

STRADA STATALE 212 "della Val Fortore"
Lavori di completamento alla statale dallo svincolo di
S. Marco dei Cavoti a S. Bartolomeo in Galdo
1° Lotto < Variante di S. Marco dei Cavoti >
1° e 3° Stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

COD. **NA288**

PROGETTAZIONE: R.T.I.: PROGIN S.p.A. (capogruppo mandataria)
 CREW Cremonesi Workshop S.r.l - TECNOSISTEM S.p.A
 ART Risorse Ambiente Territorio S.r.l - ECOPLAME S.r.l.

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
 Dott. Ing. Antonio GRIMALDI (Progin S.p.A.)

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



Direttore Tecnico:
 Dott. Ing. Paolo IORIO

IL GEOLOGO:
 Dott. Geol. Giovanni CARRA (ART Ambiente Risorse e Territorio S.r.l.)

MANDANTI:



IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
 Dott. Ing. Michele CURIALE (Progin S.p.A.)

Direttore Tecnico:
 Dott. Arch. Claudio TURRINI

Direttore Tecnico:
 Dott. Ing. Andrea AVETA

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
 Dott. Ing. Domenico ROY



PROTOCOLLO

DATA _____ 201_

Direttore Tecnico:
 Dott. Ing. Ivo FRESIA

Direttore Tecnico:
 Dott. Arch. Pasquale PISANO

STUDI, RILIEVI ED INDAGINI
 GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA
 RELAZIONE GEOLOGICA

CODICE PROGETTO

NOME FILE
 T00GE00GEORE01C.docx

REVISIONE

SCALA:

D	P	N	A	2	8	8	D	2	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

CODICE	T	0	0	G	E	0	0	G	E	0	R	E	0	1
ELAB.														

C

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
C	Emissione a seguito istruttoria ANAS	Settembre 2021	ART	M.Galletti	G.Carra
B	Recepimento istruttoria ANAS	Giugno 2021	ART	M.Galletti	G.Carra
A	Emissione definitiva	Febbraio 2021	ART	M.Galletti	G.Carra

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE	5
4	CARATTERIZZAZIONE GEOLITOLOGICA	8
4.1	MODELLO GEOLOGICO DEL TRACCIATO	13
5	CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA	20
5.1	PERIMETRAZIONE DELLE AREE IN FRANA	21
5.2	MISURAZIONI INCLINOMETRICHE	27
6	ASSETTO IDROGEOLOGICO	30
7	CONCLUSIONI	34
8	BIBLIOGRAFIA	35

ALLEGATO 1 – SCHEDE DI RILIEVO

1 INTRODUZIONE

Il presente documento descrive l'attività di studio e di verifica delle caratteristiche dell'area di intervento dal punto di vista geologico, idrogeologico e sismico a supporto della progettazione definitiva dei lavori di completamento alla statale 212 "della Val Fortore" dallo svincolo di S. Marco dei Cavoti a S. Bartolomeo in Galda, in particolare al 1° lotto – <Variante di S. Marco dei Cavoti> 1° Stralcio.

Gli elementi necessari sono stati ricavati dall'analisi diretta delle condizioni geologiche e geomorfologiche delle aree mediante rilevamento geologico di dettaglio e, soprattutto, dalla campagna di indagini geognostiche e geotecniche in situ ed in laboratorio effettuata nel 2018, unitamente all'esame della documentazione bibliografica disponibile per l'area in oggetto.

Nel corso dell'analisi sono state approfondite e riorganizzate le conoscenze disponibili sulle caratteristiche dell'ambiente fisico, soprattutto con riferimento all'organizzazione stratigrafica, alla struttura e idrodinamica degli acquiferi, allo scopo di definire il modello geologico di riferimento per la progettazione.

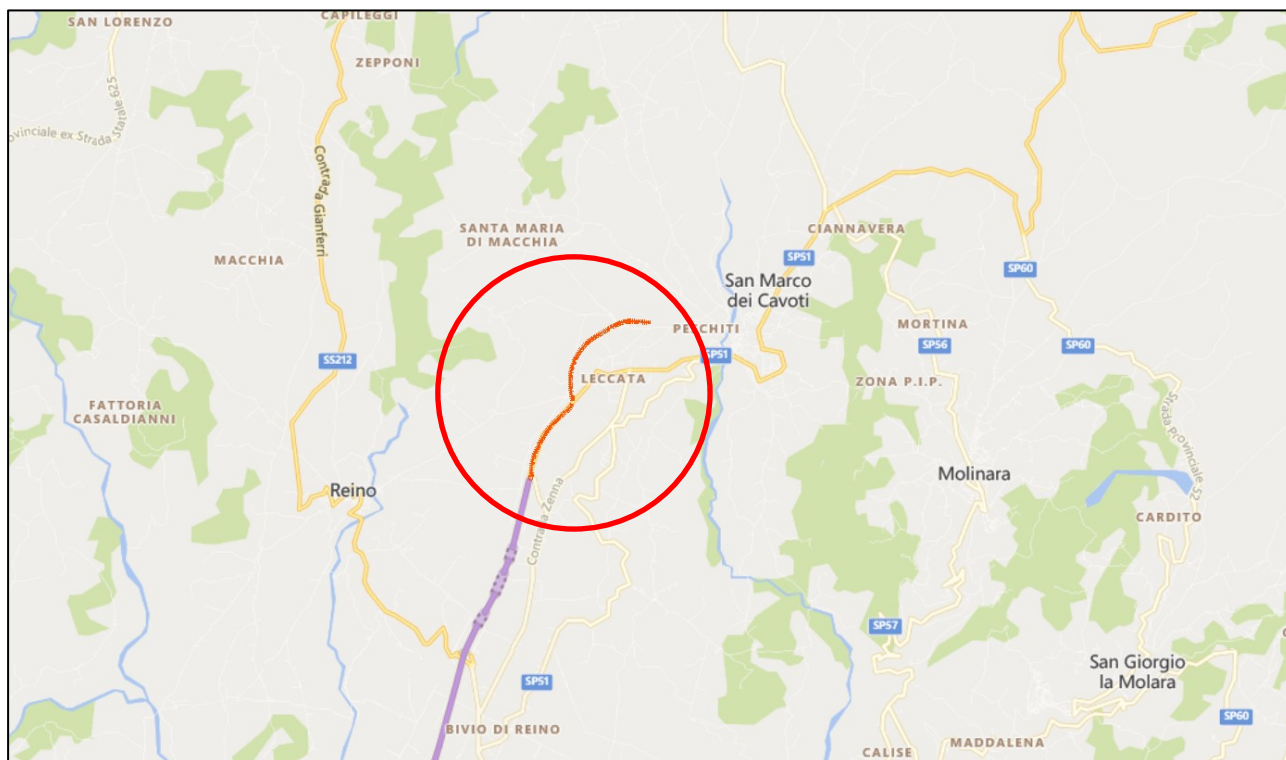


Fig. 1-1 Ubicazione dell'area di intervento

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Si riporta, di seguito, l'elenco della normativa di riferimento osservata:

- D.G.R. 7/11/2002, n. 5447. Aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania;
- D.P.G.R. 24/1/2003, n. 248. Deliberazione della Giunta Regionale n. 5447 del 7 novembre 2002 recante "Aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania". Circolare applicativa relativa alla strumentazione urbanistica;
- O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica." (Ordinanza n. 3274);
- O.P.C.M. 28 aprile 2006. "Criteri generali per l'identificazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (Ordinanza 3519);
- D.G.R. del 28/10/2006, n. 1701. Linee guida per la mitigazione del rischio sismico per le infrastrutture pubbliche e per il patrimonio edilizio pubblico e privato.
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 – Testo Unitario – Norme tecniche per le costruzioni (G.U. del 20.02.2018) e Circolare 21 gennaio 2019 n. 7" Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

L'area di progetto ricade nel settore sannitico dell'orogene sudappenninico, posto ad oriente dei rilievi carbonatici del Taburno-Camposauro e del Matese orientale e strutturato da diverse unità tettoniche derivanti dalla deformazione e dalla strutturazione di coperture sedimentarie bacinali pelagiche di età meso-cenozoica, e successioni neogeniche silico-clastiche sinorogeniche. Le unità tettoniche presenti nel settore sannitico sono disposte secondo una fascia ad andamento appenninico, al margine della catena e sono costituite, da occidente verso le aree esterne, dall'Unità del Sannio (Unità di Frigento p. p.), dall'Unità del Fortore, dall'Unità Dauna e dall'Unità del Vallone del Toro (Fig. 3-1).

Nell'area di studio sono presenti solo due delle quattro principali unità tettonico-stratigrafiche ossia l'Unità del Sannio (Unità di Frigento p.p.) e l'Unità del Fortore, assieme ad esigui lembi di depositi di ambiente continentale, in particolare depositi eluvio-colluviali e in subordine depositi gravitativi di versante presenti al di fuori dell'areale di indagine.

Le due unità tettonico-stratigrafiche, Sannio e Fortore, sono entrambe caratterizzate da successioni sedimentarie bacinali pelagiche supracretacico-inframioceniche prevalentemente calcareo-marnose ed argilloso-arenacee, ma con un diverso grado di distalità (rispetto alle aree di alimentazione rappresentate da margini di piattaforma carbonatica) dei depositi, ed una differente capacità di accoglienza della sedimentazione tuffitica e quarzarenitica pre-orogena di provenienza meridionale (Patacca et alii, 1992; De Capoa et alii, 2002; Guerrera et alii, 2005). In entrambe le Unità, infatti, predominano le litofacies calcareo-clastiche in forma di depositi gravitativi (Formazione del Flysch Rosso), che mostrano verso l'alto un aumento dell'apporto silicoclastico (e.g. Flysch Numidico) con la sola differenza che l'Unità del Fortore, è contraddistinta da una sedimentazione pre-orogena tuffitica, (eg. Formazione delle Arenarie di Ponte del Miocene inferiore), assente invece nell'Unità del Sannio (Pescatore et al., 2008). Dal Serravalliano medio-superiore, entrambe le Unità sono deformate e strutturate in catena (Fig. 3-1), secondo modalità di deformazione e strutturazione coerenti con la sequenza della cinematica che ha interessato la gran parte del settore marginale della catena sud-appenninica (PESCATORE et alii, 1996a, 2000; DI NOCERA et alii, 2006).

In particolare, è emerso dal rilevamento che i termini calcareo-marnosi del Flysch Rosso si presentano, alla mesoscala, deformati da pieghe polifasiche, aventi geometria circa parallela al fronte principale di accavallamento dell'Unità del Sannio sull'Unità del Fortore; a scala locale, infatti, è stato possibile su di un'area estesa cartografare sia l'asse di un'antiforme di importanza locale, caratterizzata da una immersione regolare verso nordest, coincidente con la dorsale che da S. Marco

dei Cavoti diparte verso nordovest, che piccole deformazioni sinformi secondarie (località La Macchia).

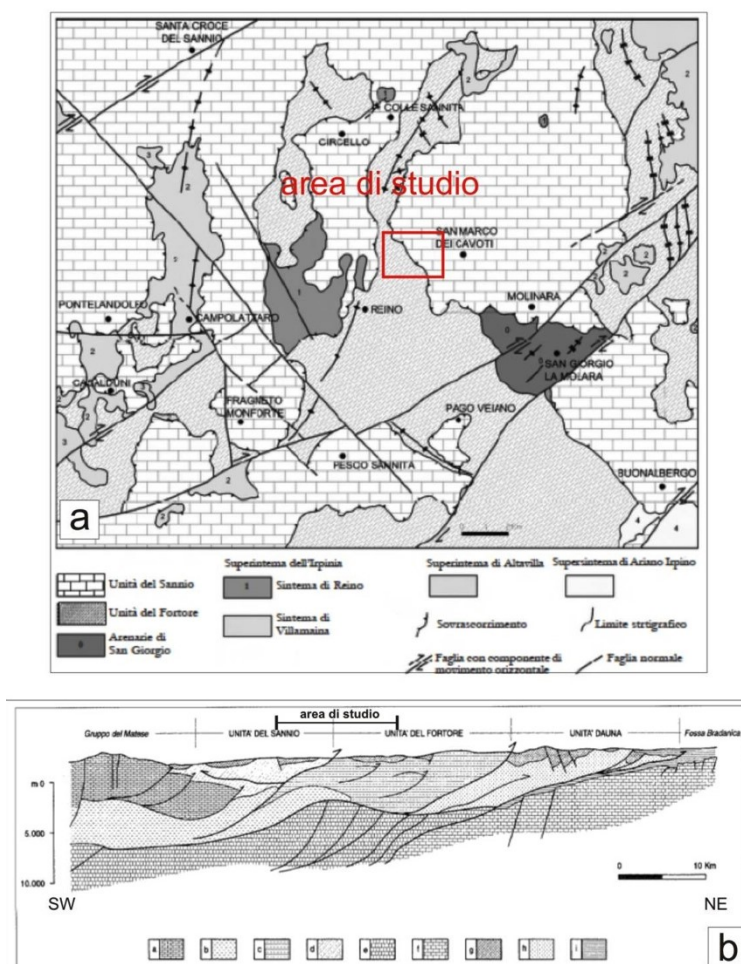


Fig. 3-1 a) Schema tettonico del settore centrale dei Monti del Sannio. b) Sezione geologica del settore sannitico della catena sud-appenninica dal Gruppo del Matese alla Fossa Bradanica (modificato da Mostardini & Merlini, 1986). Legenda: a) Unità del Matese orientale; b) Unità Lagonegrese inferiore; c,d,h, Unità Lagonegresi superiori (Unità del Sannio sensu Pescatore et al., 1994, 1996; Unità del Fortore; Unità dauna); e) Unità Apula; f) Unità Apula-Garganica; g) unità silicoclastiche mioceniche e plioceniche; i) Unità Bradanica.

Nella figura seguente si riporta il database dell'ISPRA "ITHACA - Catalogo delle faglie capaci", la quale ha evidenziato l'assenza di faglie attive o capaci lungo il tracciato in progetto.

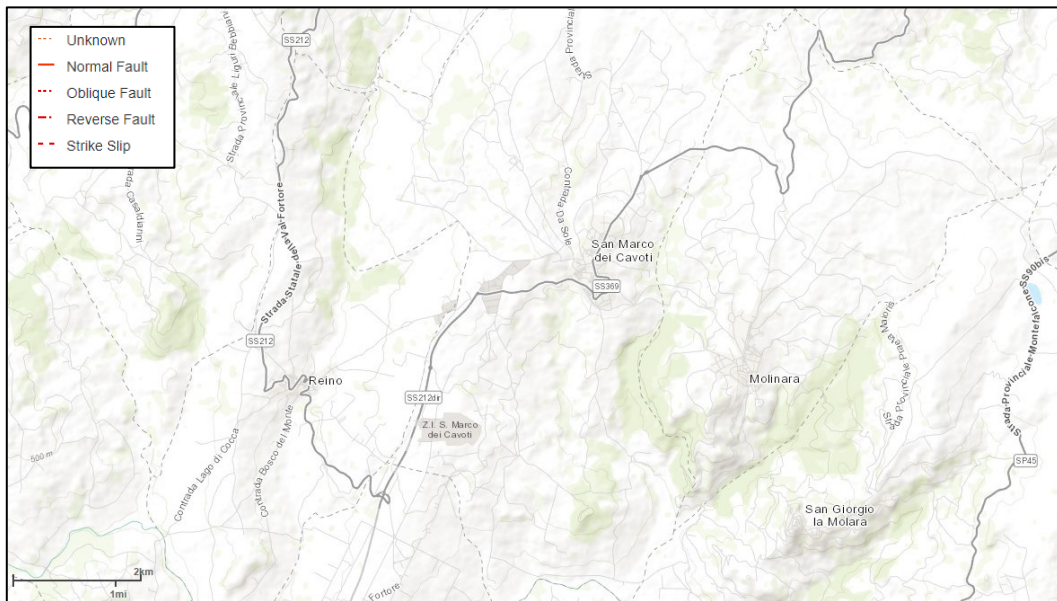


Fig. 3-2 Stralcio del catalogo delle faglie attive e capaci nell'aeree limitrofe al tracciato di progetto (fonte: ISPRA – ITHACA – Catalogo delle faglie capaci)

4 CARATTERIZZAZIONE GEOLITOLOGICA

Per la definizione del modello geologico dell'area di studio, è stata redatta una carta geologico-tecnica basata su rilievi originali effettuati in campo e sulle informazioni cartografiche tratte da Pescatore et al., 2008 (Foglio 419 "S. Giorgio La Molarà"). Di seguito sono state riportate le descrizioni sintetiche delle Unità litologico-deposizionali quaternarie/oloceniche (depositi alluvionali, di versante, depositi di frana, etc), e delle Unità litostratigrafiche di appartenenza (Formazioni, membri, litofacies) cui sono stati riferiti i terreni affioranti nell'area di studio.

Unità dei Depositi di Copertura

h - Depositi antropici.

Terreni di risulta e di riporto costituiti da frammenti litoidi talora inglobati in matrice argilloso-sabbiosa o limoso detritica. La coltre di riporto antropica superficiale assume frequentemente spessore inferiore ai 3 metri. Pertanto, quest'unità è stata cartografata soltanto nei casi di spessori consistenti (>3m) di materiali di accumulo e di depositi eterogenei ed eterometrici, accumulati per colmate, sbarramenti e terrapieni. Lo spessore in genere non supera i 10 metri.

b2 - Depositi eluviali e colluviali.

I depositi eluvio-colluviali sono localmente rappresentati da depositi argilloso-limosi, che costituiscono il prodotto residuale dell'alterazione carsica di rocce carbonatiche, e da materiale detritico sciolto prodotto dal disfacimento meccanico e/o chimico-biologico delle formazioni costituenti il bedrock, con ciottoli di varia dimensione e forma, dispersi in una matrice argillosa e limosa. Nell'area di progetto, in corrispondenza delle aree peneplanate (località Masseria Nevizzica, Fonte di Rago) sono presenti plaghe di limi argillificati ed umificati di colore nerastro e ricchi in sostanza organica, spesse non oltre tre metri, talvolta contenenti elementi piroclastici alterati e frammenti derivanti dall'alterazione delle unità che costituiscono il substrato di riferimento.



Fig. 4-1 Unità b2. Depositi eluvio-colluviali costituiti da limi argillificati ed humificati di colore nerastro e ricchi in sostanza organica (scheda rilevamento GEO-09).

a1a - Deposito di frana attiva

Accumuli caotici di litotipi eterogenei riferibili alle formazioni affioranti, di dimensioni comprese fra i blocchi e le argille, da *matrix-supported* a *clast-supported*, prodotti da movimenti gravitativi di versante che, alla mesoscala, mostrano peculiari indizi morfologici di mobilitazione quali terrazzi in contropendenza, soliflusso generalizzato, tracce di reptazione, trincee, etc.

a1b - Deposito di frana quiescente

Accumuli caotici di litotipi spesso eterogenei riferibili alle formazioni affioranti, eterometrici, da matrice-sostenuti a clasto-sostenuti, prodotti da movimenti gravitativi di versante non riferibili al sistema morfoclimatico attuale. Nello specifico è stata individuata in letteratura (IFFI e PAI) una frana quiescente interferente con l'area di progetto in cui non sono state individuate evidenze sul campo di instabilità. Dall'analisi strumentale eseguita è emerso come sia soggetta ad un lento movimento di soli creep, e senza riscontrare un'evidente superficie di scorrimento

UNITÀ DEL FRIGENTO

Nell'area in esame, essa è formata, dal basso verso l'alto, dalle formazioni del Flysch Rosso (FYR) e del Flysch Numidico (FYN).

FYN - FORMAZIONE DEL FLYSCH NUMIDICO.

Affiora lungo una stretta fascia allungata circa NW-SE in Contrada Leccata ad Ovest di San Marco dei Cavoti. La formazione è costituita da depositi prevalentemente pelitici, costituiti da peliti verdastre

e grigiastre, giallastre all'alterazione, a struttura scagliosa mediamente consistenti, con intercalazioni di strati anche spessi di quarzareniti e/o quarzosiltiti grigiastre, a grana media o grossolana, con granuli di quarzo arrotondati e smerigliati, a cemento siliceo, in strati e banchi da medi a spessi, frequentemente amalgamati, a struttura massiva e talora gradati. Sono presenti intercalazioni di calcareniti torbiditiche giallastre, con laminazioni piano-parallele, marne siltose biancastre e argille marnose grigie; la successione include anche megablocchi di calcilutiti, calcareniti marnose e breccie calcaree (FYNa). Spessore superiore a 50 m.



Fig. 4-2 FYN. Formazione del Flysch Numidico affiorante in uno scavo a sudovest dell'area rilevata.

FYR – FLYSCH ROSSO (Cretaceo superiore - Miocene inferiore)

Il Flysch Rosso (FYR) è formato da successioni prevalentemente argilloso-marnose con frequenti intercalazioni calcareo-clastiche e subordinatamente calcareo-marnoso-pelitiche. La formazione affiora nell'area di studio con i suoi termini intermedi, prevalentemente calcareo-clastici (membro FYR2), che evolvono verso l'alto a facies marnoso-calcaree e subordinatamente pelitiche (membro FYR3). Il passaggio al sovrastante flysch Numidico è in paraconcordanza ed è marcato da un aumento della componente argillosa e dalla sostituzione graduale della porzione marnosa con quella argillosa, marrone verdastra, contenenti frequenti noduli ferromanganesiferi. La formazione è

interessata da pieghe a medio e grande raggio e da numerose faglie che la suddividono in vari blocchi articolati, cosicché la valutazione dello spessore non ovunque è di facile determinazione. All'estremità occidentale dell'area rilevata, la formazione è sovrapposta tettonicamente, tramite un piano a basso angolo, ai terreni dell'Unità del Fortore.

FYR 3: Membro argilloso-marnoso-calcareo.

Argille marnose, rosse brune, alternate a calcareniti grigio-gialle, con Alveoline e Nummuliti, e calciruditi litoclastiche e brecciole calcaree a stratificazione maldefinita e irregolare.

In località Peschito, affiorano estesamente marne calcaree e argilliti rosso-brune con intercalate calcareniti fini grigio-avana, laminate piano-parallelamente che evolvono a calcareniti fini, in strati medi e sottili, con liste e noduli di selce, intercalate a strati spessi di argille marnose e siltose ed argille verdastre caoticizzate (FYR3b).

Localmente sono presenti intercalazioni plurimetriche di argilliti grigio-verdognole con laminazione piano-parallela e/o ondulata, calcilutiti, marne calcaree e marne a frattura prismatica con marcata laminazione piano-parallela e ondulata (FYR 3a).



Fig. 4-3 Marne calcaree, argille marnose e siltose, argilliti rosso-brune con intercalate calcareniti fini grigio-avana, laminate piano-parallelamente che evolvono a calcareniti fini, in strati medi e sottili, riferibili alla formazione del Flysch Rosso (scheda rilevamento GEO-02).

FYR 2: Membro calcareo-marnoso.

Calcari e calcari marnosi stratificati, in strati da sottili a spessi, di colore biancastro con intercalazioni di marne e argille marnose, rosso vinaccia e rosate che diventano predominanti verso l'alto della successione. Localmente si riconoscono orizzonti costituiti da calcareniti e calciruditi grigio chiaro ricristallizzati con frammenti di calcari con rudiste, calcareniti torbiditiche in strati medi e spessi, bianche e avana, con intercalazioni di breccie ricristallizzate (FYR 2a).



Fig. 4-4 Flysch Rosso. Strati spessi di calcareniti torbiditiche in strati medi e spessi, bianche e avana, con intercalazioni di breccie ricristallizzate e calciruditi (FYR 2a) (scheda rilevamento GEO-13).

In Fig. 4-4 è presente un affioramento del membro calcareo marnoso del Flysch Rosso che risulta ubicato in corrispondenza di una frana attiva. Questo unico elemento, comunque, non può essere considerato come discriminante per escludere del tutto la presenza di un movimento gravitativo che secondo la cartografia IFFI è di tipo "scivolamento rotazionale o traslativo".



Fig. 4-5 Flysch Rosso. Calcari e calcari marnosi stratificati, in strati da sottili a spessi, di colore biancastro con intercalazioni di marne e argille marnose, rosso vinaccia e rosate (FYR 3b: Cava sul crinale compreso tra la Strada comunale Leccata e Fonte Canale).

UNITÀ DEL FORTORE (non rappresentata in carta)

AVF - Formazione delle Argille Varicolori del Fortore (Miocene Inf. - Cretacico Sup.).

Affiora nei settori più occidentali dell'area rilevata in località Cese-Rio Acquaviva. La successione è costituita da argille di colore grigio, verde, rosso e violaceo, in strati da spessi a molto spessi, con intercalazioni di sottili calcilutiti verdoline e azzurrognole con vene di calcite spatica, calcareniti e calciruditi torbiditiche grigie e giallognole con nummuliti e alveoline, in strati sottili e medi, con laminazioni parallele e convolute; calcareniti fini selcifere, calcilutiti e calcareniti con patine limonitiche o manganesifere, in strati sottili e medi; calcari marnosi bianco-rossastri, ad intensa fratturazione prismatica e sottili livelli di arenarie arcosiche, marne brune o rossastre.



Fig. 4-6 Vista dall'alto dell'areale di affioramento delle compagini argillose policrome riferibili alla Formazione delle Argille Varicolori del Fortore, presente ad ovest dell'area rilevata.

4.1 Modello geologico del tracciato

Per definire la stratigrafia di dettaglio e per ricostruire il modello geologico di riferimento per l'area di progetto si è fatto riferimento ai 4 sondaggi geognostici appositamente eseguiti.

La stratigrafia di riferimento può essere sinteticamente descritta come segue, dall'alto verso il basso:

- *da 0 a 3 m*: in diversi punti affiora l'unità b2_Sabbie argillose bruno scure-nerastre, debolmente ghiaiose da poco a mediamente consistenti, con inclusi frustoli vegetali e frammenti carbonatici decacentimetrici e centimetrici a spigoli vivi. Si rinvencono tracce di ossidazione e di sostanza organica. Dove non sono presenti depositi eluvio colluviale affiorano le formazioni flyschoidi fortemente alterate e composte da limo argilloso debolmente sabbioso con frequenti tracce di ossidazione;
- *da 3 a 25 m*: Formazione del Flysch Rosso (FYR3, FYR3b)_Argilla limosa e limo argilloso, a tratti argilla marnosa di colore marrone rossastro con livelli metrici di colore verde scuro da consistente a molto consistente. Sono presenti numerosi inclusi carbonatici da decacentimetrici a centimetrici a spigoli vivi di colore bianco. Si rinvencono inoltre livelli marnosi e calcareo marnosi a maggiori profondità mentre nei primi metri la formazione risulta maggiormente alterata, fratturata e degradata, con frequenti tracce di ossidazione e composta da argille limose e limi argillosi sabbiosi con inclusi carbonatici e senza orizzonti marnosi più competenti (Fig. 4-7). Nelle parti di tracciato non dettagliatamente investigate in cui affiorano le formazioni flyschoidi, è stato cautelativamente ipotizzato uno spessore variabile della sopradescritta formazione alterata/fratturata;
- *Da 25 a 30m*: Formazione del Flysch Rosso (FYR3a)_Argille marnose e marne argillose grigio azzurre molto consistenti e a tratti litificate (Fig. 4-9).

Le informazioni puntuali ottenute dalle indagini geognostiche utili alla caratterizzazione stratigrafica sono state integrate da rilievi di campagna eseguiti lungo il tracciato e nelle aree limitrofe. Quest'ultime informazioni, presenti in allegato alla presente relazione e suddivise in schede di rilevamento geologico, hanno permesso di analizzare in maggior dettaglio le informazioni geologiche già presenti in bibliografia, delimitando accuratamente le unità geologiche affioranti nell'area. Nello specifico, lungo il tracciato in esame, sono stati individuati affioramenti di materiale eluvio colluviale costituito da limi argillificati e ricchi di sostanza organica (Fig. 4-1). Questi materiali sono per lo più soggetti al dilavamento delle acque meteoriche con evidenze di *rill* e *gully erosion* (rispettivamente erosione per rigagnoli e per fossi) che porta al distacco delle particelle fini, al successivo trasporto. I problemi che ne derivano riguardano quindi possibili fenomeni di sottoescavazione e processi di suffosione (*piping*). Inoltre, in corrispondenza dei punti in cui questi fenomeni interferiscono con il tracciato in progetto, nella progettazione dei tombini idraulici si raccomanda di considerare un rilevante trasporto solido prevalentemente fine dalle acque di

ruscellamento. In particolare, si fa riferimento alla progressiva 0+640 circa in cui è previsto un tombino e dove si sono manifestate nel tempo erosioni concentrate tipo *gully* mentre più a valle, tra le sezioni 32 e 41, un'erosione più diffusa di tipo *rill*. L'evoluzione di questi fenomeni interessa anche altri punti lungo il progetto: alle sez. 24 e 27 circa, si segnalano potenziali fenomeni erosivi concentrati tipo *gully*, mentre alle sez. 6-7, 10, 18, 44, 49 e 63 di tipo *rill*. Per prevedere l'evoluzione di questi fenomeni si raccomanda un'ottimizzazione della regimazione delle acque superficiali nelle porzioni di terreno a valle e a monte del tracciato in progetto.

Durante i rilievi di campo sono stati individuate anche aree in cui affiorano le formazioni flyschoidi attribuibili al Flysch Rosso caratterizzata da una sottile copertura detritica di colore da rossastro a grigio-avana (Fig. 4-11). Questi terreni hanno delle buone caratteristiche geotecniche e in cui è stata registrata una falda ad oltre 20 m da p.c.. Considerando però la bassa permeabilità degli stessi, in corrispondenza di eventi piovosi di forte intensità è prevedibile la saturazione dei livelli più superficiali con possibilità di sviluppo di falde sospese e potenzialmente interferenti con l'opera in progetto (vedi stralcio profilo Fig. 4-11 e Fig. 4-12).



Fig. 4-7 Particolare delle argille rosso-brune alterate (FYR 3b) carotate nel sondaggio S5pz tra 0 e 5 m di profondità.



Fig. 4-8 Calcari e calcari marnosi stratificati, in strati da sottili a spessi, di colore biancastro con intercalazioni di marne e argille marnose, rosso vinaccia e rosate riferibili alla Flysh rosso (FYR3), affiorante ad est del tracciato in progetto (scheda rilevamento GEO-06)



Fig. 4-9 Particolare delle argilliti grigio verdognole e marne (FYR 3a) carotate nel sondaggio S2in tra 25 e 30 m di profondità.



Fig. 4-10 Coperture detritiche discontinue al Marne calcaree e argilliti rossobrune con intercalate calcareniti fini grigio-avane riferibili alla Flysh rosso (FYR3), affiorante ad est del tracciato in progetto (scheda rilevamento GEO-06)

I diversi membri riconosciuti della formazione sopracitata sono in contatto eteropico, e nelle figure seguenti si può osservare uno stralcio del profilo geologico deformato (1:2.000/1:200) con i relativi contatti tra le differenti unità.

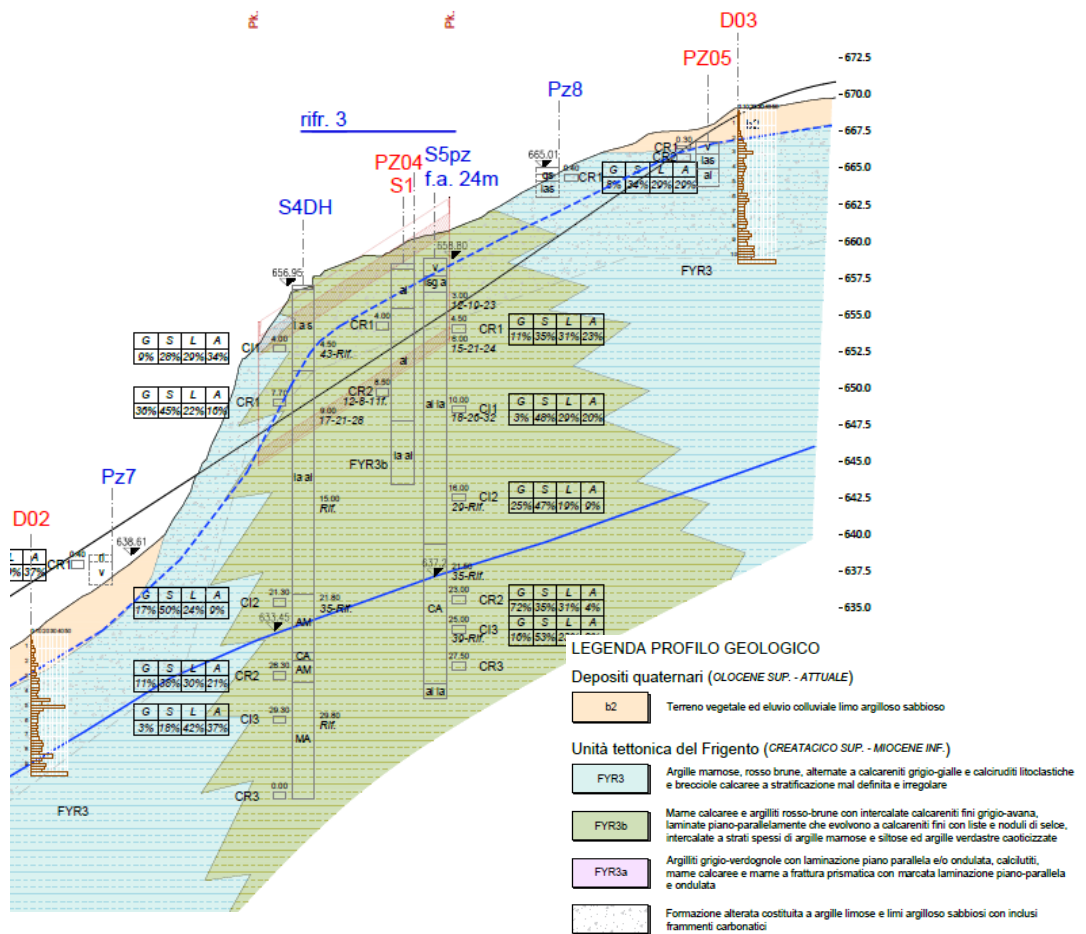


Fig. 4-11 Stralcio del profilo geologico in corrispondenza della galleria artificiale in progetto

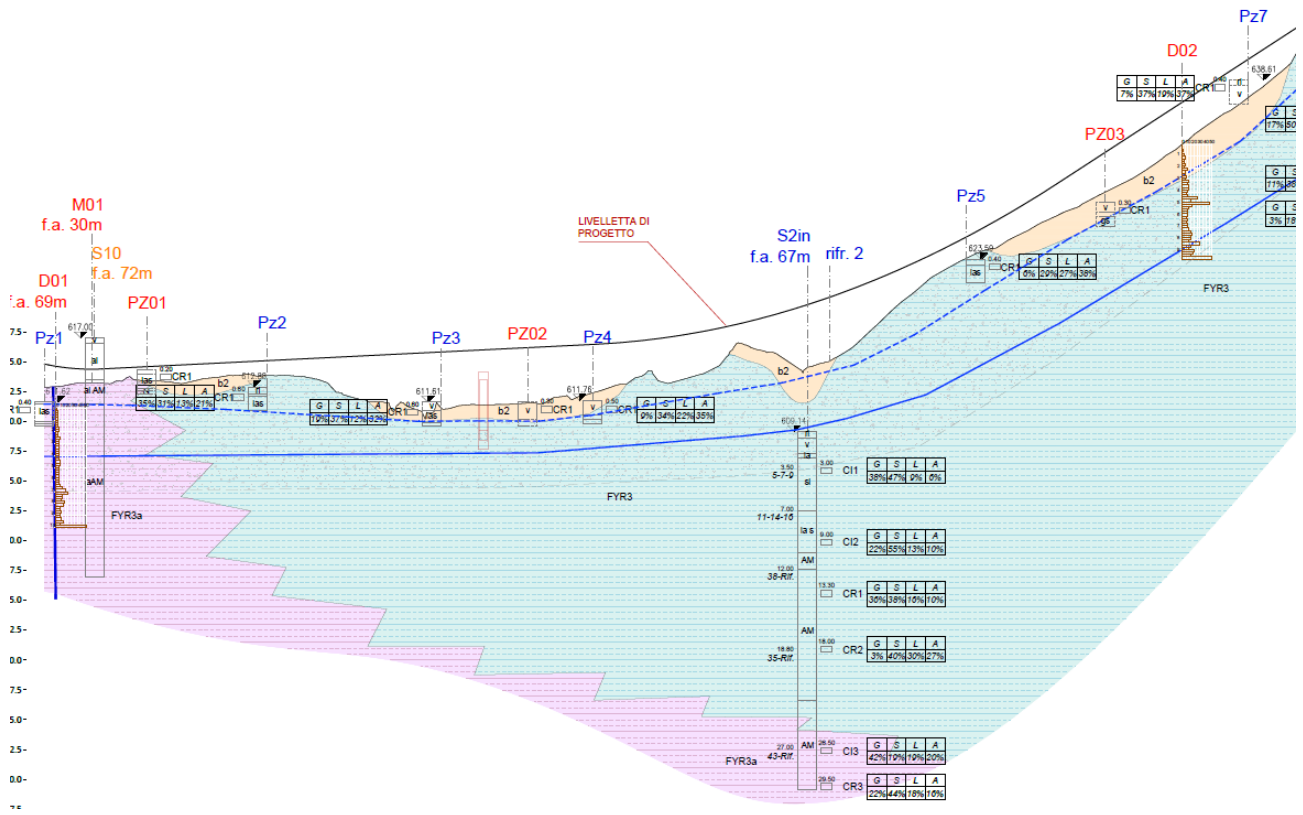


Fig. 4-12 Stralcio del profilo geologico in corrispondenza del tratto centrale e finale del tracciato

5 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA

L'area di studio corrisponde ad un'area di media e alta collina, sviluppato ad est dei rilievi carbonatici del Gruppo dei Monti del Matese, dove affiorano unità tettoniche originatesi dallo scollamento di coperture sedimentarie associate a crosta continentale assottigliata del Bacino lagonegrese-molisano e delle sue articolazioni.

Da un'osservazione su area vasta, questo settore di catena è rappresentato da un profilo topografico scarsamente articolato, in cui la sommità dei rilievi è spesso caratterizzata da una topografia debolmente ondulata o sub-orizzontale attribuibile ai relitti di antiche superfici erosionali impostate su successioni stratigrafiche e strutture tettoniche di vario genere. Il sollevamento regionale plio-quadernario ha ripetutamente variato il livello di base, ritagliando i precedenti paesaggi e sospendendoli a diverse quote, innescando a ogni variazione di livello un nuovo ciclo morfogenetico. Le superfici di spianamento sono infatti distribuite lungo l'interafascia orogenica ed organizzate in più generazioni incastrate morfologicamente fra loro, a quote comprese tra i 600 ed i 1500 metri s.l.m., variamente dislocate da faglie ad alto angolo e dissecate dall'erosione lineare.

L'evoluzione geomorfologica a scala locale è poi strettamente connessa agli aspetti lito- e morfostratigrafici delle successioni mesozoiche terziarie affioranti ed alla loro condizione giaciturale, che controlla evidentemente anche i processi gravitativi e erosionali. La larga diffusione di unità a dominante argilloso-marnoso-calcareo (es. Flysch Rosso, FYR3), ha favorito l'imposizione di morfologie blande sui termini argilloso-marnosi soprattutto nella condizione di franapoggio lungo il pendio. Questa particolare condizione giaciturale crea condizioni di intensa erosione, di tipo lineare ed areale, e limita evidentemente i processi gravitativi, che sono invece maggiormente sviluppati sui versanti a media acclività come quelli del T.nte Tammarecchia. Su questi versanti, affiorano nelle condizioni giaciturali di reggipoggio e di traversopoggio i termini calcareo-marnosi del Flysch Rosso (FYR2) e compaiono elementi morfologici caratteristici quali valleciole secondarie molto incise e scarpate, frequenti ondulazioni, contropendenze e incisioni (rivoli o solchi). Queste aree sono caratterizzate da una morfologia più articolata dovuta alla presenza di unità costituite da alternanze di litotipi calcarenitici/calciruditici e livelli metrici marnosi-argillosi. Questa condizione determina passaggi netti e marcati da aree più acclivi e con fronti subverticali, tipiche delle zone di affioramento degli orizzonti/banchi calcarenitici-calciruditici (FYR2a), a forme piuttosto blande e arrotondate, meno acclivi, tipiche delle facies a dominanza marnosa (FYR2).

Lungo il tracciato in progetto la morfologia si presenta poco articolata, variando altimetricamente tra i 670 ed i 603 m di quota muovendosi da nordest a sudovest, passando dagli esigui rilievi collinari molto rastremati dall'erosione, impostati nei termini mesozoici-terziari, ad una superficie spianata a

debole pendenza con profilo debolmente ondulato o sub-pianeggiante, correlabile con elementi di un antico paesaggio diffusi a livello regionale («Paleosuperficie» Auctt.), su cui si impostano estese coperture eluvio-colluviali e locali piccoli accumuli di depositi lacustri/palustri.

L'acquisizione di dati, elementi e informazioni di tipo geomorfologico è avvenuta sia in maniera diretta, attraverso indagini sul campo con rilievo di dati di monitoraggio, che indiretta attraverso l'esame di immagini telerilevate, quali foto aeree, ortofoto ed immagini satellitari.

Le varie Unità affioranti nell'area di studio e descritte nella Carta geologica, sono state raggruppate, sulla base delle loro caratteristiche stratigrafiche, sedimentologiche e strutturali, in 4 Complessi Litologici:

- **CS** - Complesso superficiale che include le sole coltri eluvio-colluviali;
- **CAM** - Complesso argilloso-marnoso, che comprende tutte le formazioni a dominanza argillosa del Flysch Rosso (FYR3) e quelle argillitiche policrome e caoticizzate riferibili all'Unità del Fortore (AVF);
- **CPA** - Complesso pelitico-arenaceo, cui appartiene il Flysch Numidico (FYN);
- **CM** - Complesso Carbonatico-Marnoso, che include la successione calcareo-marnosa del Flysch Rosso (**FYR2**).

5.1 Perimetrazione delle aree in frana

L'individuazione delle aree in frana, basata essenzialmente sul loro riconoscimento sul terreno e la valutazione dello stato di attività, è stata condotta per mezzo dell'osservazione diretta di particolari evidenze geomorfologiche e di elementi minori quali gradini, ondulazioni, fratture coperture detritiche, incisioni, rotture di pendio associate a contropendenze, versanti concavo-convessi, disordine nel reticolo di drenaggio, superfici di rottura, accumuli di materiale etc.. A supporto di quanto rilevato, la Base Dati è stata successivamente implementata con la serie dei dati disponibili sull'area, suddivisi in funzione della tipologia e dei Cataloghi/Archivi di catalogazione ai quali si riferiscono.

Sono stati quindi cartografati i seguenti elementi:

- Frane attive e quiescenti, a meccanismo non definito, corrispondenti alle aree perimetrate nei Fogli CARG – Campania n°419 “S. Giorgio La Molara” come depositi di frana dell'Olocene sup. - Attuale;

- Aree a diverso grado di attenzione, a meccanismo e grado di attività non definito, secondo la zonazione effettuata dal Piano Stralcio dell'Autorità di Bacino Liri, Garigliano e Volturno (PSAI)
- Frane attive e quiescenti, a meccanismo non definito, corrispondenti alle aree perimetrate per il Progetto dell'Inventario dei Fenomeni Franosi (IFFI) della Regione Campania.

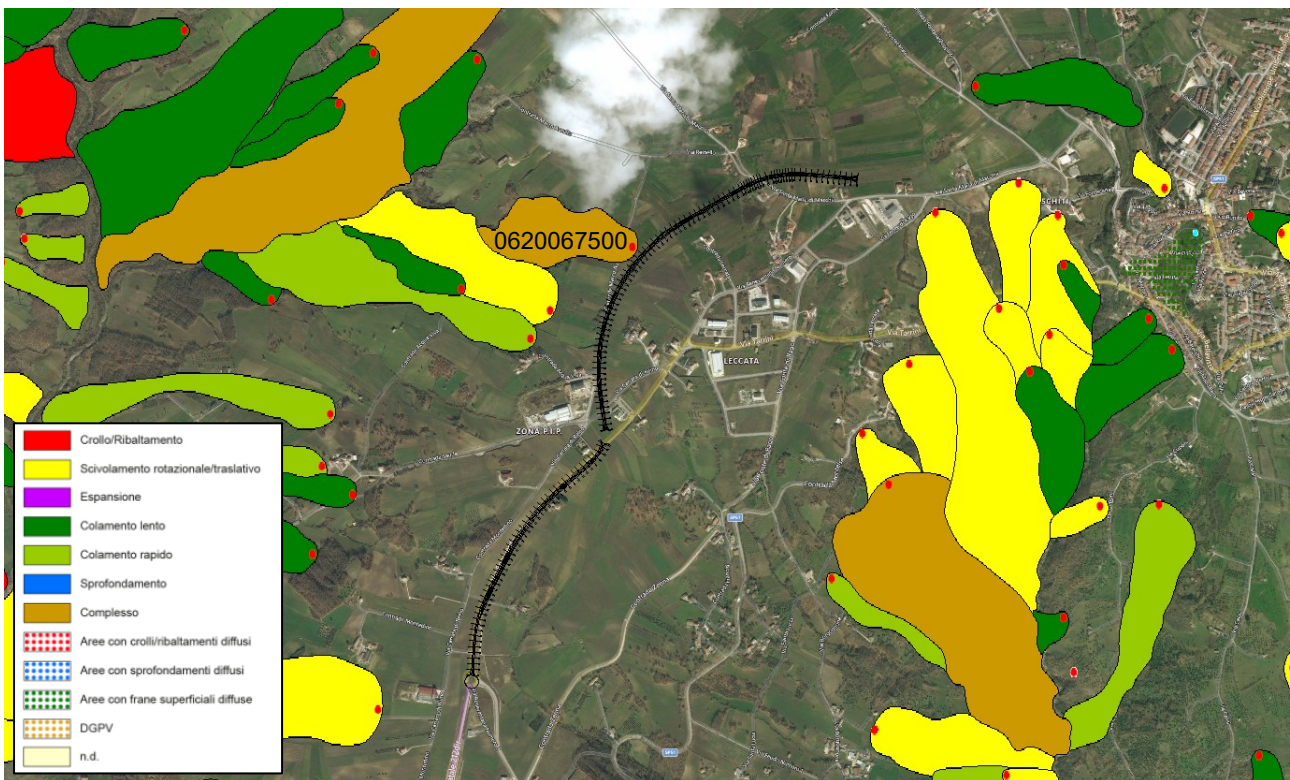


Fig. 5-1 Catalogo IFFI. Aree in frana di diversa tipologia e cinematico presenti nell'immediato intorno del tracciato. Con il n° identificativo 0620067500 è indicata la frana di tipo complesso e quiescente interferente.

Dai Cataloghi/Archivi di catalogazione risulta che nell'area rilevata sono presenti principalmente colamenti e scivolamenti traslativi/rotazionali, e subordinatamente crolli/ribaltamenti (Fig. 5-1).

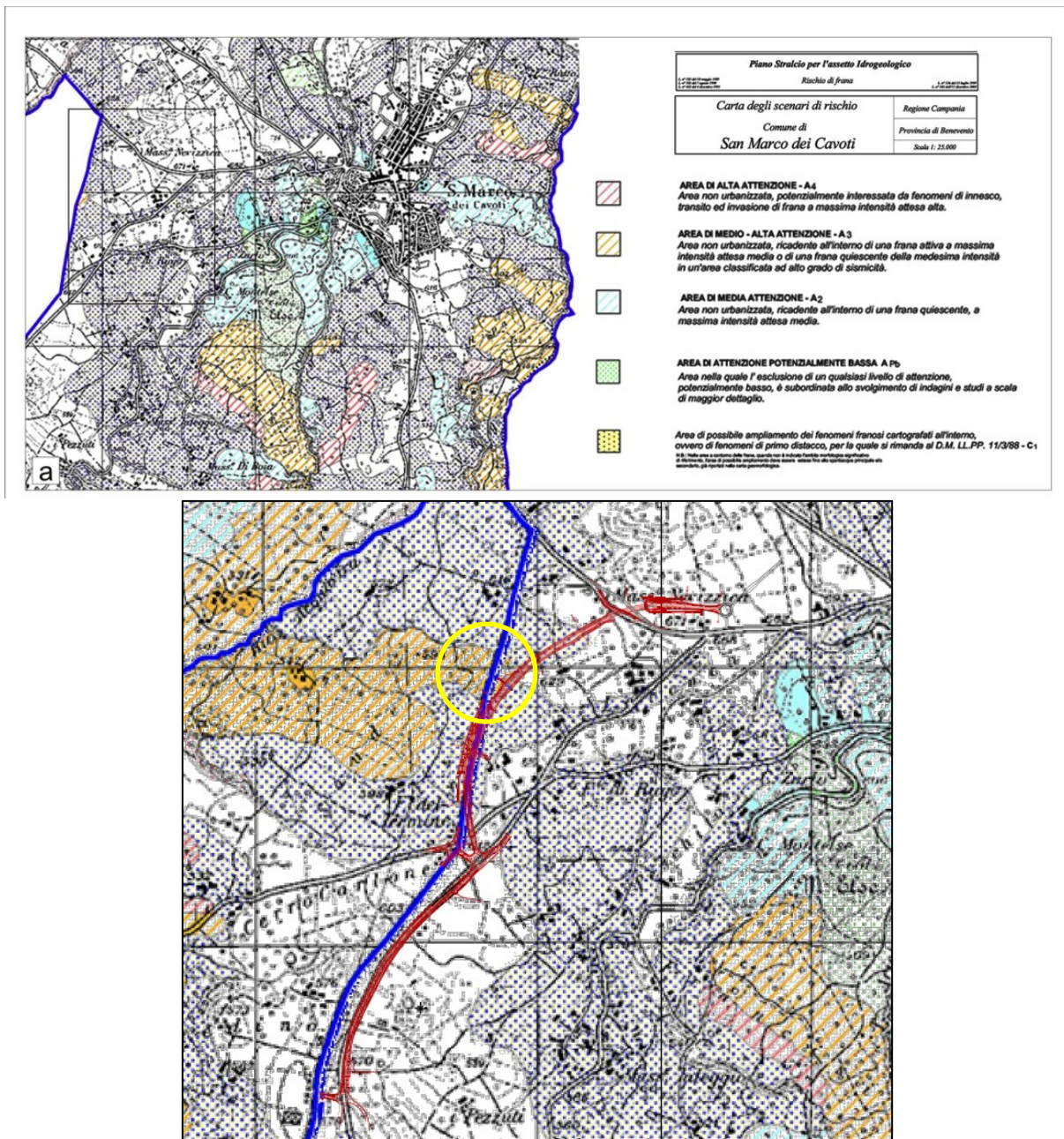


Fig. 5-2 a) Piano Stralcio dell' Autorità di Bacino Liri, Garigliano e Volturno (PSAI). b) Particolare delle aree classificate "A3" e "C1" rispetto al tracciato di progetto.

La visione sinottica del Piano Stralcio dell'Autorità di Bacino Liri, Garigliano e Volturno (PSAI – “Carta degli scenari di rischio – Comune di San Marco dei Cavoti” Scala 1:25.000 e “Carta degli scenari di rischio – Comune di Reino”) e il tracciato di progetto, evidenzia che quest’ultimo, lungo un tratto di circa 100 m, ricade all’interno di un’area di tipo “A3”, ossia di “un’area non urbanizzata, di media-alta attenzione, ricadente in una frana attiva e massime intensità attesa media o di una frana quiescente della medesima intensità, in un’area classificata ad alto grado di sismicità”. Anche il catalogo IFFI segnala nella stessa zona, ma leggermente più a valle dell’area A3 del PSAI, un’area

in frana di tipo complesso e quiescente identificata dalla sigla Id IFFI 0620067500 (Fig. 5-1), caratterizzata a scala locale da elementi morfologici quali vallecole secondarie molto incise, ondulazioni del terreno e incisioni (rivoli o solchi).

Il PSAI inoltre perimetra altre due aree, di tipo "C1", nel tratto meridionale del tracciato su di una lunghezza complessiva di 885 m (600+285 m). Le aree di tipo "C1" sono aree di possibile ampliamento dei fenomeni franosi cartografati al loro interno, ovvero di fenomeni di primo distacco. Per queste aree il PSAI prevede che gli interventi a farsi siano subordinati "unicamente all'applicazione della normativa vigente in materia, con particolare riguardo al rispetto delle disposizioni contenute nel D.M 11 marzo 1988 (S.O. G. U n.127 del 1/06/88), nella Circolare LL.PP. 24/09/88 n. 3483 e successive norme e istruzioni e nel D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 (Testa unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia - G. U n. 245 del 20 ottobre 2001-s.o. n. 239)".

Per una caratterizzazione completa tesa alla comprensione della dinamica e all'evoluzione del movimento dell'areale di tipo "A3", negli approfondimenti morfologici effettuati nel 2018, sono stati appositamente eseguiti 3 sondaggi geognostici (Sn1pz; S1in, S2in) di cui due attrezzati con tubi inclinometrici e 2 linee sismiche a rifrazione (Rifr1 e Rifr2) le cui risultanze sono contenute nei relativi allegati.

L'area del tracciato, pur essendo impostata in un'area scarsamente articolata dal punto di vista morfologico, è stata invece interessata da estesi fenomeni erosionali, verificatisi a seguito di particolari condizioni di piovosità, come quelle dell'Aprile del 2015.

I versanti interessati sono stati quelli a debole pendenza tra le località Leccata e Fonte di Rago, che hanno subito una forte azione erosiva, effetto dell'azione areale del ruscellamento, esplicitasi con modalità tipiche della "erosione a rivoli e solchi per ruscellamento concentrato". Le immagini derivate dai Cataloghi storici di Google Earth, mostrano, infatti, diverse aree interessate da solchi erosivi diffusi di tipo "rill" e di alcuni solchi più profondi di tipo "gully" (prevalenti nella parte esterna al tracciato) che, come si può vedere dalle immagini di Fig. 5-3, sono arrivate ad interessare il tracciato.

L'insacco e lo sviluppo di questi particolari fenomeni erosivi, in genere seguiti a lunghi periodi di piogge brevi e intense, sono stati favoriti sicuramente da alcune condizioni predisponenti, quali:

- affioramento di litotipi teneri, incoerenti o poco coerenti, alquanto erodibili, e poco permeabili, quali terreni prevalentemente argilloso-marnosi;
- fattori morfologici quali forma, lunghezza e pendenza del versante;

- condizione di alterazione meccanica imposta dalle pratiche di coltivazione agraria essenzialmente di tipo seminativo/erbaceo.

Particolare attenzione dovrà essere posta all'eventualità che tali fenomeni possano ripetersi nel futuro in coincidenza di particolari condizioni meteorologiche, e che l'erosione a solchi una volta innescata, possa evolvere rapidamente, approfondendosi, allungandosi e ramificandosi, con un progressivo arretramento delle testate delle incisioni, fino a interessare in più tratti il tracciato, con areali più vasti di quelli investiti dagli eventi dell'aprile 2015.

Per questo motivo è stato ritenuto indicativo circoscrivere gli areali che hanno subito una forte azione erosiva concentrata durante gli eventi di aprile 2015, e includerli nella Carta Geomorfologica come "aree interessate da forme a dilavamento diffuso (*rill erosion*)" e "assi di forma da erosione concentrata – *gully erosion*".

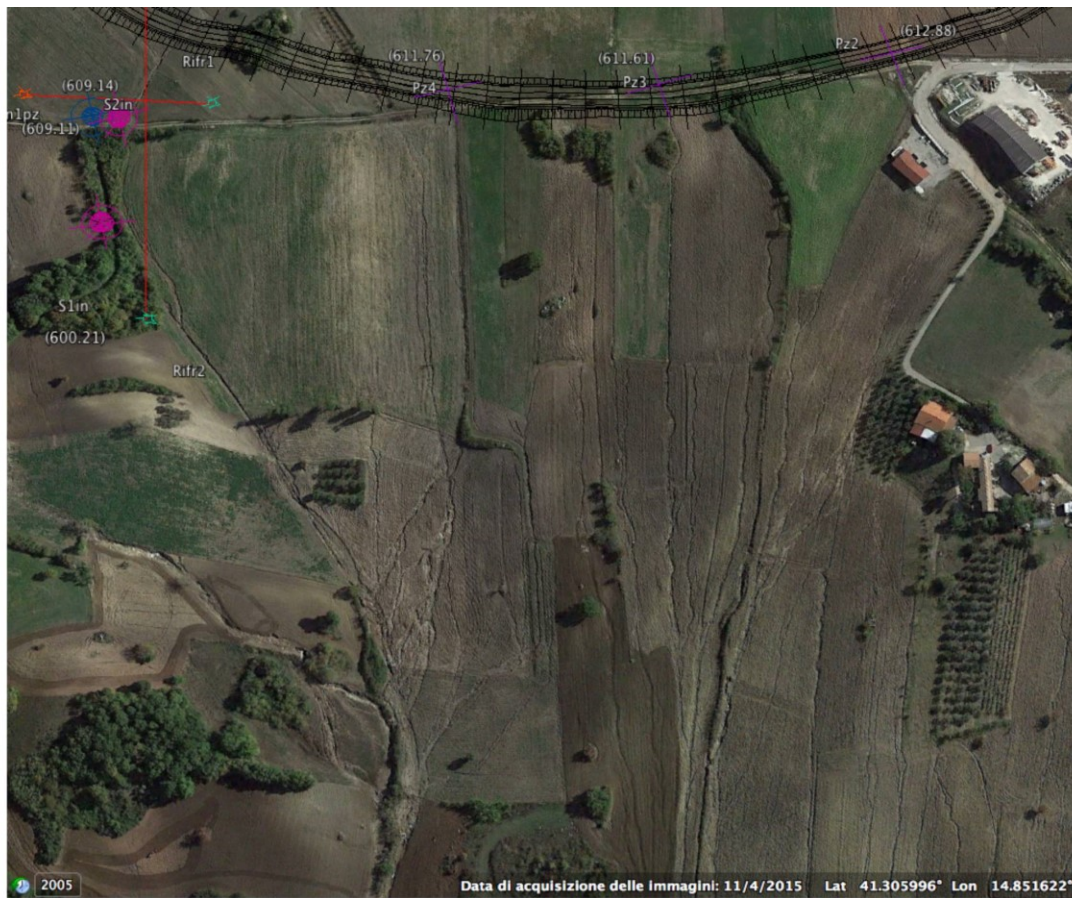


Fig. 5-3 Particolare della forte azione erosiva concentrata a rivioli e solchi di ruscellamento, verificatisi nelle aree prossime al tracciato di progetto in seguito delle forti piogge dell'Aprile del 2015.

5.2 Misurazioni inclinometriche

Allo scopo di approfondire le conoscenze sullo stato di attività della frana quiescente individuata in letteratura, interferente nella zona di coronamento col tracciato di progetto, sono stati installati tubi inclinometrici nei sondaggi S2 e S1 (si rimanda alle tavole di ubicazione indagini e alla tavola geomorfologica per l'ubicazione degli stessi). Il rilievo sul campo non ha evidenziato segnali di instabilità e le caratteristiche morfologiche complessive non permettono di delimitare con maggiore precisione l'estensione del dissesto.

L'attività di monitoraggio, effettuata dalla ditta Tecno In S.p.A, nel periodo novembre 2018 - marzo 2021 ha consentito di misurare gli spostamenti subiti dal tubo inclinometrico.

Nelle figure sottostanti sono rappresentate le misure degli spostamenti rispetto ad un punto fisso di base, sommando i diversi contributi alle varie profondità, in modo da definire la deformata assunta dalla tubazione alla data della misura.

I movimenti più significativi si riscontrano nei primi 3-4 m dal piano campagna dove il massimo spostamento cumulato registrato è di circa 15 mm. La direzione registrata di questi movimenti (vedasi Fig. 5-4 in cui è stata indicata la principale direzione ottenuto dal grafico polare dell'inclinometro) è leggermente diversa nelle due verticali indagate (prevalentemente S-SE nel S1 e Ovest nel S2), ed è probabilmente legata all'ubicazione del sondaggio S1 situato alla sommità di una scarpata incisa da un rio e quindi non direttamente influenzato dalla principale direzione di immersione del versante bensì da quella locale.

Sono rilevabili, inoltre, movimenti di minor entità a maggiori profondità compatibili con il movimento di creep, senza evidenze di superfici di scorrimento.

Considerato quanto osservato si può concludere come l'intera area sia soggetta a un lento movimento di soil creep, in cui i livelli superiori (caratterizzati da terreni eluvio colluviali) manifestano un maggiore spostamento lungo il pendio rispetto ai livelli più profondi appartenenti al substrato alterato.

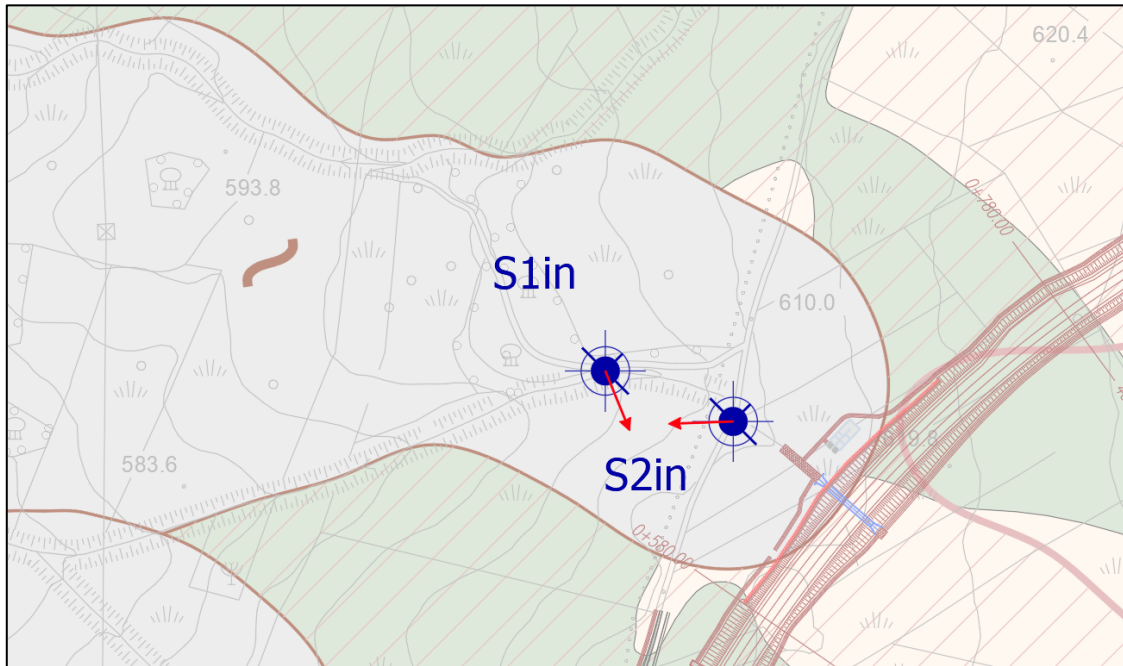


Fig. 5-4 Particolare della Carta geomorfologica in cui si evidenziano le principali direzioni di movimento registrate (freccie in rosso).

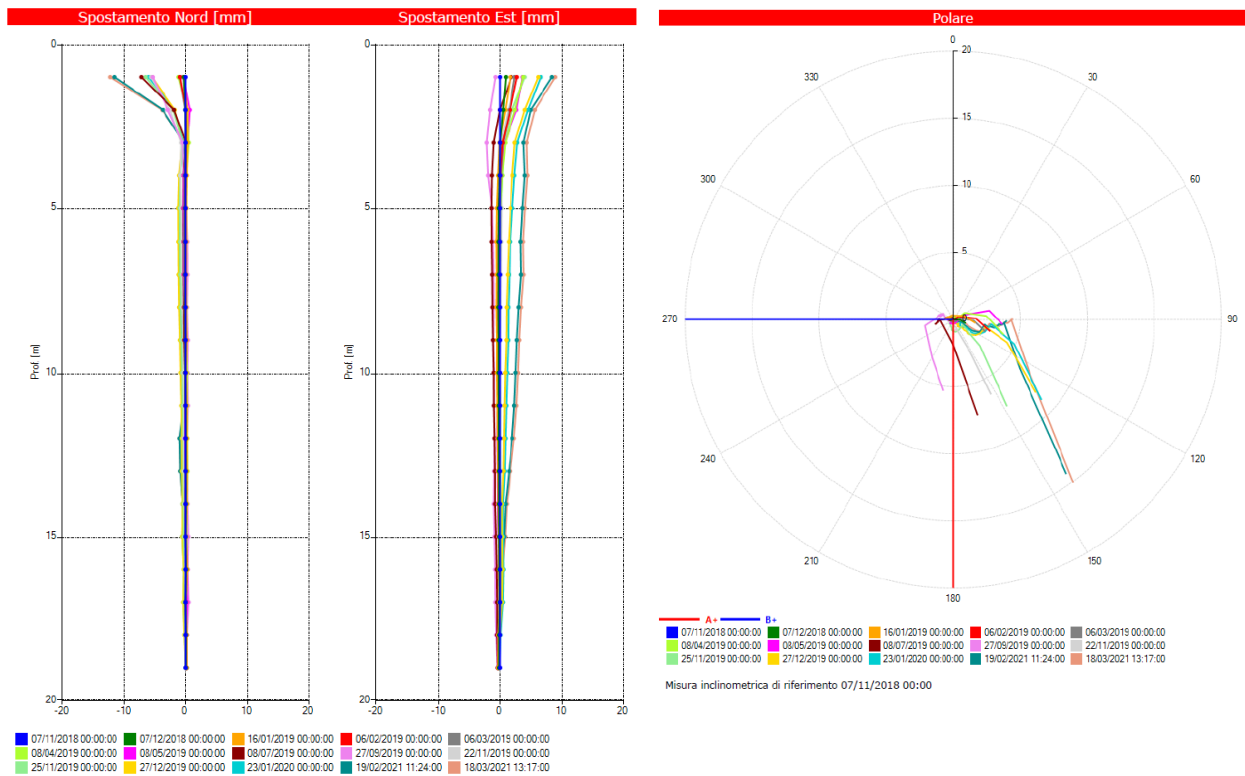


Fig. 5-5 Grafico in cui vengono rappresentate le misure di spostamento Nord-Est nel tempo lungo il sondaggio S1.

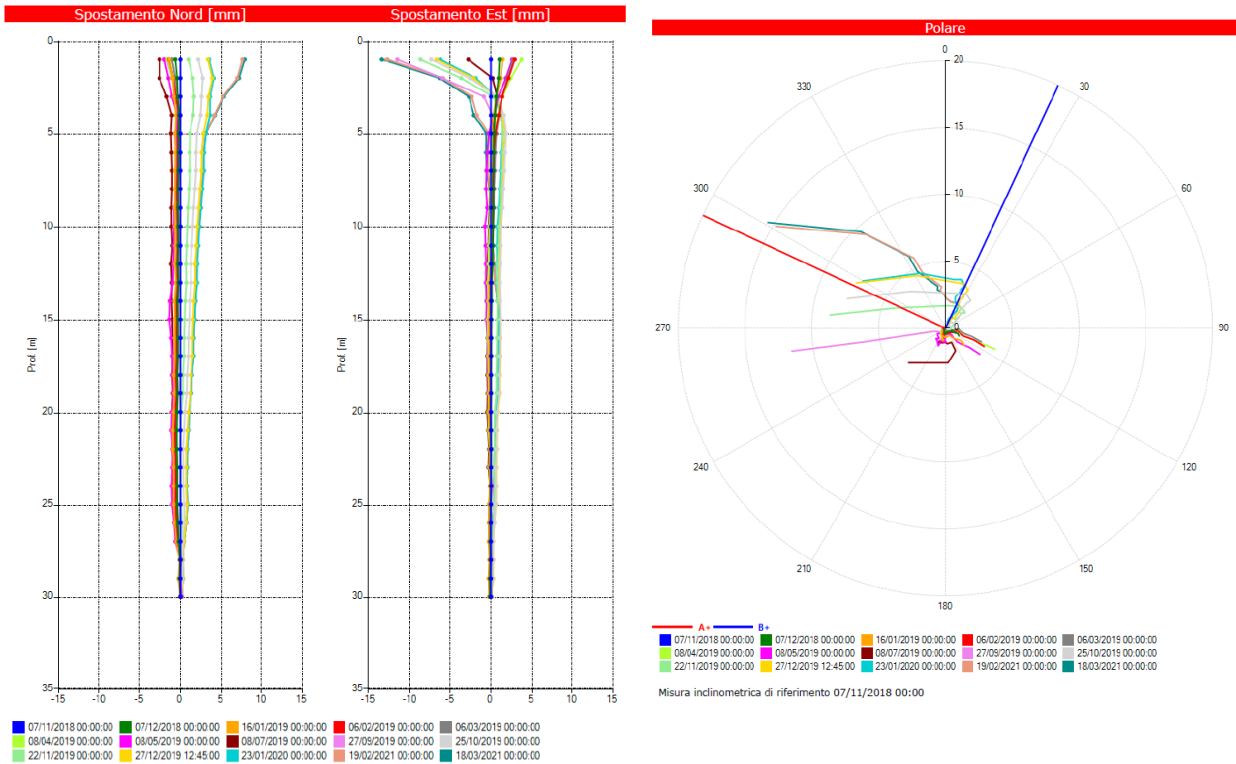


Fig. 5-6 Grafico in cui vengono rappresentate le misure di spostamento Nord-Est nel tempo lungo il sondaggio S2.

6 ASSETTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrologico l'area in esame ricade in una zona di crinale tra i bacini del torrente Tammarecchia e Reinello, entrambi affluenti in sponda sinistra del Fiume Tammaro. A maggiore scala fanno parte della zona collinare del più vasto bacino del Volturno.

Le caratteristiche dei bacini in esame sono influenzate, oltre che dalle locali condizioni climatiche, da fattori strutturali e morfoselettivi. Le condizioni climatiche e la distribuzione delle piogge, determinano essenzialmente una variabilità delle condizioni idrologiche, tanto nel regime dei corsi d'acqua (regime torrentizio), quanto nella circolazione idrica nel sottosuolo, mentre i fattori strutturali e morfoselettivi, da mettere in relazione con la diversa erodibilità e permeabilità delle formazioni geologiche affioranti, la loro composizione litologica, l'assetto tettonico caratterizzato da pieghe, faglie, sovrascorrimenti, etc. condizionano il tipo e la disposizione della rete idrografica.

La rete idrografica si sviluppa più su terreni prevalentemente impermeabili manifestando un pattern essenzialmente dendritico, tipico che di terreni omogenei, impermeabili, a limitata acclività, che denota uno scarso controllo tettonico.

La grande diffusione di terreni poco permeabili fa sì che, nell'ambito del foglio 419 della Carta Geologica di Italia in scala 1:50.000 – San Giorgio la Molara, dove ricade l'area di studio, non siano presenti strutture idrogeologiche di particolare potenzialità da un punto di vista delle risorse idriche sotterranee. Queste si concentrano essenzialmente nell'ambito delle "isole" prevalentemente calcaree e calcareo – marnose (cfr. FYR e CPA) che costituiscono altrettanti bacini in grado di alimentare sorgenti talora di interesse locale non trascurabile (Servizio Geologico d'Italia).

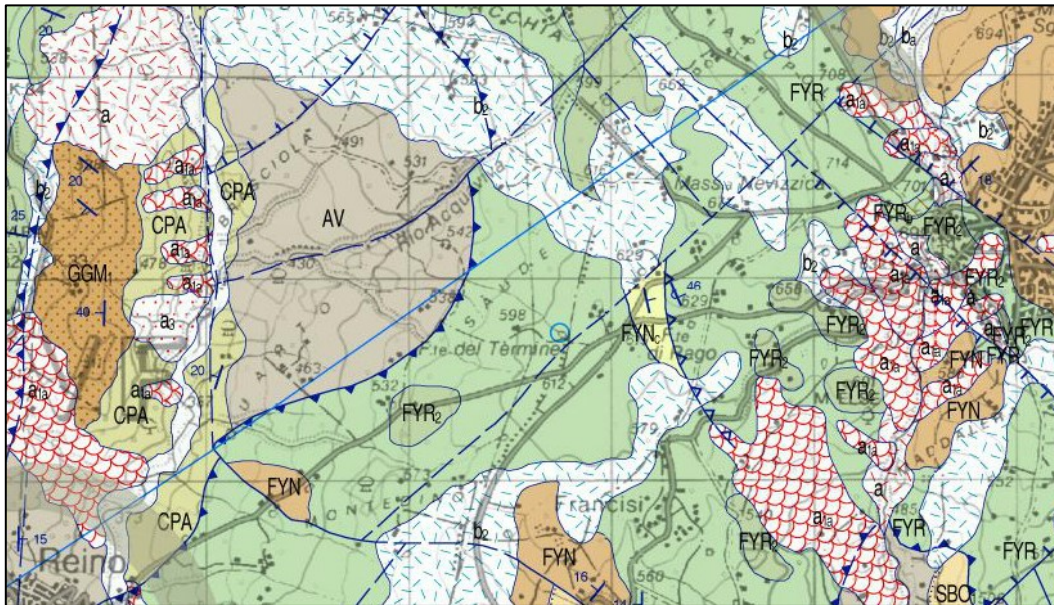


Fig. 6-1 Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000. Foglio 419 – San Giorgio la Molara.

Secondo la Carta Idrogeologica della provincia di Benevento (Fig. 6-2), sulla quale è riportata la traccia dell'ubicazione delle indagini eseguite, l'area in esame ricade in parte nel complesso arenaceo – molassico, con grado di permeabilità medio – basso di tipo misto, in parte del complesso argilloso – marnoso, con grado di permeabilità per fratturazione basso e subordinatamente nel complesso calcarenitico, a permeabilità medio – alta per fratturazione.

I dati bibliografici sono stati analizzati e confrontati con quelli rilevati in campo; tale studio ha condotto alla redazione della Carta Idrogeologica, alla quale si rimanda per la visione di dettaglio dell'assetto idrogeologico dell'area di interesse.

Nel corso campagna di indagini del 2021, la falda è stata intercettata nel sondaggio S5pz, piezometro a tubo aperto, a 21,85 m dal p.c. ed in Sn1pz, condizionato con 2 celle di Casagrande a 2,53 (cella superficiale a 6 m da p.c.) ed a 3,80 (cella profonda a 24 m da p.c.) dal p.c.. Nelle tabelle seguenti sono esposti i dati del rilevamento piezometrico effettuati nel luglio 2018 e nel marzo 2021. Come si può osservare le quote piezometriche sono di poco più alte ma riconducibili ad una normale oscillazione stagionale.

Tab. 6-1 *Dati relativi alle letture piezometriche effettuate nei piezometri installati lungo il tracciato in esame*

Sigla ID.	Riferimento	Falda (m dal t.t.)	Falda (m s.l.m.)
S5pz	Luglio 2018	24.30	634.71
	Marzo 2021	21.85	637.16

Sigla ID.	Riferimento	Falda 1^ cella (m dal t.t.)	Falda 2^ cella (m dal t.t.)	Quota falda 1^ cella p.c. (m s.l.m.)	Quota falda 2^ cella p.c. (m s.l.m.)
Sn1pz	Luglio 2018	3.69	3.82	605.53	605.40
	Marzo 2021	2.53	2.60	606.69	606.62

Per questo motivo ai fini di una corretta rappresentazione della piezometria in corrispondenza del profilo geologico, sono stati riportati i livelli misurati nel corso della campagna di misura di marzo 2021 (rappresentativi della piezometria dell'acquifero), ed è stato necessario interpretare un livello di falda di progetto (o di saturazione dei terreni di copertura) che rappresenti la potenziale saturazione dei livelli più superficiali con possibilità di sviluppo di falde sospese.

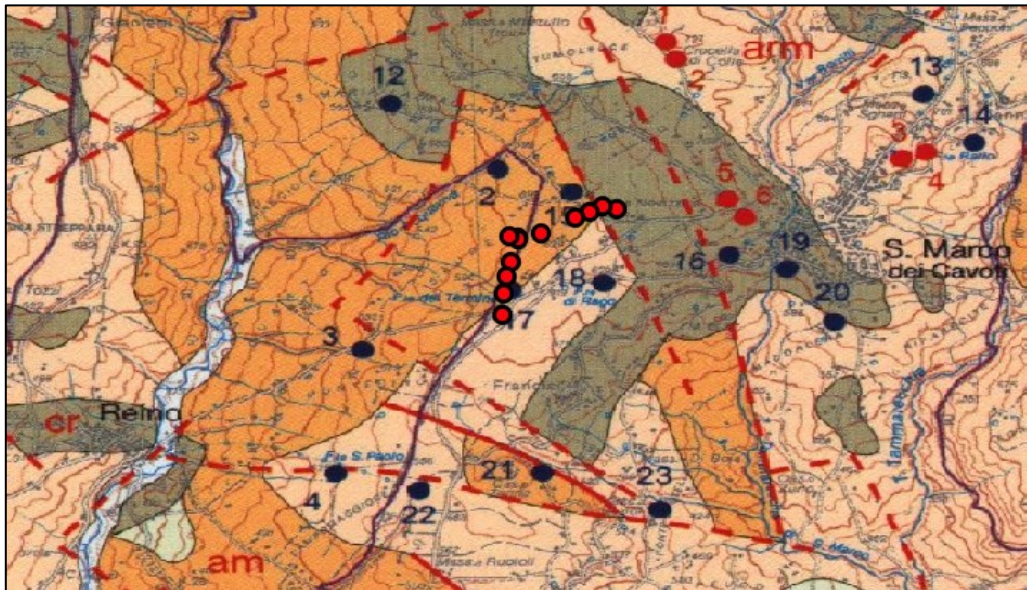


Fig. 6-2 Stralcio della Carta Idrogeologica della Provincia di Benevento in scala 1:100.000. (Esposito, Celico, Guadagno, & Aquino, 2002)

LEGENDA

Descrizione dei complessi idrogeologici	PERMEABILITÀ									
	GRADO ⁽¹⁾					TIPO ⁽²⁾				
	BB	B	M	A	E	P	Fe	M	Fr	C

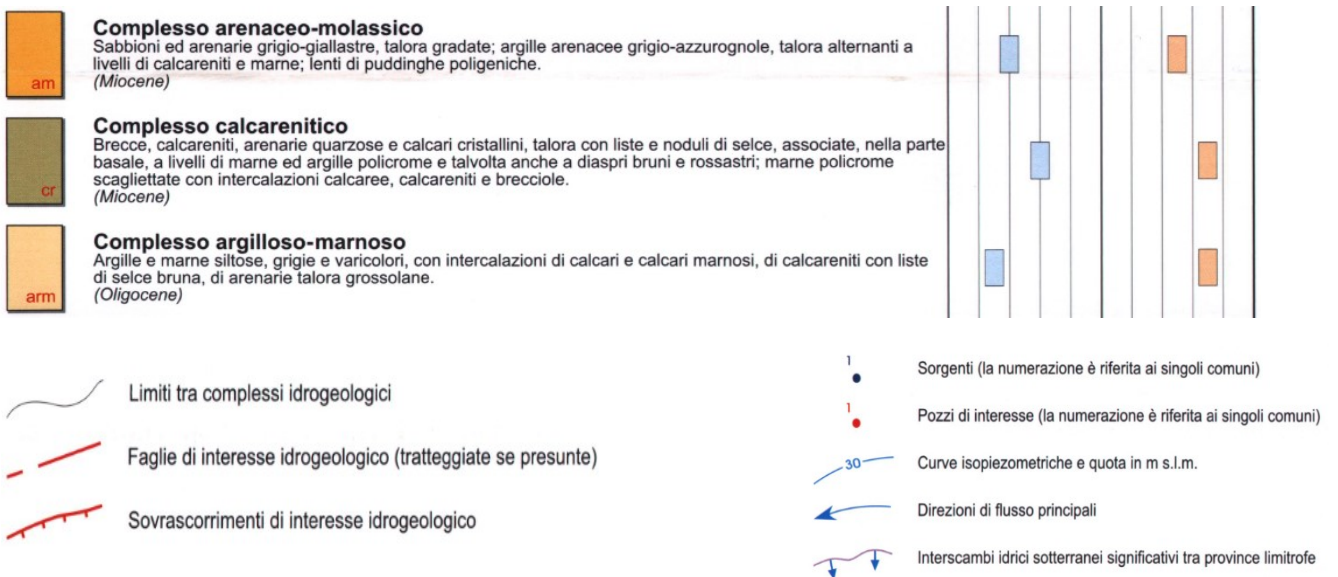


Fig. 6-3 Stralcio della legenda della Carta Idrogeologica della Provincia di Benevento in scala 1:100.000. (Esposito, et al., 2002). Note: 1) Grado di permeabilità: BB = Bassissimo; B = Basso; M = Medio; A = Alto; E = Elevato. 2) Tipo di permeabilità: P = Porosità; Fe = Fessurazione; M = Mista; Fr = Fratturazione; C = Carsismo.

7 CONCLUSIONI

Dal punto di vista geologico l'area di interesse, che ricade nel Foglio 419 – “San Giorgio la Molara” della Carta Geologica d'Italia, è costituita essenzialmente dai prodotti ascrivibili alla formazione del Flysch Rosso, nelle sue componenti prevalentemente argillo marnose con intercalazioni calcarenitiche ed argillitiche, ricoperte da materiali eluvio/colluviali.

Per quanto concerne le caratteristiche geomeccaniche dei terreni investigati, le prove penetrometriche S.P.T. hanno restituito in circa il 60% dei casi valori a rifiuto in accordo con le litologie testate.

Le prove di laboratorio hanno fornito per i terreni granulari testati valori di angolo d'attrito compresi tra 30 e 35° e coesione 15-26 KPa.

Riguardo la stabilità dei versanti i rilievi geologici di superficie e la comparazione con studi bibliografici, hanno consentito di redigere una carta geomorfologica in cui sono evidenziate aree interessate da dissesti ed altre potenzialmente instabili. I risultati del monitoraggio inclinometrico sulla frana interferente il tracciato in progetto ha permesso inoltre di verificare la presenza nel corso del periodo di monitoraggio di un lento movimento di soil creep nei primi 15 metri dal p.c. con una evidenza maggiore nei primi 3-4 metri e senza evidenziare nette superfici di scorrimento.

La falda è stata intercettata in due perforazioni: S5pz, piezometro a tubo aperto, a 21.85 m dal p.c. ed in Sn1pz, condizionato con 2 celle di Casagrande a 2.53 (cella superficiale) ed a 3.80 (cella profonda) dal p.c.. Considerata la bassa permeabilità dei depositi in esame è necessario considerare la possibilità di sviluppo di falde sospese con possibile saturazione dei livelli più superficiali di terreno. In via previsionale, si raccomanda di prevedere adeguate opere di canalizzazione e drenaggio delle acque superficiali, sia a monte che a valle del tracciato, e di opere di protezione delle scarpate del rilevato stradale da possibili fenomeni di sottoescavazione e processi di suffosione (*piping*).

Dal punto di vista sismico i siti d'indagine ricadono nei comuni di San Marco Dei Cavuoti e Reino, entrambi in zona sismica 1.

8 BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (2015) - Bacino Volturno Pr. di BN e CE - Rapporto di Evento dei giorni 14-15 e 19/10/2015 -Aggiornamento: 6 novembre 2015 -Distretto idrografico Appennino Meridionale (DAM) Autorità di Bacino LGV.

(http://www.ildistrettoidrograficodellappenninomeridionale.it/rapporto%20evento%20ottobre%202015_rev.00.pdf).

De Capoa P., Di Staso A., Guerrera F., Perrone V., Tramontana M., Zaghloul M.N. (2002). The Lower Miocene volcanoclastic sedimentation in the Sicilian sector of the Maghrebian Flysch Basin: geodynamic implications. *Geodin. Acta*, 15, pp. 141-157.

Di Nocera S., Matano F., Pescatore T., Pinto F., Quarantiello R., Senatore M.R. & Torre M. (2006). Schema geologico del transetto Monti Picentini orientali - Monti della Daunia meridionali: unità stratigrafiche ed evoluzione tettonica del settore esterno dell'Appennino meridionale. *Boll. Soc. Geol. It.*, 125, pp. 1-20.

Guerrera F., Martyn-Martyn M., Perrone V. & Tramontana M. (2005) - Tectono-sedimentary evolution of the southern branch of the Western Tethys (Maghrebian Flysch Basin and Lucanian Ocean): consequences for WesternMediterranean geodynamics. *Terra Nova*, 17, pp.1-10.

Mostardini F., Merlini S. (1986) - Appennino centro meridionale: sezioni geologiche e proposta di modello strutturale. (S.I. : Centro stampa Agip). - 59 p. : ill., 16 c. geol. ripieg. 73° Congresso della Società geologica italiana: Roma, 30 settembre-4 ottobre, 1986.

Patacca E., Scandone P., Bellatalla M, Perilli N. & Santini U. (1992). The Numidian-sand event in the Southern Apennines. *Mem. Sc. Geol.*, 43, pp. 297-337, Padova.

Pescatore T., Di Nocera S., Matano F. & Pinto F. (2000). L'Unità del Fortore nel quadro della geologia del settore orientale dei Monti del Sannio (Appennino meridionale). *Boll. Soc. Geol. It.*, 119, pp. 587-601.

Pescatore T., Pinto F., Renda P., Senatore M.R., Tramutoli M. & Valente A. (1996a). Avansosse mioceniche dell'Appennino meridionale (Italia). *Rend. Acc. Sc. Fis. Mat.*, 63, pp. 85-121, Napoli.

Pescatore T.S., Di Nocera S., Matano F., Pinto F., Quarantiello R., Amore O., Boiano U., Civile D., Fiorillo L., Martino C. (2008). Geologia del settore centrale dei monti del Sannio: nuovi dati stratigrafici e strutturali. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXXVII*, pp. 77-94

ALLEGATO 1 – SCHEDE DI RILIEVO