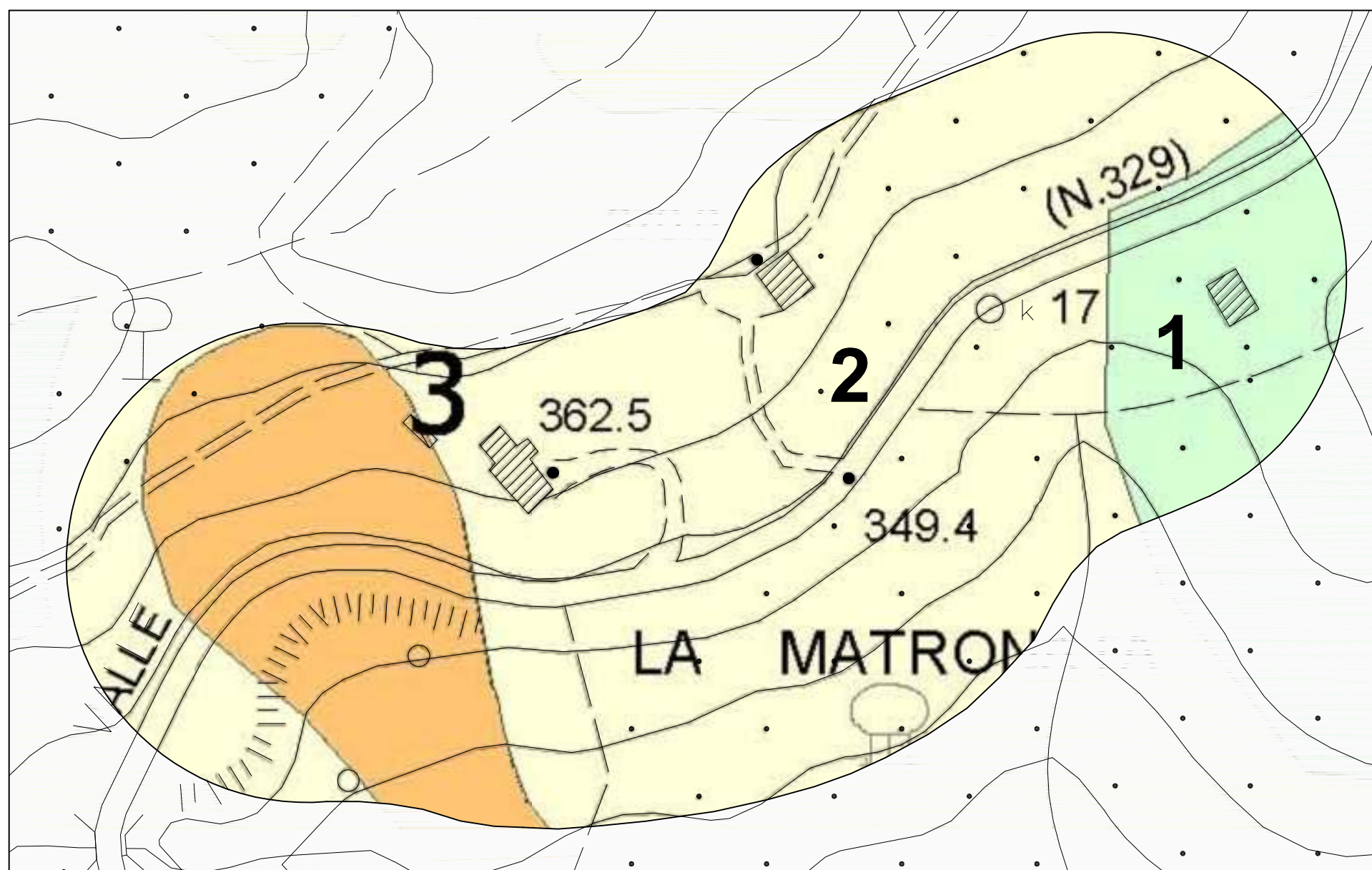
Carta idrogeologica - scala 1:2.000



LEGENDA

Classi di permeabilità
ME Permeabilità medio-elevata (unità idrogeologica a permeabilità medio-elevata, circa 10-5 > k > 10-3 m/s)
M Permeabilità media (unità idrogeologica a permeabilità media, circa 10-6 > k > 10-5 m/s)
MB Permeabilità bassa (unità idrogeologica a permeabilità medio-bassa, circa 10-7 > k > 10-6 m/s)
B Permeabilità bassa (unità idrogeologica a permeabilità bassa, k < 10-7)

Carta della pericolosità geologica (da RU comunale) - scala 1:5.000

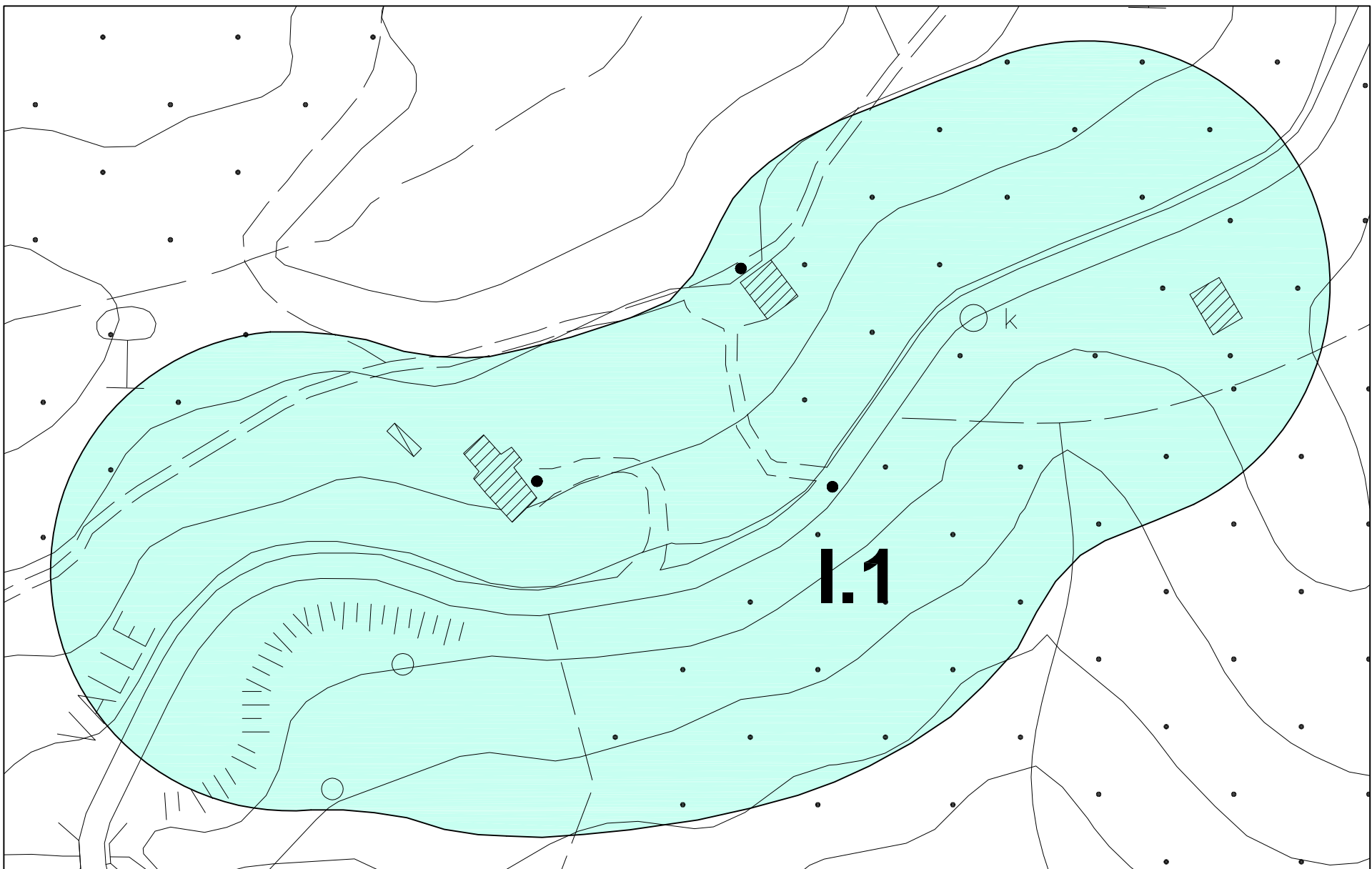


LEGENDA

LEGENDA CARTA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

CLASSE 1 - PERICOLOSITA' BASSA (L1)
CLASSE 1 - PERICOLOSITA' BASSA (L1)
CLASSE 2 - PERICOLOSITA' MEDIA (L2)
CLASSE 3 - PERICOLOSITA' ELEVATA (L3)
CLASSE 4 - PERICOLOSITA' MOLTO ELEVATA (L4)

Carta della pericolosità idraulica - scala 1:5.000



LEGENDA

L4 Pericolosità idraulica molto elevata
L3 Pericolosità idraulica elevata
L2 Pericolosità idraulica media
L1 Pericolosità idraulica bassa

COMMITTENTE

PROVINCIA DI PISA
SETTORE VIABILITA', TRASPORTI E PROTEZIONE CIVILE
Via Pietro Nenni, 30 - 56124 - Pisa

PROGETTO

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DELLA STRADA
PROVINCIALE 27, NEL TRATTO TRA IL KM 0+650 E IL KM
1+100, IN PROSSIMITA' DI FATTORIA BULERA, NEL
COMUNE DI POMARANCO (PI)

TITOLO ELABORATO

TAVOLA B - SEZIONI MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Scala

1:400

CONSULENTE INCARICATO

DOTT. GEOL. FRANCESCO AGNELLI
Via Pietro Nenni, loc. Civettalo n. 65 - 53049 Torrita di Siena (SI)
tel. 3478247486/0577687734 - francesco.agnelli@alice.it - P.IVA 01199830520

DATA

26 aprile 2018

PROFESSIONISTA

Dott. Geol. Francesco Agnelli

LEGENDA

UNITA' GEOLOGICHE

DEPOSITI OLOCENICI

Forme e depositi

- a1 Frana con movimento e stato di attività indeterminati
- h5 Terreni di riporto, bonifica per colmata
- aa Depositi di versante
- b Depositi alluvionali attuali
- bn Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati
- AQR2 Formazione dell'Acquerino - Membro pelitico-arenaceo

Altri simboli

- Contatto geologico
- Traccia della superficie piezometrica ipotetica

Simboli indagini

MW-SRI

Traccia indagine sismica a rifrazione in onde P con prova MASW associata

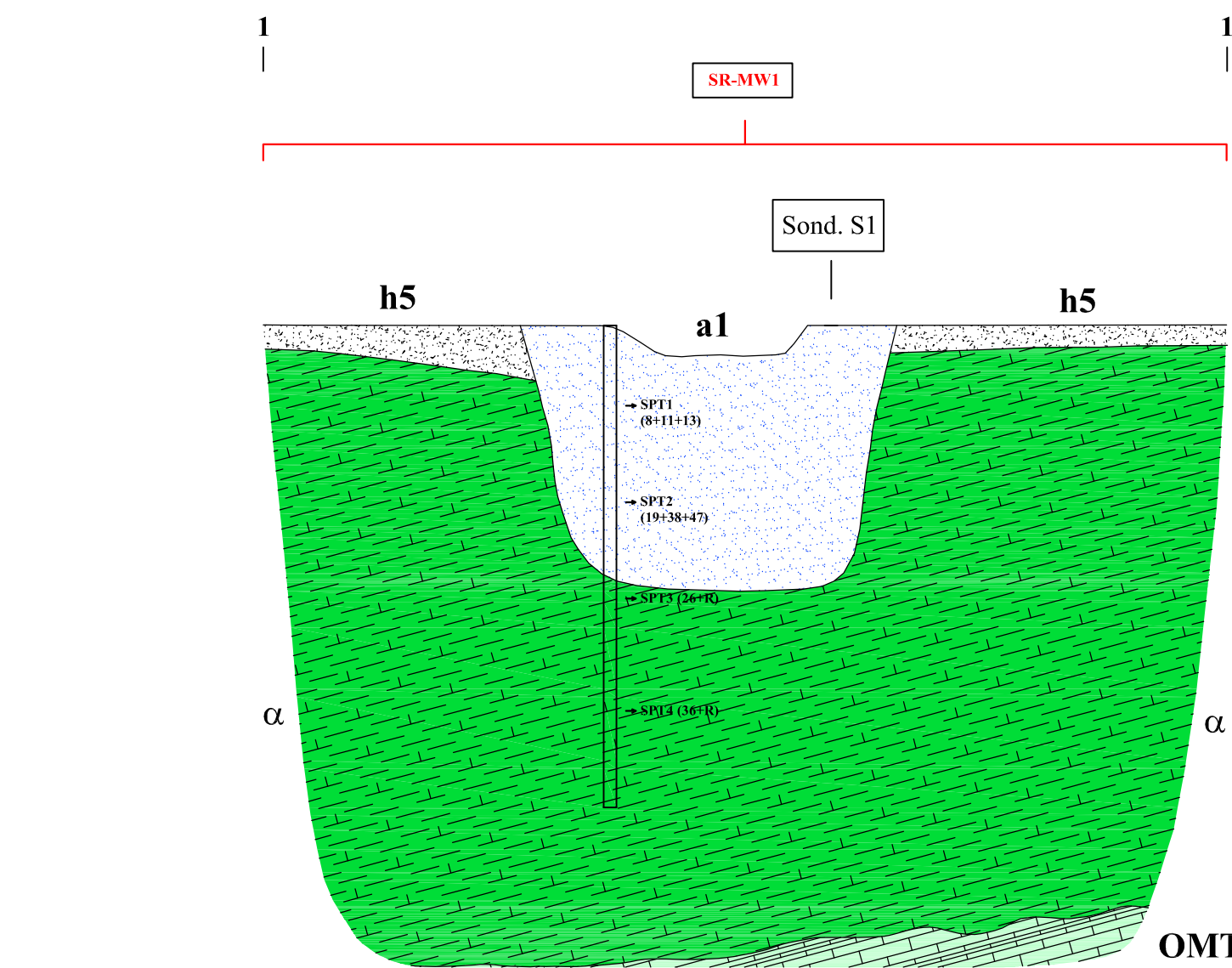
MI

Misura di microtremori a stazione singola

SPT

Verticale di sondaggio geognostico con indicazione delle prove SPT e dei campioni prelevati alle diverse quote

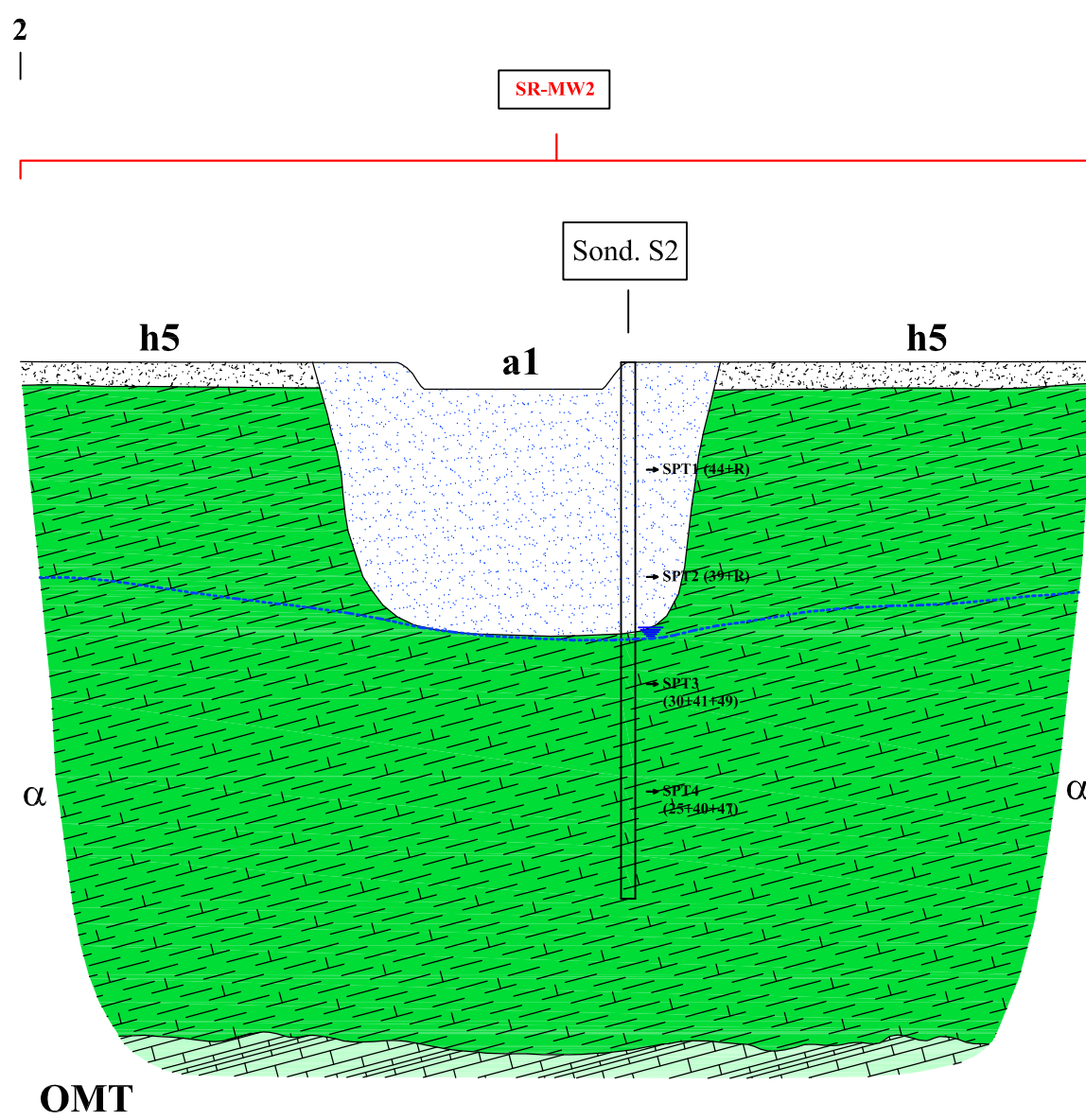
SEZIONE GEOLOGICA I-I'



Quota rif. 324 m s.l.m.

Quote terreno (m s.l.m.)	0+00	0+10	0+20	0+30	0+40	0+50	0+60	0+70	0+80	0+90	1+00
Distanze parziali terreno (m)		21,10	25,63	31,56	33,76						26,25
Progressivo (m)											

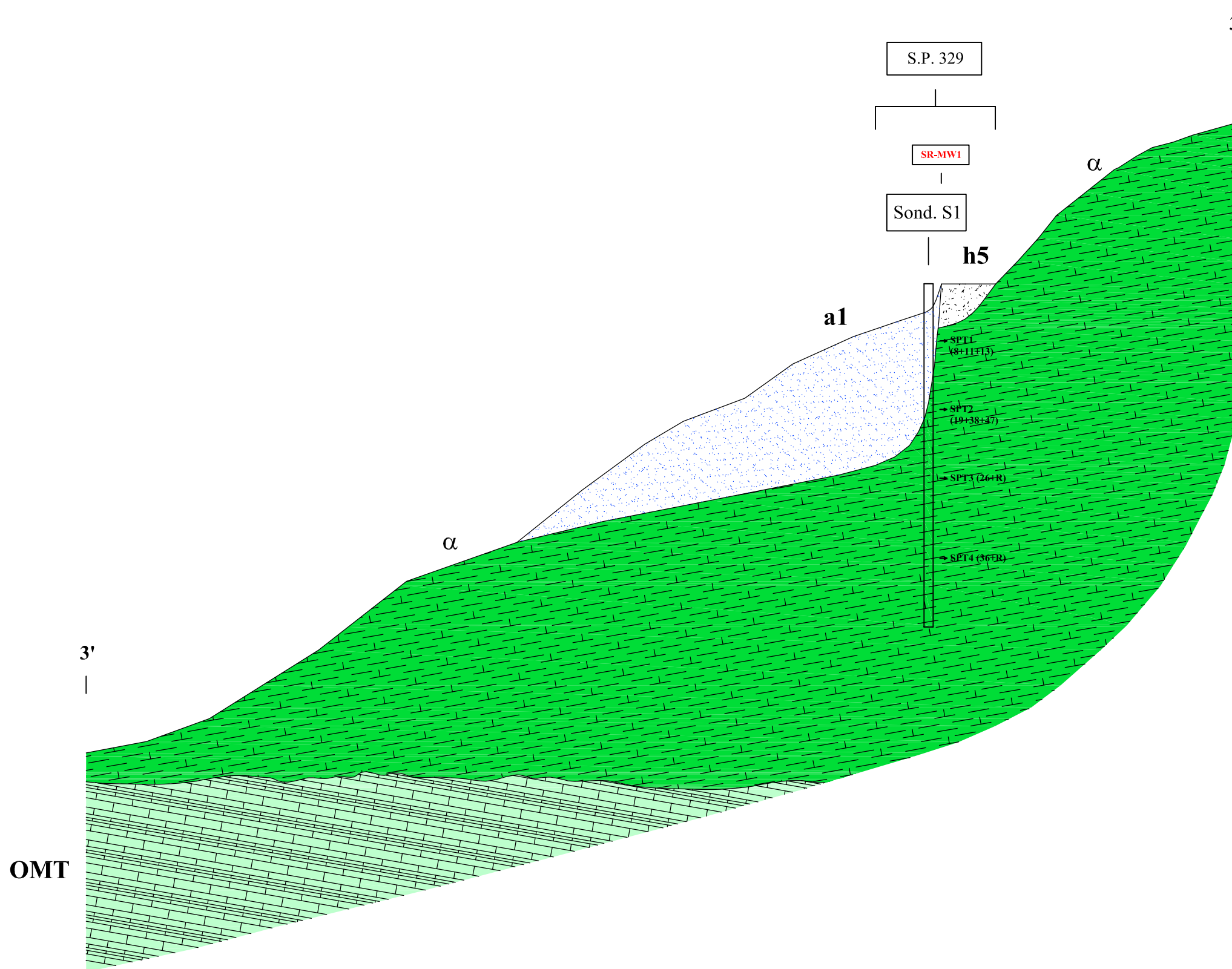
SEZIONE GEOLOGICA 2-2'



Quota rif. 324 m s.l.m.

Quote terreno (m s.l.m.)	0+00	0+10	0+20	0+30	0+40	0+50	0+60	0+70	0+80	0+90	1+00
Distanze parziali terreno (m)		21,10		9,97							26,25
Progressivo (m)											

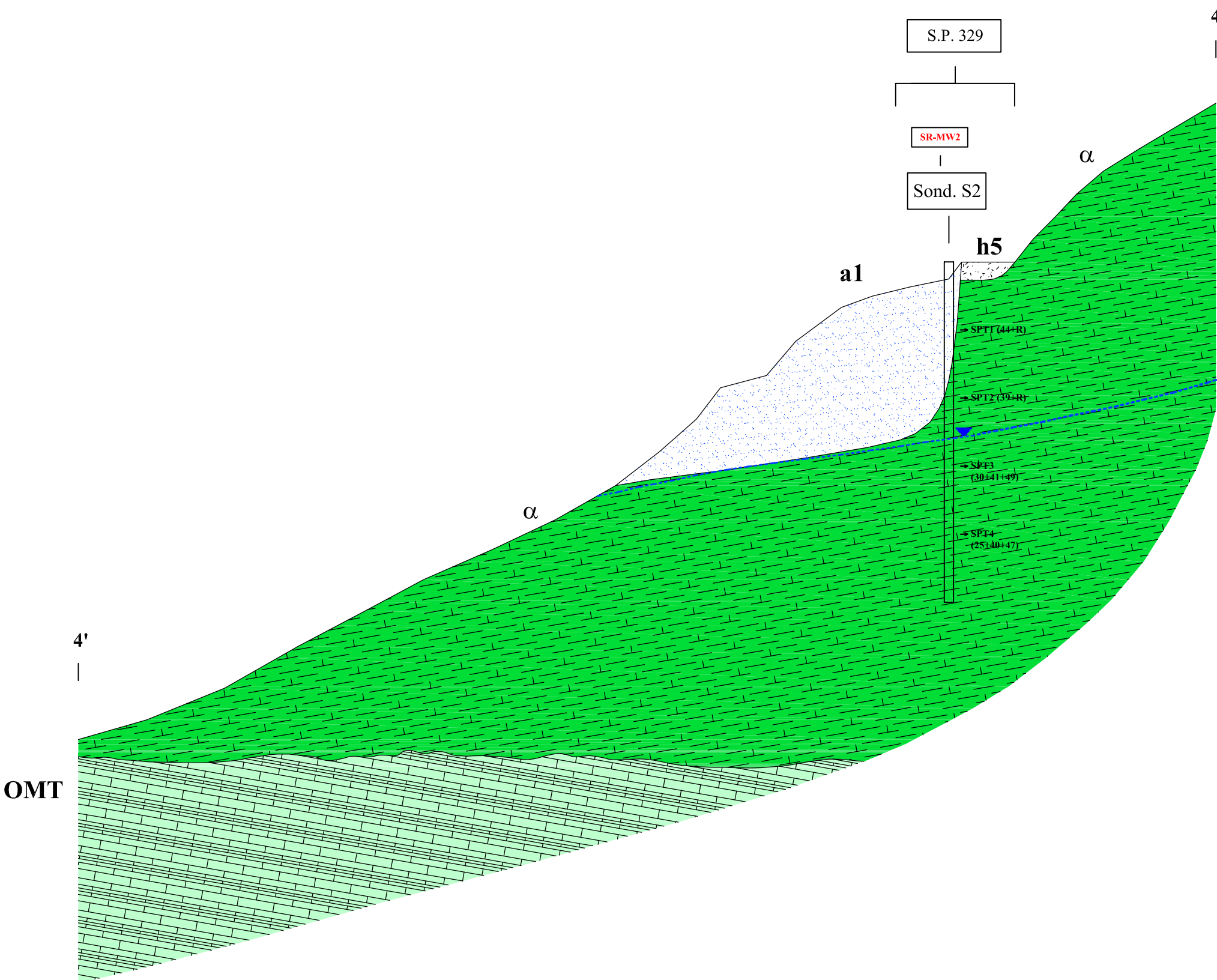
SEZIONE GEOLOGICA 3-3'



Quota rif. 320 m s.l.m.

Quote terreno (m s.l.m.)	0+00	0+10	0+20	0+30	0+40	0+50	0+60	0+70	0+80	0+90	1+00
Distanze parziali terreno (m)		5,30	5,47	9,55	7,69	9,65		11,16	3,37	5,36	4,21
Progressivo (m)											

SEZIONE GEOLOGICA 4-4'

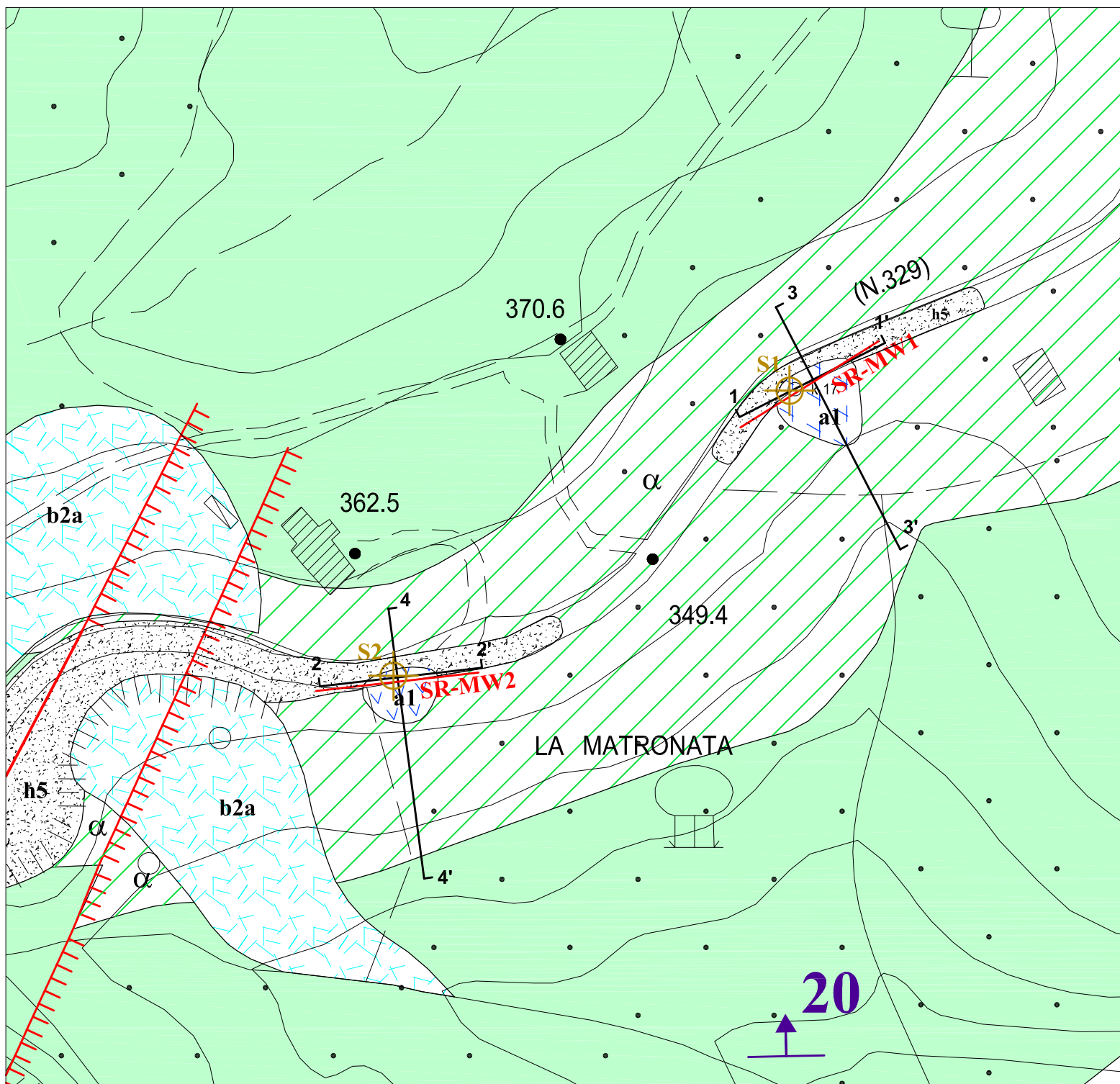


Quota rif. 315 m s.l.m.

Quote terreno (m s.l.m.)	0+00	0+10	0+20	0+30	0+40	0+50	0+60	0+70	0+80	0+90	1+00
Distanze parziali terreno (m)		6,07	6,82	7,42		10,07		11,66	5,28	7,13	2,11
Progressivo (m)											

Carta geologica di dettaglio con ubicazione sezioni e indagini attuali

scala 1:2.000



LEGENDA GEOLOGIA

DEPOSITI OLOCENICI

Forme e depositi

- a1 Frana con movimento e stato di attività indeterminati
- h5 Terreni di riporto
- b2a Depositi eluvio-colluviali
- OMT Flysch di Ottone-Montecchi (Cretacico sup. - Paleocene inf.)
- α Unità OMT - Membro a lami argillitiche e/o marnose (Cretacico sup. - Paleocene inf.)

Altri simboli

- Contatto stratigrafico
- Faglia diretta certa
- Faglia generica certa
- Faglia incerta
- giacitura con stratificazione diretta a polarità conosciuta
- giacitura con stratificazione rovescia a polarità conosciuta
- giacitura con stratificazione diretta a polarità sconosciuta

LEGENDA SIMBOLI INDAGINI

Indagini geognostiche

- S1 Sondaggio a carotaggio continuo (campagna 2018)

Indagini sismiche

- SR.MW1 Traccia profilo sismico a rifrazione in onde P con prova MASW associata (L = 60 m)

Altri simboli

- Traccia sezione geologica