COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

LINEA COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA: -

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RC1C	03	R	69	RG	GE0001	001	B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	ARES	novembre 2021	A. SALVAGNINI	novembre 2021	I. D'AMORE	novembre 2021	M. COMEDINI giugno 2022
B	Emissione a seguito di richiesta integrazioni CSLLPP Parere n°5/2022	ARES	giugno 2022	A. SALVAGNINI	giugno 2022	I. D'AMORE	giugno 2022	

ITALFERR Dott. Geol. Massimo Comedini Ordine dei Geologi del Lazio n° 2103

File: RC1C03R69RGGE0001001B.docx		n. Elab

INDICE

1 PREMESSA 7

2 SCOPO DEL DOCUMENTO 9

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 10

4 ALLEGATI 14

5 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA 15

6 CAMPAGNA DI INDAGINE 17

6.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI 18

6.2 PROVE PENETROMETRICHE 24

6.3 INDAGINI GEOFISICHE 24

6.4 RILIEVI DI CAMPO 26

6.4.1 Rilievi geostrutturali 26

7 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE 27

7.1 EVOLUZIONE GEOLOGICA 32

7.2 CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE 34

7.3 CARATTERISTICHE STRUTTURALI 36

8 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE 39

8.1 DATI UTILIZZATI PER LA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO 39

8.2 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO 46

8.2.1 Basamento metamorfico paleozoico 47

8.2.2 Basamento cristallino paleozoico 54

8.2.3 Successioni marine mioceniche 56

8.2.4 Successioni marine plio-pleistoceniche 60

8.2.5 Successioni marine quaternarie 66

8.2.6 Successioni continentali quaternarie 69

8.3 ASSETTO STRUTTURALE 72

8.3.1 La Catena Costiera *72*

8.3.2 Il Bacino del Crati *74*

9 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE 76

9.1 CARATTERISTICHE STRUTTURALI E TETTONICHE 76

9.2 CARATTERISTICHE DEI PRINCIPALI SISTEMI FLUVIALI 77

9.3 CARATTERISTICHE DELLE ZONE LITORALI 78

9.4 CARATTERISTICHE DEI FENOMENI EROSIVI 78

9.5 CARATTERISTICHE DEI FENOMENI GRAVITATIVI 78

10 ASSETTO GEOMORFOLOGICO LOCALE 84

10.1 ELEMENTI IDROGRAFICI 84

10.2 ELEMENTI STRUTTURALI E TETTONICI 86

10.3 FORME POLIGENICHE 86

10.4 FORME, PROCESSI E DEPOSITI GRAVITATIVI 86

10.5 FORME, PROCESSI E DEPOSITI DOVUTI ALLE ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI 90

10.6 FORME, PROCESSI E DEPOSITI DI ORIGINE MARINA 92

10.7 FORME ANTROPICHE E MANUFATTI 92

11 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO REGIONALE 94

11.1 ACQUIFERI E COMPLESSI IDROGEOLOGICI 94

11.1.1 Acquiferi porosi plio-quaternari *95*

11.1.2 Acquiferi misti tardo-cenozoici *96*

11.1.3 Acquiferi fessurati paleozoici *96*

12 ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE 99

12.1 COMPLESSI IDROGEOLOGICI 99

12.1.1 Complessi delle unità del substrato *99*

12.1.2 Complessi dei depositi di copertura *101*

12.2 PROVE DI PERMEABILITÀ 102
12.3 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO 107
12.3.1 Monitoraggio piezometrico della campagna indagine Italferr 2022 108
12.3.2 Monitoraggio piezometrico della campagna indagine Italferr 2021 109
12.3.3 Monitoraggio piezometrico della campagna indagine CI01 110
12.3.4 Monitoraggio piezometrico della campagna indagine Italferr 2012 111
12.4 OPERE DI CAPTAZIONE ED EMERGENZE SORGENTIZIE 112
12.5 CONDIZIONI DI DEFLUSSO IDRICO SOTTERRANEO 116
13 SISMICITÀ DELL'AREA 119
13.1 SISMICITÀ STORICA 122
13.2 SISMICITÀ ATTUALE 132
13.3 PERICOLOSITÀ SISMICA 143
13.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO 145
14 CRITICITÀ GEOLOGICHE 148
14.1 CRITICITÀ GEOLOGICO-TECNICHE 148
14.2 CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE 158
14.2.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico Regione Calabria 166
14.3 CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE 175
14.4 CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE 178
14.4.1 Gneiss di Cozzo Luparello 178
14.4.2 Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti 179
14.4.3 Scisti muscovitici di Greco 179
14.4.4 Filladi di San Giovanni 180
14.5 SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE 181
14.6 PRESENZA DI GAS NATURALI 193

14.7 RISCHIO AMIANTO 193
14.8 AGGRESSIVITÀ AL CALCESTRUZZO 198
15 DESCRIZIONE DEI SETTORI D'INTERVENTO 199
15.1 LINEA COSENZA-S. LUCIDO 199
15.1.1 Opere all'aperto (km 0+000 – km 2+829) *199*
15.1.2 Opere all'aperto (km 2+829– km 3+975) *201*
15.1.3 Galleria naturale/galleria artificiale (km 3+975 – km 6+984) *203*
15.1.4 Galleria naturale (km 6+984 – km 8+229) *205*
15.1.5 Galleria naturale (km 8+229 – km 9+664) *206*
15.1.6 Galleria naturale (km 9+664 – km 11+390) *208*
15.1.7 Galleria naturale (km 11+390 – km 13+337) *209*
15.1.8 Galleria naturale (km 13+337 – km 16+568) *212*
15.1.9 Galleria naturale (km 16+568 – km 18+519) *215*
15.1.10 Galleria naturale/galleria artificiale (km 18+519 – km 19+750) *216*
15.1.11 Opere all'aperto (km 19+750 – km 20+727) *218*
15.2 INTERCONNESSIONE 219
15.2.1 Galleria naturale (km 0+000 – km 1+228) *220*
15.2.2 Galleria naturale/galleria artificiale (km 1+228 – km 1+967) *221*
15.2.3 Opere all'aperto (km 1+967 – km 3+137) *223*
15.3 NUOVE VIABILITÀ 224
15.3.1 Nuova viabilità NV01 ..... *225*
15.3.2 Nuova viabilità NV02 ..... *226*
15.3.3 Nuova viabilità NV03 ..... *227*
15.3.4 Nuova viabilità NV04 ..... *228*
15.3.5 Nuova viabilità NV05 ..... *229*

15.3.6 Nuova viabilità NV06 ..... *230*

15.3.7 Nuova viabilità NV07 ..... *231*

15.3.8 Nuova viabilità NV08 ..... *233*

16 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 235

1 PREMESSA

Nella presente fase di arricchimento del PFTE della *"Linea Cosenza-Paola/S.Lucido – Nuova linea AV Salerno – Reggio Calabria - Raddoppio Cosenza-Paola/S.Lucido"*, è stata pianificata ed eseguita una nuova campagna di indagini dirette ed indirette, con il relativo aggiornamento dello Studio Geologico, con l'obiettivo di:

- verifica delle formazioni geologiche individuate durante lo scavo dell'attuale galleria Santomarco, per confermare o integrare il modello geologico di PFTE;
- caratterizzazione geotecnica e geomeccanica, attraverso l'esecuzione di sondaggi geognostici, prove in foro e di laboratorio, delle diverse formazioni geologiche intercettate durante lo scavo della nuova galleria Santomarco per le quali è necessario l'approfondimento di carattere quantitativo, relativo all'attuale fase progettuale. In particolare, le formazioni del basamento metamorfico paleozoico interessate dallo scavo della galleria sono indagate tramite sondaggi a carotaggio continuo sia dall'interno dell'attuale galleria Santomarco sia da superficie, allo scopo di ottenere una parametrizzazione adeguata;
- approfondimento progettuale del dissesto presente in corrispondenza della NV07 lato Paola, con esecuzione di indagini geognostiche, installazione di strumentazione piezometrica ed inclinometrica, ed esecuzione di indagini geognostiche su alcuni tratti di linea lato Cosenza.

Inoltre, per la pianificazione delle suddette indagini si è tenuto conto anche delle indicazioni fornite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLLPP) con il parere n° 5/2022 del 22 marzo 2022. In tale parere vengono richiesti una serie di approfondimenti tramite anche l'esecuzione di indagini integrative – in particolare sondaggi da eseguirsi dall'interno dell'attuale galleria Santomarco e indagini geofisiche profonde tramite sismica a riflessione – che, come specificato nel parere, dovranno permettere un aggiornamento del progetto secondo 2 step temporali:

1. aggiornamento del PFTE già consegnato
2. aggiornamento del PFTE per la fase di gara

Le modalità di indagine che sono state programmate sulla base di quanto sopra descritto sono:

- **Indagini dirette eseguite dall'interno della galleria esistente "Santomarco"**
- **Indagini dirette eseguite da superficie**
- **Indagini indirette – geofisiche di sismica a riflessione e a rifrazione**

Per il dettaglio del programma indagini geognostiche previsto per le due suddette fasi progettuali - aggiornamento del PFTE e PFTE per gara – si deve fare riferimento all'**Allegato 1: Programma Indagini Integrative** fornito nelle risposte al CSLLPP.

Il presente studio si riferisce al primo step progettuale - aggiornamento del PFTE – che è stato possibile predisporre sulla base di una prima parte delle indagini programmate ed eseguite (come dettagliato nel seguito del presente documento), mentre le risultanze delle rimanenti indagini attualmente in corso saranno recepite nella successiva fase di PFTE per gara.

A valle del completamento di tutte le indagini e dei relativi studi previste per i 2 step progettuali sopracitati - aggiornamento del PFTE e PFTE per gara - sarà quindi possibile definire gli aspetti geologici e idrogeologici che dovranno essere oggetto di approfondimento da parte dell'Appaltatore.

Nell'ambito del suddetto Studio sono stati quindi effettuati i rilievi e gli approfondimenti propedeutici alla redazione degli elaborati di sintesi previsti dal progetto stesso. Il lotto in esame è suddiviso in:

- Linea Cosenza – Paola/S. Lucido;
- Interconnessione;
- Nuove viabilità.

In particolare, il lavoro si è svolto attraverso le seguenti fasi operative:

- acquisizione ed analisi degli studi geologici esistenti riguardanti l'area di interesse;
- approfondimenti conoscitivi mediante studi fotointerpretativi condotti su ortofoto;
- rilievi diretti sul terreno mirati alla definizione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area;
- acquisizione ed analisi delle indagini geognostiche disponibili ed appositamente realizzate nell'area di interesse progettuale;
- analisi dei dati e redazione delle presenti note di sintesi e degli elaborati cartografici a corredo.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Le presenti note e gli elaborati cartografici ad esse allegati contengono la sintesi dello studio effettuato, chiariscono gli aspetti connessi con lo scenario naturale relativamente alla componente geologica in cui si colloca il settore di studio e affrontano gli elementi ritenuti critici dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico.

Il modello geologico applicativo proposto, in riferimento ad un volume geologico significativo (*sensu* NTC 2018) in cui sia possibile cogliere interrelazioni dinamiche tra la componente geologica *s.l.* e quella antropica, pone particolare attenzione alla ricostruzione degli assetti e alle configurazioni geometriche delle differenti unità individuate e alla caratterizzazione in senso fisico, litologico e granulometrico dei terreni direttamente interessati dalle opere in progetto.

Gli elaborati cartografici e le relative note di riferimento sono stati redatti secondo gli standard metodologici più diffusi in ambito scientifico, nazionale ed internazionale.

In particolare, sono stati sono stati effettuati i rilievi e gli approfondimenti propedeutici al progetto stesso, in rapporto alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del territorio ed alla stabilità dell'area in ordine al rischio sismico propedeutici alla redazione degli elaborati di sintesi previsti dal progetto stesso.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nella presente relazione si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

Italferr 2022		
"Linea Cosenza – Paola/S. Lucido Nuova linea AV Salerno-Reggio Calabria Raddoppio Cosenza – Paola/S. Lucido" PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA - 2022		
codifica elaborato	**descrizione elaborato**	**scala**
RC1C 03 R69SG GE 0005 002 A	Indagini geognostiche: sondaggi ordinari integrativi giugno 2022	-
RC1C 03 R69PR GE 0005 002 A	Indagini geognostiche: prove di laboratorio integrative giugno 2022	-
RC1C 03 R69IG GE 0005 002 A	Indagini geognostiche: Indagini geofisiche integrative giugno 2022	-

Italferr 2021		
"Linea Cosenza – Paola/S. Lucido Nuova linea AV Salerno-Reggio Calabria Raddoppio Cosenza – Paola/S. Lucido" PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA - 2021		
codifica elaborato	**descrizione elaborato**	**scala**
RC1C 03 R69SG GE 0005 001 A	Indagini geognostiche - Sondaggi ordinari	-
RC1C 03 R69PR GE 0005 001 A	Indagini geognostiche – prove di laboratorio	-
RC1C 03 R69IG GE 0005 001 A	Indagini geognostiche - Indagini geofisiche	-

CI01		
"A2 Autostrada del Mediterraneo - Interventi di Miglioramento Funzionale Svincolo di Cosenza Nord al km 250+000" PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA - 2020		
codifica elaborato	**descrizione elaborato**	**scala**
certificato n° 016/2020	Indagini geognostiche ed ambientali	-

CI02

"Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i." 2015-2017

codifica elaborato	descrizione elaborato	scala
1684-RC-0-OA-130	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Battipaglia-Reggio Calabria Centrale* *Sottovia al km 197+149 – TR0061-SD-OA-PT0-B01* Relazione geologico - tecnica	-
1684-RC-0-OA-131	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Battipaglia-Reggio Calabria Centrale* *Ponte al km 198+208 – TR0061-SD-OA-PT0-P03/P12* Relazione geologico - tecnica	-
1684-RC-0-OA-133	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Battipaglia-Reggio Calabria Centrale* *Ponte al km 200+072 – TR0061-SD-OA00-PT0-P07/P17* Relazione geologico - tecnica	
1684-RC-0-OA-135	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Battipaglia-Reggio Calabria Centrale* *Ponte al km 200+784 – TR0061-SD-OA00-PT0-P09/P15* Relazione geologico - tecnica	
1684-RC-0-OA-137	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Battipaglia-Reggio Calabria Centrale* *Ponte al km 201+116 – TR0061-SD-OA00-PT0-P10/P16* Relazione geologico - tecnica	
1684-RC-0-OA-278	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Battipaglia-Reggio Calabria Centrale* *Ponte al km 200+587 – TR0061-SD-OA00-PT0-P08/P14* Relazione geologico - tecnica	
1684-RC2-1-OA-090	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Napoli-Reggio Calabria* *Ponte al km 197+258 – TR0061-SD-OA00-PT0-B02* Relazione tecnica sulle attività geognostiche	
1684-RC2-1-OA-091	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Napoli-Reggio Calabria* *Ponte al km 197+699 – TR0061-SD-OA00-PT0-P01* Relazione tecnica sulle attività geognostiche	
1684-RC2-1-OA-092	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Napoli-Reggio Calabria* *TM Verrace km 197+975 – TR0061-SD-OA00-PT0-P02/P11* *Linea ferroviaria Paola-Castiglione e Racc. TM Verrace Km 0+980 - TR0233-SD-OA00-PT0-P03*	

CI02		
"Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i." 2015-2017		
codifica elaborato	**descrizione elaborato**	**scala**
	Relazione tecnica sulle attività geognostiche	
1684-RC2-1-OA-094	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Napoli-Reggio Calabria* *Ponte km 198+805 – TR0061-SD-OA00-PT0-P04* *Ponte Km 198+805 - TR0061-SD-OA00-PT0-P04* Relazione tecnica sulle attività geognostiche	
1684-RC2-1-OA-095	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Napoli-Reggio Calabria* *Ponte km 199+089 B/P – TR0061-SD-OA00-PT0-P05* *Ponte Km 198+089 B/D* Relazione tecnica sulle attività geognostiche	
1684-RC2-1-OA-096	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Napoli-Reggio Calabria* *TM Scirocco km 199+703 – TR0061-SD-OA00-PT0-P06* *TM Scirocco km 199+703 - TR0061-SD-OA00-PT0-P13* Relazione tecnica sulle attività geognostiche	
1684-RC2-1-OA-098	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Napoli-Reggio Calabria* *Ponte km 0+601 (luce ml 7) unico – TR0238-SD-OA00-PT0-P01* Relazione tecnica sulle attività geognostiche	
1684-RC2-1-OA-099	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria Paola-Castiglione e raccordo* *Ponte km 0+670 (luce ml 15) unico – TR0238-SD-OA00-PT0-P02* Relazione tecnica sulle attività geognostiche	
1684-RC2-1-OA-103	*D.T.P. REGGIO CALABRIA Linea ferroviaria PAOLA-CASTIGL. e RACC.* *Ponte - Km 01+357 (luce 7,00) – TR0233-SD-OA00-PT0-P01* Relazione tecnica sulle attività geognostiche	

CI03		
"Indagini Geognostiche - A3 - Tronco 2 Tratto 5 Lotto 3 dal km 244+700 al km 253+700 (Rose Montalto - Cosenza Nord)" PROGETTO PRELIMINARE - 2013		
codifica elaborato	**descrizione elaborato**	**scala**
T00 GE 00 GE 0 RE 02	Documentazione Indagini Geognostiche	-

Italferr 2012

"Metaponto-Sibari-Bivio S. Antonello Raddoppio della tratta Bivio S. Antonello/Castiglione Cosentino-Bivio S. Lucido/Paola"
PROGETTO PRELIMINARE - 2012

codifica elaborato	descrizione elaborato	scala
RCD2 00 R69 SG GE 0005 001 A	Sondaggi e prove in sito	-

4 ALLEGATI

A corredo della presente relazione sono stati elaborati i seguenti documenti:

codifica elaborato	descrizione elaborato	scala
RC1C 03 R69 RH GE0001 001 B	Relazione geomeccanica	-
RC1C 03 R69 N4 GE0001 001 B	Carta geologica con elementi di geomorfologia Tav. 1 di 1	1:10000
RC1C 03 R69 F4 GE0001 001 B	Profilo geologico Linea BP Tav. 1 di 2	1:10000/1000
RC1C 03 R69 F4 GE0001 002 B	Profilo geologico Linea BP Tav. 2 di 2	1:10000/1000
RC1C 03 R69 F4 GE0001 003 B	Profilo geologico Interconnessione BD Tav. 1 di 1	1:10000/1000
RC1C 03 R69 L5 GE0001 001 B	Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico Linea BP Imbocco lato Cosenza	1:5000/500
RC1C 03 R 69 L5 GE0001 002 B	Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico Linea BP Imbocco lato S. Lucido	1:5000/500
RC1C 03 R 69 L5 GE0001 003 B	Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico Linea BD Imbocco lato Paola	1:5000/500
RC1C 03 R69 N4 GE0002 001 B	Carta idrogeologica Tav. 1 di 1	1:10000
RC1C 03 R69 F4 GE0002 001 B	Profilo idrogeologico Linea BP Tav. 1 di 2	1:10000/1000
RC1C 03 R69 F4 GE0002 002 B	Profilo idrogeologico Linea BP Tav. 2 di 2	1:10000/1000
RC1C 03 R69 F4 GE0002 003 B	Profilo idrogeologico Interconnessione BD Tav. 1 di 1	1:10000/1000
RC1C 03 R69 L5 GE0002 001 B	Carta idrogeologica e profilo idrogeologico Linea BP Imbocco lato Cosenza	1:5000/500
RC1C 03 R69 L5 GE0002 002 B	Carta idrogeologica e profilo idrogeologico Linea BP Imbocco lato S. Lucido	1:5000/500
RC1C 03 R69 L5 GE0002 003 B	Carta idrogeologica e profilo idrogeologico Linea BD Imbocco lato Paola	1:5000/500

5 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA

L'area di studio ricade nel settore centrale della Regione Calabria e, più precisamente, lungo il margine occidentale dell'Appennino Calabro, nella porzione di territorio compresa tra la costa tirrenica a sud di Paola ed il fondovalle del F. Crati a nord di Rende. Tale areale ricade interamente nella provincia di Cosenza e interessa parte dei territori comunali di Montalto Uffugo, Paola, Rende, San Fili, San Lucido e San Vincenzo la Costa.

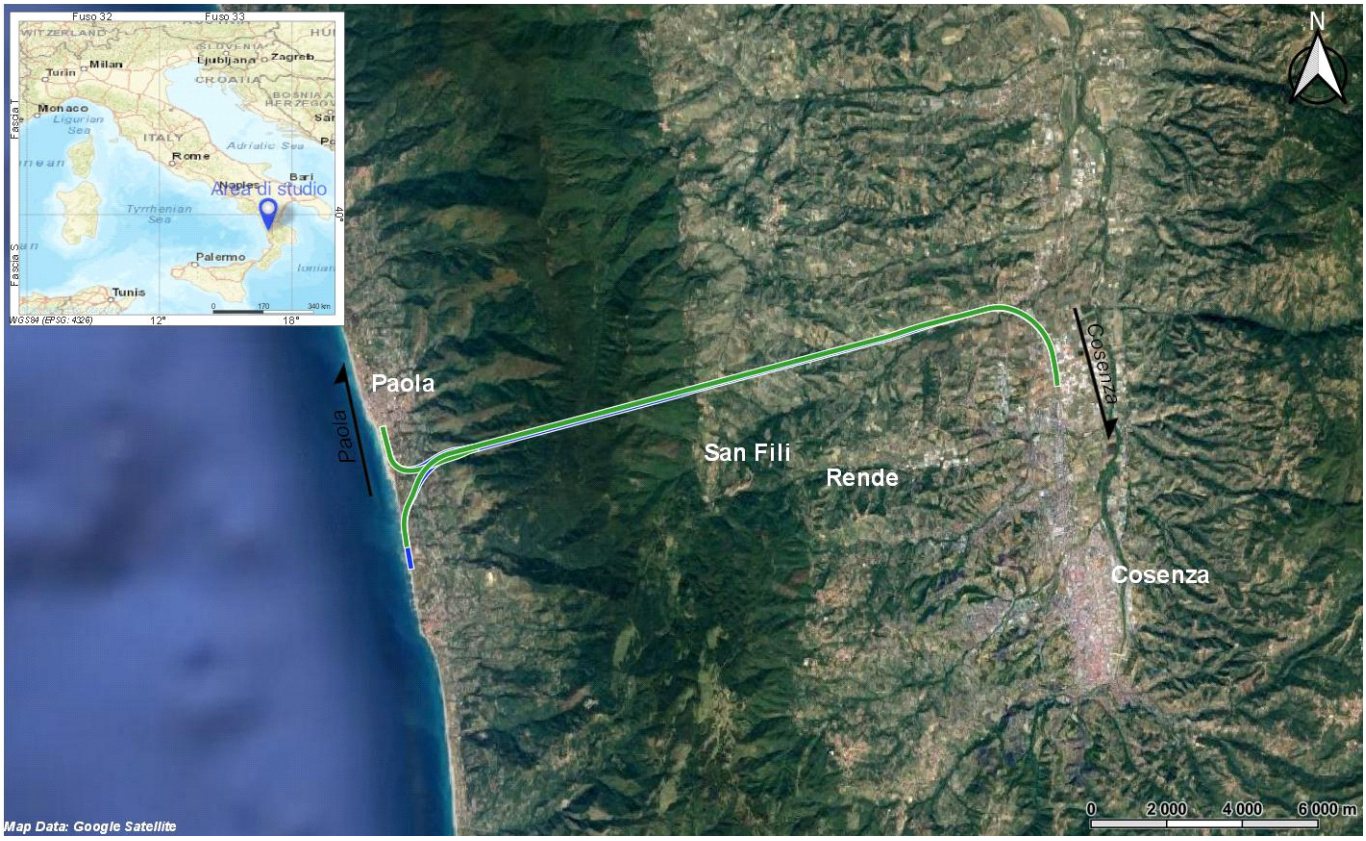


Figura 1 – Corografia in scala 1:200000 dell'area di studio geologico con individuazione della tratta ferroviaria in progetto.

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia, edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.), l'area oggetto di studi è individuabile all'interno del Foglio 229 "*Paola*" e nel Foglio 236 "*Cosenza*" in scala 1:100000, nelle Tavolette 229 II SW, 229 III SE, 229 III SW e 236 IV NW in scala 1:25000 e, con riferimento alla Carta Tecnica della Regione Calabria, negli elementi 559012, 559013, 559021, 559022, 559023, 559031, 559032, 559033, 559034, 559051 e 559054 in scala 1:5000.

Dal punto di vista morfologico, il settore di studio è caratterizzato da un territorio con caratteristiche estremamente variabili ed eterogenee. Il settore occidentale, infatti, ricade nella parte centrale della Catena Costiera ed è caratterizzato da una morfologia tipicamente montuosa, con rilievi piuttosto acclivi ed estesi posti a quote variabili tra i 600 ed i 1255 m circa s.l.m.. La continuità del paesaggio è interrotta, molto spesso, da strette valli di incisione fluviale che tagliano tutti i rilievi secondo allineamenti ben evidenti che ricalcano l'assetto strutturale dell'area.

Il settore orientale, invece, si colloca nella fascia di territorio compresa tra il margine orientale della Catena Costiera ed il fondovalle del F. Crati. Si tratta di un territorio tipicamente collinare, caratterizzato da rilievi generalmente poco accentuati ed estesi interrotti, di frequente, da valli fluviali e incisioni torrentizie drenanti mediamente verso i settori più orientali.

Inoltre, il settore occidentale, si colloca tra il margine occidentale della Catena Costiera e la costa Tirrenica. Si tratta di una porzione di territorio caratterizzata da rilievi collinari posti immediatamente a ridosso di una piana costiera arealmente molto limitata e frequentemente incisi da valli fluviali e torrenti.

I principali corsi d'acqua dell'area sono rappresentati dal Fiume Crati, che scorre in direzione circa meridiana nei settori più orientali dell'area di studio, e dai Torrenti Settimo e Mavigliano, suoi affluenti in sinistra idrografica. Ad essi si aggiungono una serie di corsi d'acqua secondari, a carattere generalmente stagionale e/o torrentizio, e numerosi solchi da ruscellamento concentrato, attivi solo in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi e severi.

6 CAMPAGNA DI INDAGINE

Nel corso dello studio sono state consultate e analizzate tutte le indagini geognostiche disponibili e appositamente realizzate nel settore di territorio interessato dagli interventi in progetto. L'intero *set* di dati derivanti dalle indagini di sito ha permesso di configurare un quadro di conoscenze soddisfacente, in relazione con la specifica fase di approfondimento progettuale in corso, circa l'assetto litostratigrafico e geologico-strutturale dei termini litologici interessati dalle opere in progetto.

Nel corso del complesso *iter* progettuale sino ad oggi espletato, si sono succedute differenti campagne di indagini geognostiche, nelle quali sono state realizzate sia indagini dirette che indirette. In particolare, durante la fase progettuale di PFTE è stata realizzata una apposita campagna indagini geognostiche ● *Italferr 2021*, e una fase di indagini integrative, ● *Italferr 2022*, per la presente consegna dell'aggiornamento del PFTE, come richiesto nel Parere n°5/2022 del CSLLPP. Si evidenzia che a supporto della presente fase progettuale sono tuttora in corso ulteriori sondaggi (3 sondaggi dall'interno della galleria e 4 sondaggi in superficie) la cui risultanze saranno incluse nel PFTE per la fase di gara. Inoltre, sono stati reperiti i dati di indagini geognostiche precedentemente realizzate nei settori di intervento per differenti studi:

identificativo CI	anno	campagna indagini
● *Italferr 2012*	2012	Metaponto-Sibari-Bivio S. Antonello Raddoppio della tratta Bivio S. Antonello/Castiglione Cosentino-Bivio S. Lucido/Paola PROGETTO PRELIMINARE
● *CI01*	2020	A2 Autostrada del Mediterraneo - Interventi di Miglioramento Funzionale Svincolo di Cosenza Nord al km 250+000
● *CI02*	2015-2017	Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i.
● *CI03*	2013	Indagini Geognostiche - A3 - Tronco 2 Tratto 5 Lotto 3 dal km 244+700 al km 253+700 (Rose Montalto - Cosenza Nord) PROGETTO PRELIMINARE

Tabella 1 – Sintesi delle campagne indagini consultate ed analizzate, per l'identificativo CI cfr. 3 - Documenti di riferimento.

Nel corso del complesso *iter* progettuale sino ad oggi espletato sono state realizzate sia indagini dirette che indirette. Complessivamente sono state analizzate le seguenti indagini di sito:

- n. 52 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo di cui 7 non attrezzati, 2 non attrezzati inclinati, 23 strumentati con piezometro, 1 attrezzato con inclinometro e 19 attrezzati per sismica in foro;
- n. 2 sondaggi a distruzione di nucleo di cui 1 attrezzato con piezometro e 1 attrezzato con inclinometro;
- n. 8 prove penetrometriche dinamiche (DPSH);
- n. 10 stendimenti sismici a rifrazione per onde P e S;
- n. 2 stendimenti sismici a riflessione;
- n. 4 stendimenti sismici (MASW);
- n. 6 misure di microtremori (HVSR);

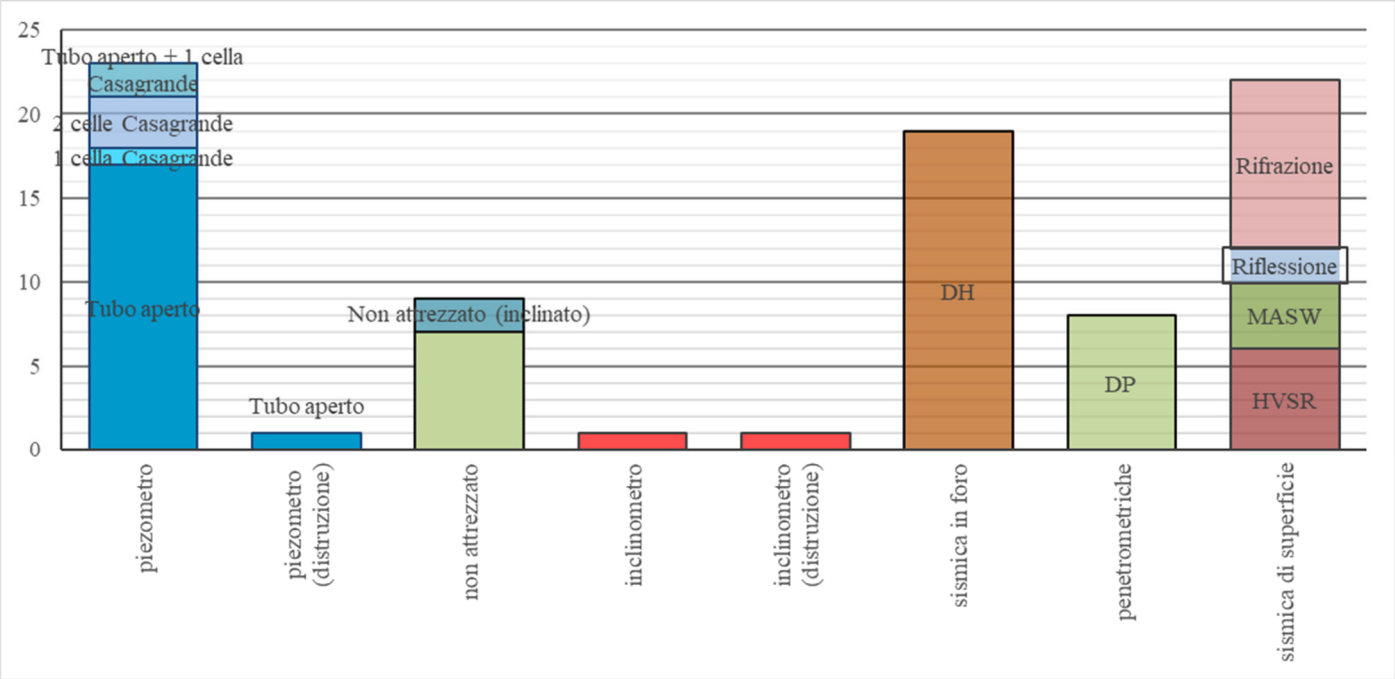


Figura 2 – Grafico mostrante la distribuzione e il numero delle indagini geognostiche a disposizione.

Il numero totale dei campioni di terreno prelevati è di 317, mentre quello delle prove SPT effettuate nei fori di sondaggio è di 239.

I punti di ubicazione sono riportati nell'allegata "Carta geologica con elementi di geomorfologia" (RC1C 03 R69 N4 GE0001 001) mentre i certificati delle prove sono riportati nei relativi elaborati (cfr. Cap.3 - Documenti di riferimento).

Nei paragrafi seguenti è riportata una sintesi delle indagini geognostiche relative alle opere in progetto.

6.1 Sondaggi geognostici

Di seguito vengono elencati tutti i sondaggi geognostici eseguiti nell'ambito di ogni singola fase progettuale per il "Raddoppio Cosenza – Paola/S. Lucido", con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, pk, coordinate nel sistema di riferimento WGS84/UTM zona 33N (EPSG 32633), quota, strumentazione, profondità (prof), numero prove SPT, numero prove Lefranc/Lugeon (P), numero prove Dilatometriche (D) e numero prove Pressiometriche (Ps)).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		quota	strumentazione	prof	campioni				prove in foro			
		X	v	*m s.l.m.*		*m*	I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
SF1	-	590053	4354131	38.0	Inclinometro	30.0	2	5	0	7	7	2	0	0
SF1 bis	-	590053	4354131	38.0	Piezometro (distruzione)	20.0	0	0	0	0	0	0	0	0
SF2	-	589962	4354060	19.0	Piezometro	30.0	0	6	0	10	10	2	0	0

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		quota	strumentazione	prof	campioni				prove in foro			
		X	Y	*m s.l.m.*		*m*	I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
SF2 BIS	-	589962	4354060	19.0	Inclinometro (distruzione)	30.0	0	0	0	0	0	0	0	0
SGN10	-	590506	4356470	198.0	Non attrezzato	27.6	0	4	0	0	0	0	0	0
SGN11	-	593058	4354995	781.0	Non attrezzato	35.0	0	5	0	0	0	0	0	0
SR1	0+994	606843	4358763	169.0	Piezometro	30.0	2	0	0	9	9	2	0	0
SR3	1+722	606468	4359367	173.0	Piezometro	45.0	0	9	0	9	9	2	0	0
SR2	2+881	605433	4359803	176.0	Piezometro	30.0	4	3	0	5	5	2	0	2
SGN14	6+400	602051	4358838	225.0	Piezometro	90.0	6	4	0	3	3	2	0	3
SGN15	4+779	603597	4359329	205.0	Piezometro	40.0	4	4	0	3	3	2	0	3
SGN12	11+172	597440	4357608	617.0	Non attrezzato	40.0	0	4	0	0	0	3	3	0
SGN12_gall	11+687	-	-	-	Non attrezzato (inclinato)	16.8	0	6	0	0	0	0	0	0
SGN10_gall	13+828	-	-	-	Non attrezzato (inclinato)	16.8	0	8	0	0	0	3	0	0
SGN09	18+265	591103	4355050	373.0	Non attrezzato	37.0	0	5	0	0	0	0	0	0
●*Italferr 2022*						***Totale***	*18*	*63*	*0*	*46*	*46*	*20*	*3*	*8*

Tabella 2 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini *Italferr 2022*, elencati in ordine di progressiva chilometrica (pk) relativa al binario pari per il tracciato della Linea e al binario dispari per il tracciato dell'Interconnessione (I: Interconnessione).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		quota	strumentazione	prof	campioni				prove in foro			
		X	Y	*m s.l.m.*		*m*	I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
SVI-01	1+572	606560	4359251	169.0	Piezometro	50.0	5	1	0	10	10	3	0	3
SVI-02	1+887	606336	4359464	169.0	Sismica in foro	50.0	4	2	0	10	10	3	0	3
SVI-03	2+429	605866	4359704	167.0	Piezometro	50.0	6	0	0	9	9	3	0	3
SGN-01	3+889	604456	4359558	188.0	Piezometro	35.0	5	0	0	10	10	3	0	3
SGN-08	4+258	604097	4359473	194.0	Piezometro	30.0	5	0	0	9	9	2	0	3
SGN-02	7+437	601025	4358658	254.0	Piezometro	125.0	4	0	0	0	0	3	0	3
SGN-05	18+897	590158	4355303	109.0	Non attrezzato	68.0	0	0	0	0	0	0	0	0
SGN-06	19+262	590071	4354942	65.0	Piezometro	65.0	3	3	0	0	0	2	0	2
SGN-07	19+570	589942	4354661	34.0	Piezometro	30.0	5	0	0	6	8	3	0	2
SVI-06	19+695	589886	4354550	26.0	Sismica in foro	50.0	6	0	0	5	7	3	0	3
SVI-07	20+218	589788	4354041	5.0	Piezometro	40.0	4	1	0	3	3	3	0	2
SGN-03	1+672 I	589998	4355460	70.0	Piezometro	75.0	0	4	0	0	0	0	0	0
SVI-04	2+101 I	589570	4355609	9.0	Sismica in foro	50.0	5	1	0	7	9	3	0	3
SVI-05	2+570 I	589396	4356042	6.0	Piezometro	40.0	0	5	0	8	8	3	0	0
●*Italferr 2021*						***Totale***	*52*	*17*	*0*	*77*	*83*	*34*	*0*	*30*

Tabella 3 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini *Italferr 2021*, elencati in ordine di progressiva chilometrica (pk) relativa al binario pari per il tracciato della Linea e al binario dispari per il tracciato dell'Interconnessione (I: Interconnessione).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		quota	strumentazione	prof	campioni				prove in foro			
		X	Y	*m s.l.m.*		*m*	I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
BH05	3+672	604642	4359703	189.0	Piezometro	30.0	1	5	0	6	6	2	0	0
BH06	4+456	603899	4359449	200.0	Piezometro	30.0	4	3	0	4	4	2	0	0
BH01	1+934 I	589731	4355549	17.0	Piezometro	30.0	0	6	0	6	6	2	0	0
BH02	1+861 I	589812	4355583	35.0	Piezometro	30.0	0	5	0	2	2	2	0	0
BH03	1+624 I	590016	4355634	70.0	Piezometro	90.0	0	9	0	2	2	3	1	0
BH04	1+558 I	590126	4355449	89.0	Piezometro	100.0	0	10	0	1	1	1	0	2
● ***Italferr 2012***						***Totale***	*5*	*38*	*0*	*21*	*21*	*12*	*1*	*2*

Tabella 4 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini *Italferr 2012*, elencati in ordine di progressiva chilometrica (pk) relativa al binario pari per il tracciato della Linea e al binario dispari per il tracciato dell'Interconnessione (I: Interconnessione).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		quota	strumentazione	prof	campioni				prove in foro			
		X	Y	*m s.l.m.*		*m*	I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
S1-PZ	-	606449	4359567	171.8	Piezometro	30.0	1	0	0	0	5	1	0	0
S2-DH	-	606504	4359959	166.2	Sismica in foro	30.0	2	0	0	0	6	0	0	0
● ***CI01***						***Totale***	*3*	*0*	*0*	*0*	*11*	*1*	*0*	*0*

Tabella 5 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini *CI01*.

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		quota	strumentazione	prof	campioni				prove in foro			
		X	Y	*m s.l.m.*		*m*	I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
S1_197+258	-	589112	4356926	8.0	Sismica in foro	35.0	0	2	0	4	4	0	0	0
S1_199+089	-	589556	4355166	7.0	Sismica in foro	35.0	0	2	0	4	4	0	0	0
S1_201+116	-	589901	4353191	4.5	Sismica in foro	30.0	2	0	0	3	6	0	0	0
S1_200+784	-	589879	4353517	3.5	Sismica in foro	30.0	2	0	0	0	6	0	0	0
S1_197+149	-	589031	4357047	4.8	Sismica in foro	30.0	0	0	0	0	8	0	0	0
S1_198+208	2+581	589330	4356035	4.6	Sismica in foro	30.0	2	0	0	0	6	0	0	0
S1_199+703	19+739	589663	4354583	6.0	Sismica in foro	35.0	2	2	0	2	2	0	0	0
S1_200+072	20+058	589712	4354209	5.0	Sismica in foro	30.0	2	0	0	3	6	0	0	0
S1_200+587	20+556	589819	4353704	4.9	Sismica in foro	30.0	0	0	0	0	5	0	0	0
S1_0+601	1+939 I	589717	4355524	15.0	Sismica in foro	40.0	2	2	0	2	2	0	0	0
S1_0+670	1+951 I	589673	4355450	14.0	Sismica in foro	35.0	2	2	0	4	4	0	0	0
S1_198+805	2+057 I	589529	4355464	9.0	Sismica in foro	35.0	2	2	0	3	3	0	0	0
S1_1+357	2+475 I	589460	4355958	7.0	Sismica in foro	35.0	0	2	0	4	4	0	0	0

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		quota	strumentazione	prof	campioni				prove in foro			
		X	Y	*m s.l.m.*		*m*	I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
S1_197+975	2+802 I	589272	4356249	6.0	Sismica in foro	35.0	1	2	0	5	5	0	0	0
S1_197+699	3+096 I	589231	4356542	6.0	Sismica in foro	35.0	4	2	0	3	3	0	0	0
● ***CI02***						***Totale***	*21*	*18*	*0*	*37*	*68*	*0*	*0*	*0*

Tabella 6 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini *CI02*, elencati in ordine di progressiva chilometrica (pk) relativa al binario pari per il tracciato della Linea e al binario dispari per il tracciato dell'Interconnessione (I: Interconnessione).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		quota	strumentazione	prof	campioni				prove in foro			
		X	Y	*m s.l.m.*		*m*	I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
S7	-	606485	4359967	0.0	Non attrezzato	30.0	3	0	0	0	6	0	0	0
S8	-	606499	4358713	0.0	Non attrezzato	20.5	2	0	0	0	4	0	0	0
● ***CI03***						***Totale***	*5*	*0*	*0*	*0*	*10*	*0*	*0*	*0*

Tabella 7 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini *CI03*, elencati in ordine alfa-numerico.

In merito alla campagna indagini ● *Italferr 2022*, di seguito si riporta la tabella con la sintesi delle indagini previste in cui si evidenzia in quale fase progettuale sono recepite:

	Opera	ID Sond - tipologia		Età	ID	litologia	lunghezza m	Fase progettuale	
								aggiornam. PFTE	PFTE per gara
1	galleria Santomarco - pk 11+680	SGN9_gall	carotaggio	Paleoz.	GCL	gneiss di cozzo luparello	variabile		x
2	galleria Santomarco - pk 6+880	SGN10_gall	carotaggio	Paleoz.	FSG	Filladi di S Giovanni	variabile	x	
3	galleria Santomarco - pk 2+714	SGN11_gall	carotaggio	Paleoz.	MGR	Scisti muscovitici di Greco	variabile		x
4	galleria Santomarco - pk 9+000	SGN12_gall	carotaggio	Paleoz.	EBG	Scisti epidotici di bosco dei gesuiti	variabile	x	
5	galleria Santomarco - pk 10+511	SGN13_gall	carotaggio	Miocene	ALD	Argille Torrente Lavandaio	variabile		x
6	galleria lato Paola	SGN9	carotaggio	Paleoz.	GCL	gneiss di cozzo luparello	40	x	
7	galleria lato Paola	SGN10	carotaggio	Paleoz.	FSG	Filladi di S Giovanni	40	x	
8	galleria su dorsale lato Paola	SGN11	carotaggio	Paleoz.	MGR	Scisti muscovitici di Greco	40	x	
9	galleria lato cosenza	SGN12	carotaggio	Paleoz.	EBG	Scisti epidotici di bosco dei gesuiti	40	x	
10	galleria lato cosenza	SGN13	carotaggio	Paleoz.	GVC	Graniti di varco ceraso	40		x
11	galleria lato cosenza	SGN14	carotaggio	Pleist. Inf	ATSa	olistostroma	80	solo stratig	labor
12	galleria naturale 32+550	SGN15	carotaggio	Pleist. Inf	SCM	Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola	40	solo stratig	labor
13	galleria lato cosenza	SGN16	carotaggio	Miocene	RPL	Arenarie di Paola	50		x
14	galleria lato cosenza	SGN17	carotaggio	Miocene	SMD	Sabbie di Mandrigli	50		x
15	rilevato lato cosenza	SR1	carotaggio	riporto	riporto	recenti	30	solo stratig	labor
16	rilevato lato cosenza	SR2	carotaggio	riporto	riporto	recenti	30	solo stratig	labor
17	rilevato lato cosenza	SR3	carotaggio	riporto	riporto	recenti	45	solo stratig	labor
18	rilevato lato cosenza	SRO1	carotaggio	riporto	riporto	riporto	30		x
19	Dissesto NV07 - lato Paola	SF1	carotaggio	dissesto	dissesto	frana	30	x	
20	Dissesto NV07 - lato Paola	SF1 bis	distruzione	dissesto	dissesto	frana	20	x	
21	Dissesto NV07 - lato Paola	SF2	carotaggio	dissesto	dissesto	frana	30	x	
22	Dissesto NV07 - lato Paola	SF2 bis	distruzione	dissesto	dissesto	frana	20	x	

Si evidenzia che i sondaggi SR1, SR2, SR3, SGN14 e SGN15 sono stati completati in tempo per essere inclusi nel modello geologico (plano-profili), mentre le relative prove di laboratorio sono ancora in corso e saranno incluse nel

PFTE per la fase di gara, insieme alle risultanze dei sondaggi SGN09_gall, SGN11_gall, SGN13_gall, SGN13, SGN16, SGN17 e SRO1 tuttora in corso.

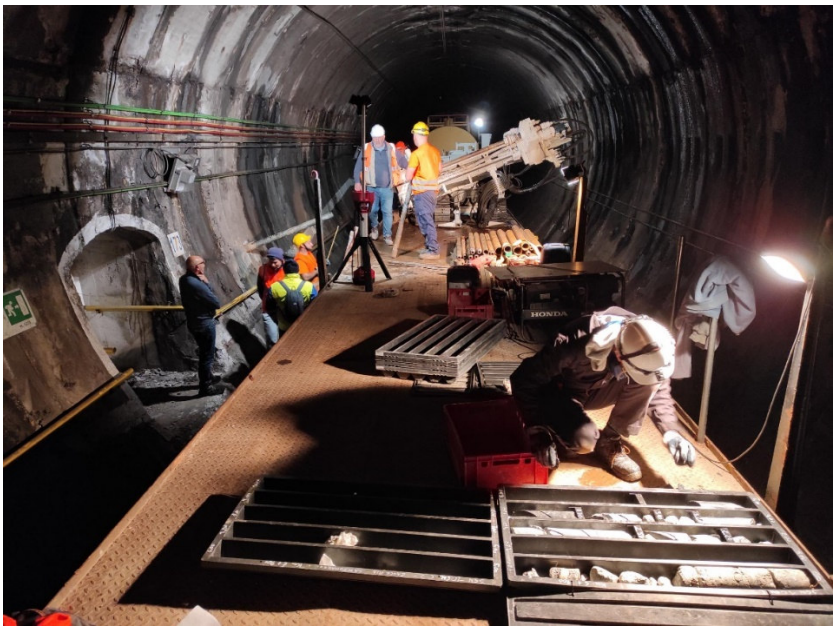
Per quanto sopra, allo stato attuale l'elaborato inerente le prove e analisi di laboratorio (RC1C 03 R69PR GE 0005 002), relativo alla presente fase progettuale, contiene i dati dei seguenti sondaggi:

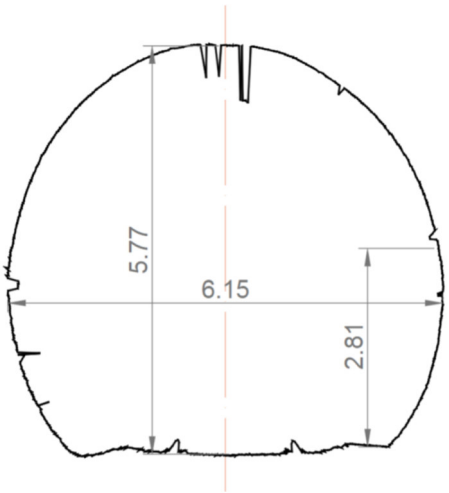
- SF1
- SF2
- SGN09
- SGN10
- SGN10_gall
- SGN11
- SGN12
- SGN12_gall

Per quanto riguarda i sondaggi eseguiti dall'interno della Galleria Santomarco SGN10_gall e SGN12_gall, questi sono stati eseguiti a carotaggio continuo, orizzontali, in direzione Sud verso la galleria di progetto e di lunghezza variabile, in funzione dello stato dell'ammasso osservato e tale da consentire il prelievo di campioni ed eseguire prove in foro laddove le formazioni geologiche non siano più soggette a detensionamento e disturbo generato dallo scavo della galleria stessa. Si ritiene che, sulla base dello studio geologico eseguito, ed in particolare dell'assetto strutturale che caratterizza l'area del nuovo tracciato, le informazioni qualitative e quantitative ricavate dai sondaggi eseguiti con le modalità sopra descritte siano indicative delle condizioni dell'ammasso attraversato dalla nuova galleria.

Nel corso di ciascun sondaggio sono state eseguite prove di permeabilità Lugeon e dilatometriche, prelievo di campioni per prove di laboratorio. Sulle carote estratte è stato eseguito il rilievo delle discontinuità utile a definire, per ogni formazione indagata il *range* di variazione del *Geological Strength Index* (GSI). All'interno dei fori è stata prevista l'installazione di strumentazione piezometrica per la misura dei carichi idraulici agenti, laddove presenti, e per il prelievo di campioni delle acque da sottoporre ad analisi fisico-chimiche da eseguirsi successivamente.

I sondaggi dall'interno della Galleria Santomarco sono stati eseguiti tramite sonda perforatrice, delle dimensioni tali da poter lavorare nello spazio ridotto consentito dalle sezioni di galleria previste (vedi foto seguente), montata su carro ferroviario dedicato e operando all'interno di n°5 interruzioni notturne di esercizio della durata di 5 ore per ciascuna settimana così come concesso dal gestore della rete (RFI), in assenza di alimentazione TE per motivi di sicurezza e tramite l'ausilio di apposite ventole necessarie ad allontanare i fumi di scarico delle macchine operatrici.





SEZIONE: N.274 - 6+800m
AREA: 29,6m²
PERIMETRO: 19,7m

È importante sottolineare che il numero e lunghezza dei sondaggi indicati nel programma di seguito riportato è fortemente condizionato dal limitato tempo utile per la perforazione pari a circa 2.5 ore/notte (durata al netto degli spostamenti del cantiere mobile ad ogni inizio/fine lavori), unitamente alla condizione di lavoro in orizzontale e con una macchina necessariamente limitata in dimensioni e quindi in prestazioni. In tali condizioni si stanno registrando produzioni variabili da 1 a 2 metri lineari per ogni turno (ottenute nel sondaggio in corso SGN10_gall all'interno della formazione delle Filladi di San Giovanni - FSG e SGN12_gall all'interno della formazione degli Scisti Epidotici di Bosco dei Gesuiti – EBG).

6.2 Prove penetrometriche

Di seguito vengono elencati tutte le prove penetrometriche in sito eseguite nell'ambito della presente fase progettuale (▲*Italferr 2021*), con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, pk, coordinate nel sistema di riferimento WGS84/UTM zona 33N (EPSG 32633), quota, tipologia di indagine e profondità).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		quota *m s.l.m.*	tipologia di prova	profondità *m*
		X	Y			
DPSH1	1+206	606772	4358960	169.0	DP	11.4
DPSH2	1+801	606446	4359462	175.0	DP	7.6
DPSH3	2+720	605594	4359793	175.0	DP	15.2
DPSH4	3+237	605076	4359765	183.0	DP	15.6
DPSH7	19+932	589785	4354330	5.0	DP	3.0
DPSH8	20+543	589860	4353723	5.0	DP	8.0
DPSH5	2+336 I	589447	4355814	6.0	DP	9.0
DPSH6	2+801 I	589273	4356249	6.0	DP	8.0

▲*Italferr 2021*

Tabella 8 - Sintesi delle prove penetrometriche realizzate nell'ambito della campagna indagini *Italferr 2021*, elencati in ordine di progressiva chilometrica (pk) relativa al binario pari per il tracciato della Linea e al binario dispari per il tracciato dell'Interconnessione (I: Interconnessione).

6.3 Indagini geofisiche

Nelle tabelle seguenti è riportata una sintesi di tutte le indagini sismiche eseguite nell'ambito di ogni singola fase progettuale, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, pk, coordinate nel sistema di riferimento WGS84/UTM zona 33N (EPSG 32633), tipologia di indagine e lunghezza).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		tipologia indagine	lunghezza *m*
		X	Y		
L1	-	-	-	Rifrazione	235
L2	-	-	-	Rifrazione	235
R1	-	-	-	Riflessione	940
R2	-	-	-	Riflessione	1670

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		tipologia indagine	lunghezza *m*
		X	Y		

Italferr 2022

Tabella 9 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie realizzate nell'ambito della campagna indagini *Italferr 2022* elencati in ordine di progressiva chilometrica (pk) relativa al binario pari per il tracciato della Linea e al binario dispari per il tracciato dell'Interconnessione (I: Interconnessione).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		tipologia indagine	lunghezza *m*
		X	Y		
MASW 1	1+572	606569	4359258	MASW	48.0
HVSR1	1+572	606568	4359259	HVSR	-
MASW 2	2+542	605760	4359738	MASW	48.0
HVSR2	2+542	605757	4359738	HVSR	-
SRT 2	4+241	604109	4359495	Rifrazione	72.0
SRT 1	4+243	604112	4359459	Rifrazione	72.0
SRT 7	19+586	589924	4354662	Rifrazione	72.0
SRT 6	19+652	589953	4354586	Rifrazione	72.0
SRT 5	19+661	589946	4354580	Rifrazione	36.0
MASW 4	20+116	589773	4354150	MASW	72.0
HVSR4	20+116	589774	4354149	HVSR	-
SRT 3	1+833 I	589745	4355508	Rifrazione	72.0
SRT 4	1+859 I	589733	4355533	Rifrazione	36.0
HVSR3	2+569 I	589390	4356039	HVSR	-
MASW 3	2+570 I	589388	4356039	MASW	48.0

Italferr 2021

Tabella 10 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie realizzate nell'ambito della campagna indagini *Italferr 2021* elencati in ordine di progressiva chilometrica (pk) relativa al binario pari per il tracciato della Linea e al binario dispari per il tracciato dell'Interconnessione (I: Interconnessione).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		tipologia indagine	lunghezza *m*
		X	Y		
Sis_1	-	606454	4359654	Rifrazione	124.0
HVSR1	-	606554	4359407	HVSR	-
HVSR2	-	606446	4359863	HVSR	-

CI01

Tabella 11 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie realizzate nell'ambito della campagna indagini *CI01*.

6.4 Rilievi di campo

Nell'ambito del presente studio sono stati effettuati appositi rilievi di campo volti alla definizione delle principali caratteristiche litologiche e geomeccaniche dei termini litologici presenti nella zona di intervento.

6.4.1 Rilievi geostrutturali

Al fine di definire le caratteristiche geomeccaniche e il relativo stato di fratturazione dei termini litologici presenti lungo il tracciato ferroviario in oggetto, nell'ambito dello studio sono stati analizzati i risultati di numerosi rilievi geostrutturali appositamente condotti in tutto il settore di intervento. I suddetti rilievi sono stati eseguiti secondo gli *standard* della International Society for Rock Mechanics (ISRM 1978, 1993).

Durante la presente fase di approfondimento progettuale sono stati condotti n. 10 stop geostrutturali, tutti riportati sulla cartografia geologica di riferimento (RC1C 03 R69 N4 GE0001 001, RC1C 03 R69 L5 GE0001 001-3).

Per quanto concerne gli ammassi rocciosi, sono state determinate le principali caratteristiche dei giunti (spaziatura, apertura, persistenza, rugosità, riempimento), della roccia intatta (resistenza a compressione, grado di alterazione) e dell'ammasso (struttura, forma dei blocchi, condizioni idrauliche).

Tutti i dati raccolti hanno così permesso di caratterizzare gli ammassi rocciosi investigati e di definire, per ogni singolo punto di rilievo, il *range* di variazione del *Geological Strength Index* (GSI). Le schede di sintesi sono identificate da un codice numerico univoco e sono riportate nel relativo rapporto di campagna (RC1C 03 R69 RH GE0001 001). Nella Tabella 12, invece, è riportata una sintesi di ogni singola stazione, con indicazione dei principali dati tecnici (sigla, coordinate nel sistema di riferimento WGS84/UTM zona 33N (EPSG 32633) e unità geologica).

sigla	WGS84/UTM zona 33N		unità geologica
	X	Y	
St01	590472	4356497	FSG
St02	591282	4355437	GCL
St03	591473	4355177	GCL
St04	591239	4354942	GCL
St05	591318	4355347	GCL
St06	591309	4355047	GCL
St07	591634	4355046	GCL
St08	592130	4354853	GCL
St09	592990	4354802	MGR
St10	591235	4354739	GCL

Tabella 12 – Sintesi degli stop geo-strutturali effettuati nella presente fase progettuale nel lotto in esame.

7 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Le caratteristiche geologiche, morfologiche, idrogeologiche e sismogenetiche dell'area di studio sono connesse con l'assetto stratigrafico-strutturale del margine occidentale dell'Arco Calabro-Peloritano e con l'evoluzione recente del litorale tirrenico. In particolare, tutto il versante tirrenico di questo settore è caratterizzato dalla presenza di un esteso basamento paleozoico di natura cristallina e metamorfica (Amodio Morelli et al. 1976; Tansi et al. 2016), su cui poggiano successioni sedimentarie tardo-cenozoiche a composizione carbonatica, evaporitica e silicoclastica (Ogniben 1969; Amodio Morelli et al. 1976; Tansi et al. 2007; Brozzetti et al. 2017).

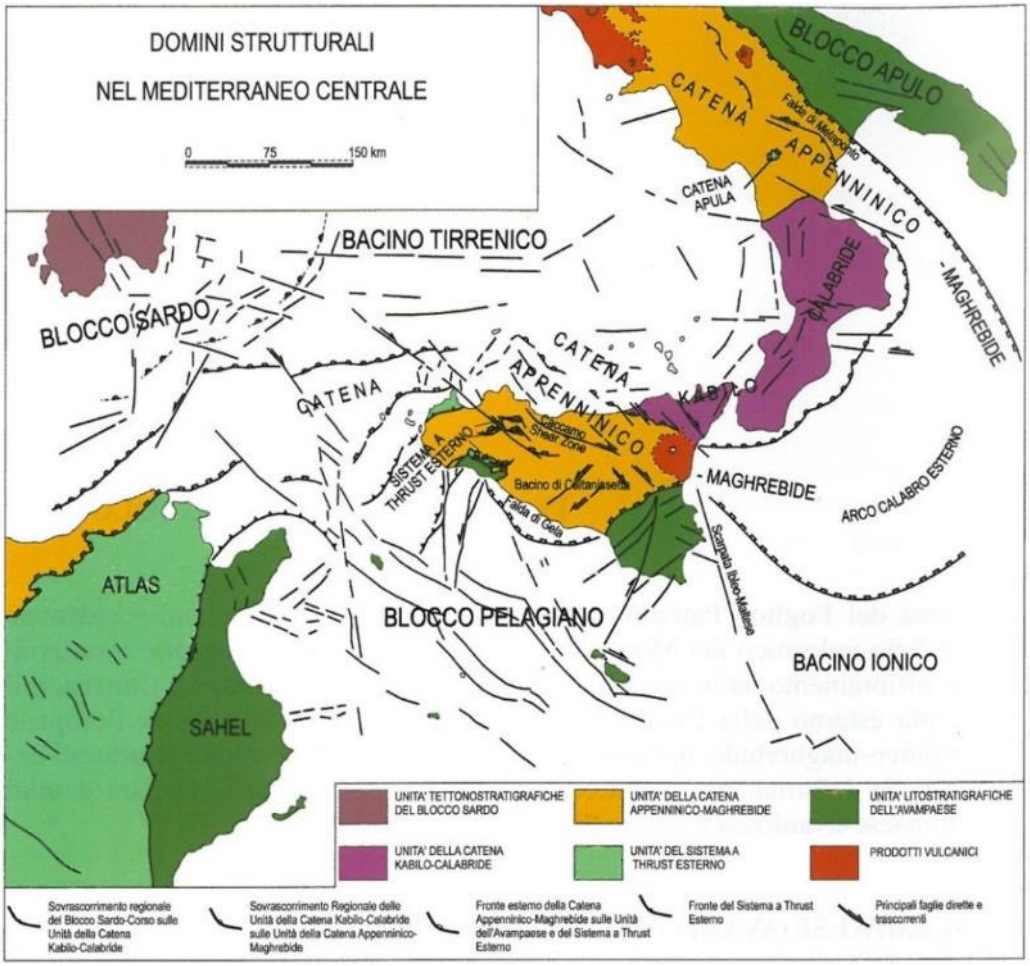


Figura 3 – Schema dei principali domini strutturali nel Mediterraneo centrale (da Lentini et al. 1995).

L'Arco Calabro-Peloritano costituisce una delle più importanti strutture dell'orogene Appenninico-Maghrebide e rappresenta, in buona sostanza, un cuneo di accrezione (Figura 3) causato dalla collisione tra Africa ed Europa (Amodio Morelli et al. 1976; Tortorici 1982; Lentini et al. 1995; Pepe et al. 2010). Questa struttura costituisce la zona di massima distorsione della Catena Appenninico-Maghrebide e l'elemento di raccordo tra gli assi NW-SE dell'Appennino meridionale con quelli E-W delle Maghrebidi (Amodio Morelli et al. 1976; Bonardi et al. 1980; Vai 1992; Tansi et al. 2016).

La segmentazione dell'orogene, la torsione dell'arco e la sua migrazione verso SE (Figura 4) sono connesse, in particolare, all'apertura del Tirreno alla rotazione della penisola italiana e alla subduzione della Placca Ionica (Scandone 1979; Patacca & Scandone 1989; Lentini et al. 1994; Finetti et al. 1996; Brozzetti et al. 2017). Nello specifico, la rotazione della penisola italiana è stata favorita dallo stile di apertura del Bacino Tirrenico, caratterizzato da velocità ed entità di espansione massime nella porzione più meridionale (Amodio Morelli et al. 1976; Bonardi et al. 1980).

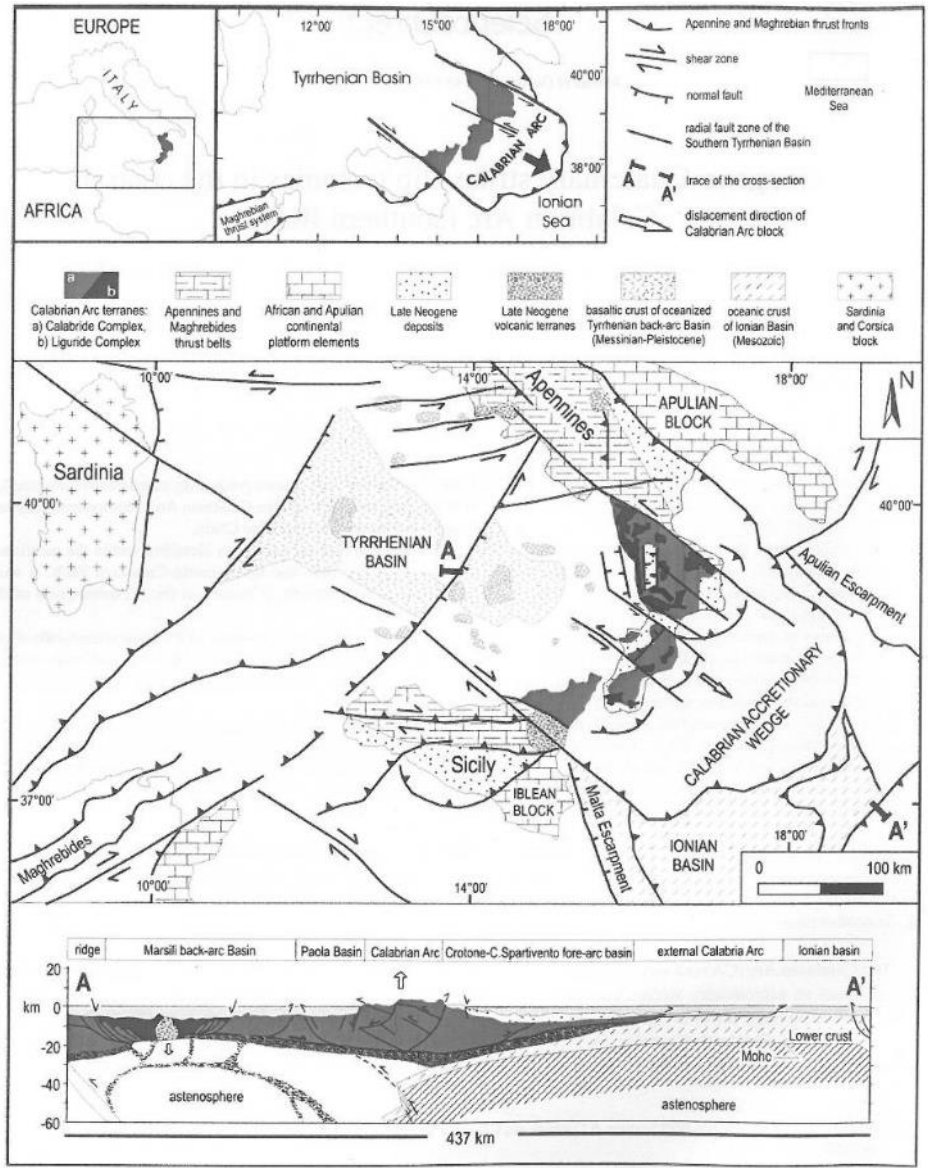


Figura 4 – Schema geologico-strutturale semplificato del Mediterraneo centrale e dell'Arco Calabro-Peloritano (da Tansi et al. 2007).

Questa struttura, che risulta essere l'elemento più interno di tutto l'orogene, è costituita da una serie di unità tettoniche in cui sono rappresentate diverse porzioni di un'originaria crosta continentale con le relative coperture meso-cenozoiche (Complesso Calabride di Ogniben 1969). Ad esse si associano unità ofiolitifere (Complesso

Liguride di Ogniben 1969) caratterizzate da gradi di metamorfismo variabile e derivanti dalla deformazione di un originario dominio oceanico (Tansi et al. 2007; Spina et al. 2011; Filice et al. 2015; Tansi et al. 2016; Brozzetti et al. 2017). L'evoluzione ed il significato di tale elemento in relazione alle unità ofiolitifere del Complesso Liguride ed ai domini della Catena Appenninico-Maghrebide sono state oggetto di diverse e contrastanti interpretazioni, riconducibili a tre ipotesi principali.

La prima considera le falde cristalline calabridi come frammenti derivanti dal margine europeo (Ogniben 1969, 1973), mentre la seconda considera l'Arco Calabro-Peloritano come un frammento di catena alpina Europa-vergente, di tipo austroalpino, sovrascorsa interamente sui domini appenninici durante il Neogene (Amodio Morelli et al. 1976; Bonardi et al. 1982). La terza ipotesi, infine, considera il dominio calabride come una microplacca continentale meso-mediterranea interposta tra i due margini principali (Alvarez 1976; Ogniben 1985), coinvolta in processi collisionali prima a vergenza europea (Fase Eo-Alpina) e successivamente a vergenza africana.

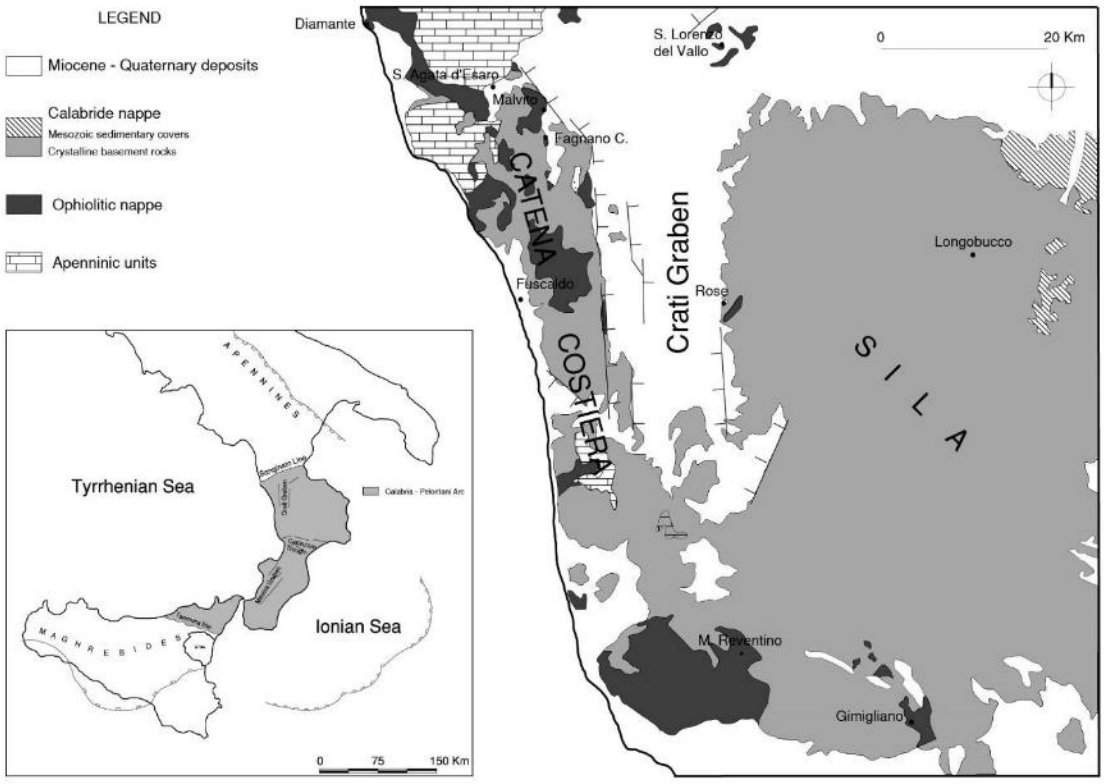


Figura 5 – Schema tettonico dell'Arco Calabro settentrionale (da Liberi & Piluso 2009).

I limiti tra l'Arco Calabro-Peloritano, la Catena Appenninica e la Catena Siculo-Maghrebide sono rappresentati da due estese fasce trascorrenti di importanza regionale (Figura 4). Queste fasce sono generalmente identificate con la Linea di Sangineto, a Nord, e la Linea di Taormina, a Sud, caratterizzate rispettivamente da movimenti trascorrenti sinistri e destri (Bonardi et al. 1976; Amodio Morelli et al. 1976). A questi elementi principali si associano una serie di strutture trascorrenti secondari, che tagliano interamente l'Arco Calabro-Peloritano con andamento circa NW-SE (Tansi et al. 2007). In particolare, l'area compresa tra la Linea di Sangineto e l'abitato di Cosenza è situata in una zona strutturalmente complessa, posta a cavallo tra due strutture tettoniche di importanza regionale: l'*Horst* della Catena Costiera e il *Graben* del Crati (Figura 5).

L'*Horst* della Catena Costiera è un elemento strutturale dell'Arco Calabro-Peloritano allungato in senso meridiano dalla Linea di Sangineto, a Nord, alla bassa valle del Fiume Savuto, a Sud (Colonna & Compagnoni 1982). Tale struttura è delimitata ad occidente dal *Graben* di Paola e ad oriente dal *Graben* del Crati, essenzialmente tramite strutture distensive ad andamento circa meridiano (Muto et al. 2003; Filice et al. 2015). L'*horst* risulta costituito, essenzialmente, da litotipi cristallino-metamorfici paleozoici del Complesso Liguride e del Complesso Calabride (Ogniben 1969; Amodio Morelli et al. 1976; Liberi & Piluso 2009), a loro volta ricoperti da sedimenti marini tardo-cenozoici (Amodio Morelli et al. 1976; Iannace et al. 2007).

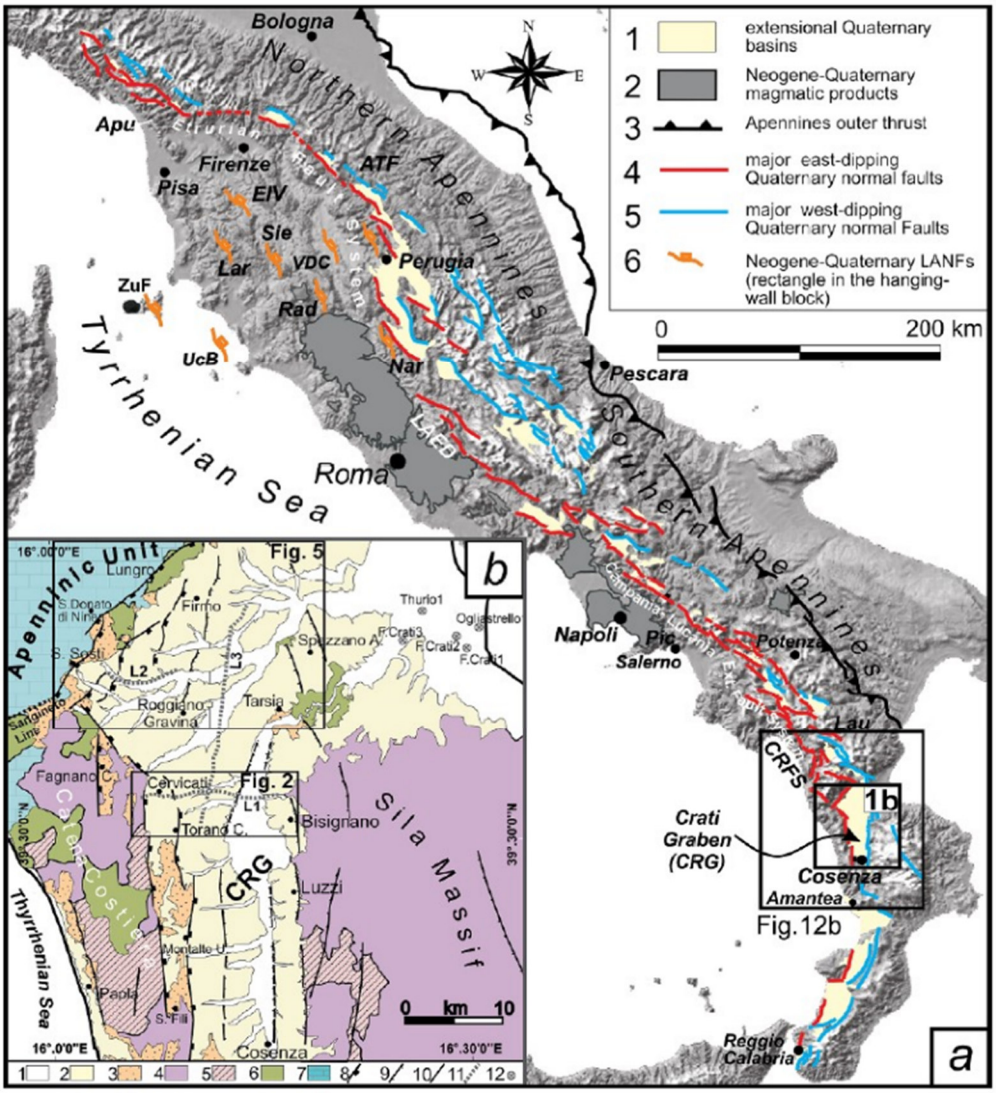


Figura 6 – Schemi geologico-strutturali dell'Arco Calabro-Peloritano e della Catena Appenninica (da Brozzetti et al. 2017): a) schema strutturale del Sistema Tirrenico-Appenninico mostrante le faglie normali quaternarie ad alto angolo e le faglie normali neogenico quaternarie a basso angolo; b) schema geologico del Graben del Crati.

Il *Graben* (o Bacino) del Crati è una depressione tettonica di età plio-quaternaria (Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Tansi et al. 2007), strutturata da faglie attive, ad andamento circa N-S e secondariamente NE-SW (Figura 6), che ne determinano la forma tipicamente stretta ed allungato (Tansi & Fòlino Gallo 2006; Spina et al. 2011). Tali faglie

delimitano i depositi tardo-cenozoici di riempimento del *graben* (Colella et al. 1987; Spina et al. 2011; Tansi et al. 2016; Brozzetti et al. 2017) dalle rocce cristallino-metamorfiche, paleozoiche e cretaciche, che costituiscono gli *Horst* della Catena Costiera e della Sila (Tansi & Fòlino Gallo 2006; Brozzetti et al. 2017). Le faglie, che mostrano cinematismi da normali e trastensivi e piani generalmente sub-verticali, sono connesse ad una fase tettonica distensiva iniziata nel Pliocene superiore (Lanzafame & Tortorici 1980) e tuttora attiva (Gasparini et al. 1982; Guerra 1986; Tortorici et al. 1995).

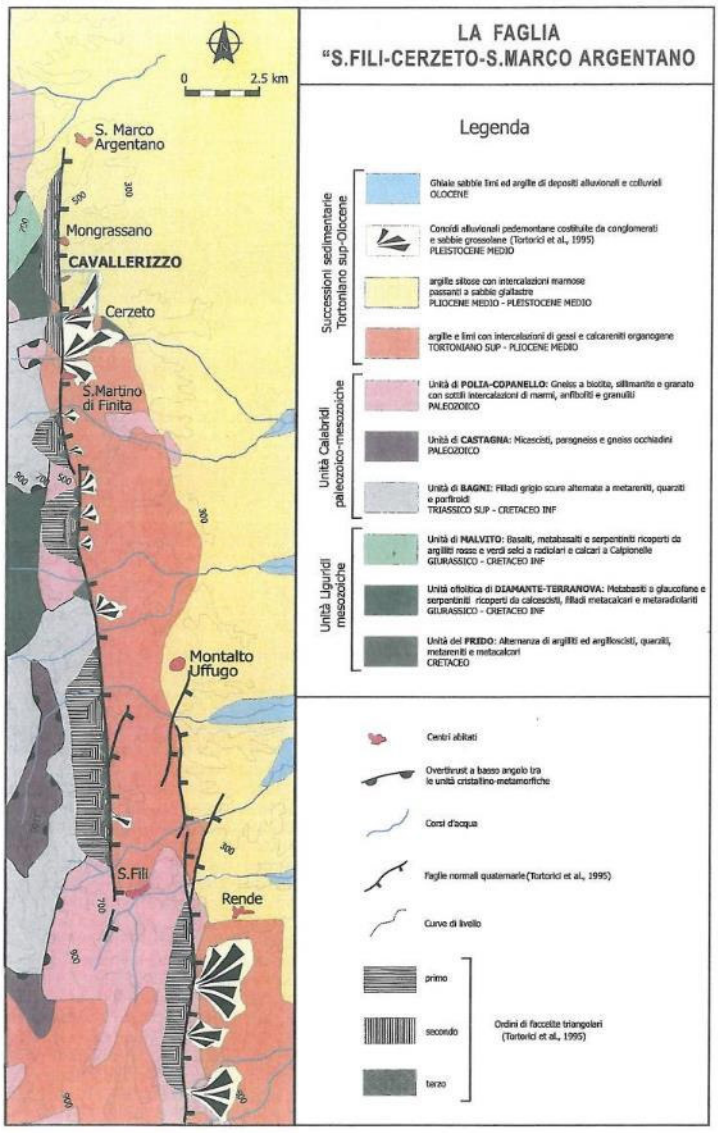


Figura 7 – Schema geologico-strutturale della faglia di "S. Fili – Cerzeto - S. Marco Argentario" (da Tansi & Fòlino Gallo 2006)

Lungo il margine occidentale della valle del Fiume Crati è presente un'importante direttrice tettonica, ad andamento circa N-S, che solleva i litotipi cristallino-metamorfici dell'*Horst* della Catena Costiera (Colonna & Compagnoni 1982), rispetto ai depositi tardo-cenozoici che riempiono il *Graben* del Crati (Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Tansi & Fòlino Gallo 2006; Tansi et al. 2016). Tale struttura, denominata faglia di "S. Fili – Cerzeto – S

.Marco Argentano" (Figura 7), è suddivisa in tre segmenti disposti *en échelon* e si sviluppa per circa 50 km dai pressi di San Fili fino a San Marco Argentano, dove assume direzioni NW-SE (Sorriso-Valvo & Tansi 1996b). Questa faglia, che presenta una debole componente di trascorrenza destra (Tansi et al. 2005), corrisponde ad un limite tettonicamente attivo sin dal Pliocene inferiore (Tortorici et al. 1995), ed è associata a diffusi sistemi di faglie di origine sia distensiva che transpressiva (Sorriso-Valvo & Tansi 1996b).

7.1 Evoluzione geologica

L'Arco Calabro-Peloritano deriva dalla delaminazione, a partire dall'Eocene superiore, di un originario basamento ercinico costituito da termini metamorfici di vario grado, su cui si erano deposte le coperture meso-cenozoiche di un originario margine passivo europeo (Ogniben 1969; Lentini & Vezzani 1975; Amodio Morelli et al. 1976; Van Dijk et al. 2000). Pertanto, l'assetto geologico e i rapporti tra le differenti successioni affioranti si sono delineati nel tempo a causa della storia deformativa polifasica dell'area (Sorriso-Valvo et al. 1996).

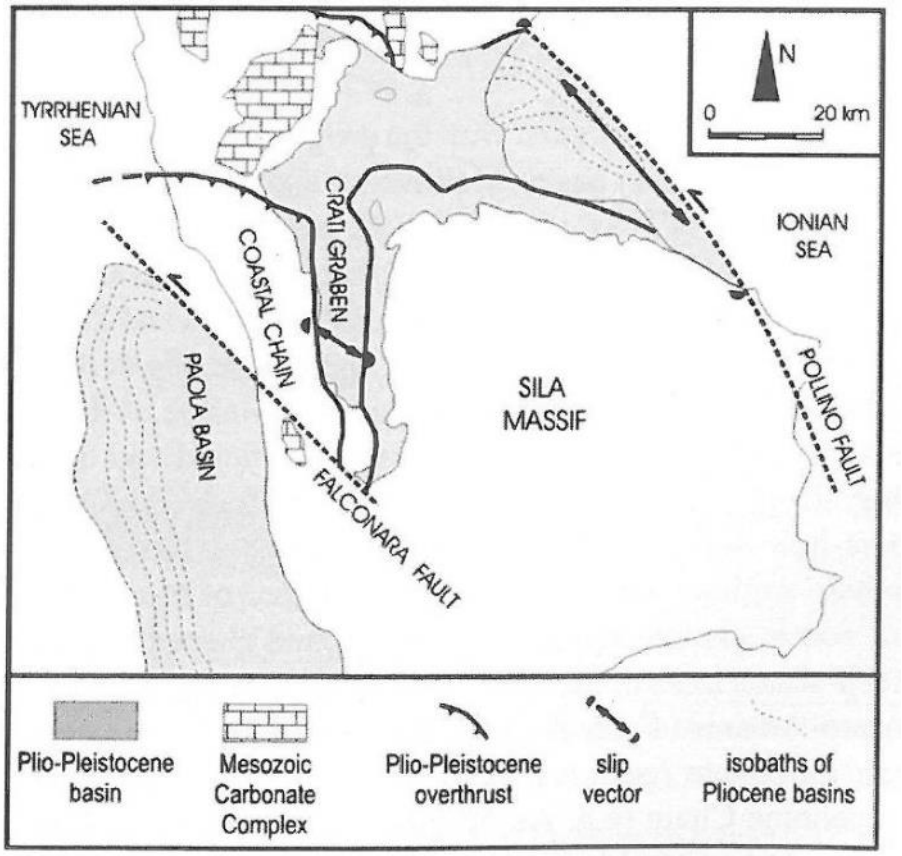


Figura 8 – Schema cinematico della Calabria settentrionale del Plio-Pleistocene (da Tansi et al. 2007).

L'assetto strutturale dei settori esterni della catena è il risultato della forte interazione tra la migrazione verso SE dell'Arco Calabro-Peloritano dal tardo Miocene e il suo rapido sollevamento a partire dal Pleistocene medio (Malinverno & Ryan 1986; Van Dijk & Scheepers 1995; Praeg et al. 2009). Durante il Miocene-Quaternario, l'apertura tirrenica si è espressa attraverso lo sviluppo di un sistema orientato NW-SE (Figura 6), con componente di movimento destro (Amodio Morelli et al. 1976; Bonardi et al. 1980; Tansi et al. 2007). A questo sistema, noto come Sistema Sud-Tirrenico (Lentini et al. 1995; Finetti et al. 1996), si associano diversi sistemi distensivi

orientati NE-SW, E-W e ENE-WSW, oltre che le strutture compressive con vergenza sud-orientale. In tale contesto, a partire dal Pliocene, nell'area di studio iniziano a svilupparsi due strutture tettoniche di importanza regionale (Tansi et al. 2007): l'*Horst* della Catena Costiera e il *Graben* del Crati.

L'*Horst* della Catena Costiera si è sviluppato a partire dal Pleistocene medio grazie all'attività di faglie orientate N-S, con un tasso di sollevamento di circa 0.8-1 mm/a negli ultimi 700.000 anni (Tortorici et al. 1995). Tale catena è costituita da tre unità tettoniche, riassumibili dal basso verso l'alto in: Unità Appenniniche, Complesso Liguride e Complesso Calabride (Ogniben 1973). Il Complesso Calabride è formato da rocce del basamento cristallino paleozoico, mentre il Complesso Liguride è costituito da ofioliti e rocce di copertura derivanti dal dominio mesozoiche della Tetide (Amodio Morelli et al. 1976; Piluso & Morten 2004; Liberi & Piluso 2009). Le unità Appenniniche, infine, sono formate da sequenze carbonatiche mesozoiche e filliti paleozoiche (Piluso & Morten 2004; Iannace et al. 2007).

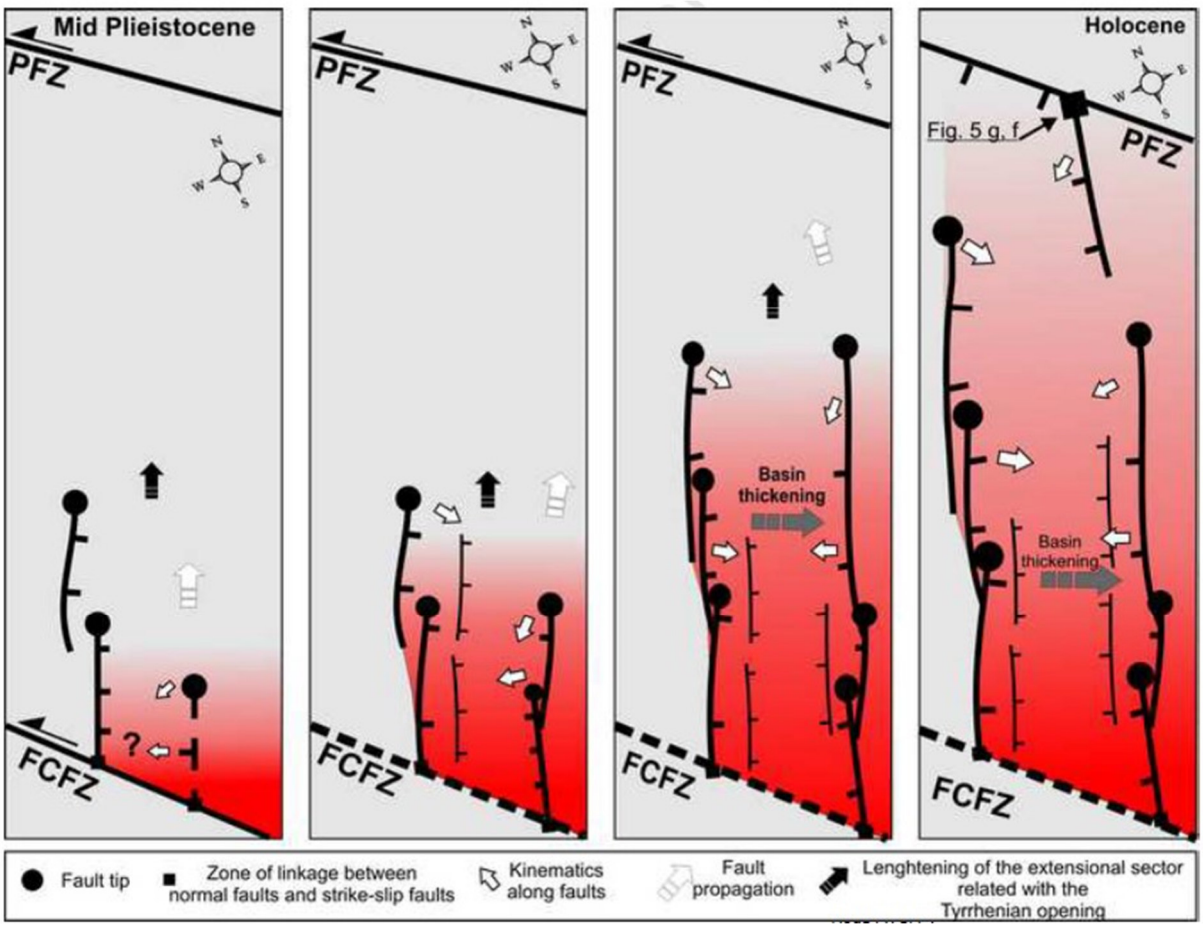


Figura 9 – Propagazione spazio-temporale delle strutture distensive nel Graben del Crati tra il Pleistocene medio e l'Olocene (da Spina et al. 2011).

Il *Graben* (o Bacino) del Crati si è originato a partire dal Pliocene, quando una tettonica di tipo transtensivo si è attivata nell'area a SE della Faglia di Falconara-Carpanzano (Tansi et al. 2007; Spina et al. 2011; Tansi et al. 2016). Tale *graben* si struttura attraverso faglie normali orientate N-S nel settore compreso tra Cosenza e Bisignano-Sartano, e NE-SW nell'area di Saracena-Spezzano Albanese. La differente orientazione riflette il

cambio dei valori di direzione delle faglie bordiere, da Sud a Nord (Brozzetti et al. 2017). Tali faglie sono caratterizzate da attività sismogenetica, come testimoniato da terremoti strumentali ed eventi storici (Tansi et al. 2016). Il Bacino del Crati ha rappresentato un paleo-golfo aperto sul Mar Ionio tra il Pliocene e il Pleistocene (Colella 1988; Tortorici et al. 1995), mentre tra il tardo Pleistocene e il Pleistocene medio (Figura 9), una fase tettonica di tipo estensionale ha permesso il sollevamento della Catena Costiera ad Ovest e della Sila ad Est, e il conseguente riempimento del Bacino del Crati (Spina et al. 2011; Tansi et al. 2016; Brozzetti et al. 2017).

7.2 Caratteristiche stratigrafiche

I settori tirrenici dell'Arco Calabro-Peloritano sono caratterizzati dalla presenza di diverse successioni sedimentarie e unità stratigrafico-strutturali, variamente distribuite nell'area. Nell'*Horst* della Catena Costiera (Figura 10) affiorano, quasi esclusivamente, i terreni cristallino-metamorfici del Complesso Liguride e del Complesso Calabride (Ogniben 1969; Amodio Morelli et al. 1976; Bonardi et al. 1982; Tortorici 1982; Liberi & Piluso 2009; Filice et al. 2015). Nel *Graben* del Crati, al contrario, affiorano esclusivamente depositi post-orogenici di genesi sia marina che continentale (Di Nocera et al. 1974; Amodio Morelli et al. 1976; Lanzafame & Zuffa 1976; Tansi 1993; Sorriso-Valvo et al. 1996; Spina et al. 2011; Tansi et al. 2016; Brozzetti et al. 2017).

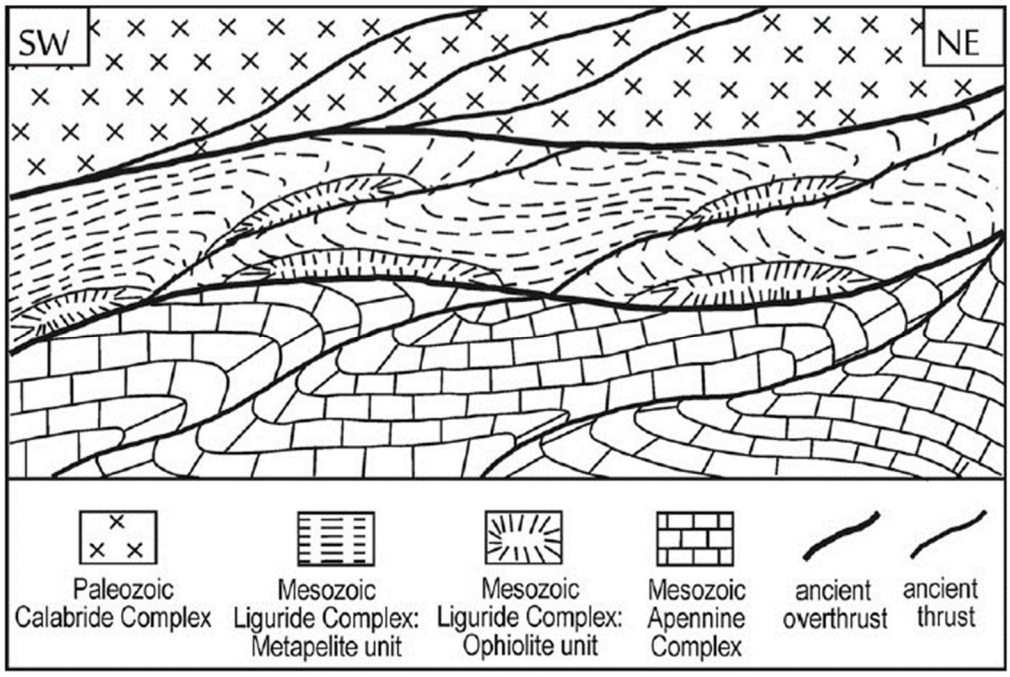


Figura 10 – Schema tettono-stratigrafico delle principali unità stratigrafico-strutturali dell'Arco Calabro-Peloritano (da Tansi et al. 2016).

Il Complesso Liguride è costituito da unità ofiolitifere mesozoiche che rappresentano i resti di un oceano pre-orogenico (Amodio Morelli et al. 1976; Schmid et al. 2004; Tansi et al. 2007; Liberi & Piluso 2009; Filice et al. 2015) coinvolto nei processi di subduzione mesozoico-paleogenici (Critelli 1999; Tansi et al. 2016). Nel dominio della Catena Costiera, in particolare, affiora estesamente l'Unità di Gimigliano - M. Reventino, costituita da serpentiniti, metabasalti e metagabbri con una estesa copertura metasedimentaria di calcascisti e quarziti (Amodio Morelli et al. 1976).

Tettonicamente sovrapposto alle unità ofiolitifere precedentemente descritte giace il Complesso Calabride, che consiste di una crosta continentale tardo-Ercinica con copertura sedimentaria mesozoica (Ogniben 1969, Amodio Morelli et al. 1976; Iannace et al. 2007; Filice et al. 2015). La parte bassa del complesso è rappresentata dall'Unità di Bagni, formata da filladi grigio-scure con associate metareniti e scisti anfibolitici (Amodio Morelli et al. 1976). Al di sopra della suddetta unità si rinviene dapprima l'Unità di Castagna, composta da gneiss occhiadini a due miche e paragneiss biotitici associati a masse pegmatitiche, e quindi l'Unità di Polia-Copanello, costituita da gneiss e fels a granato e sillimanite con intercalazioni di rocce basiche (Amodio Morelli et al. 1976).

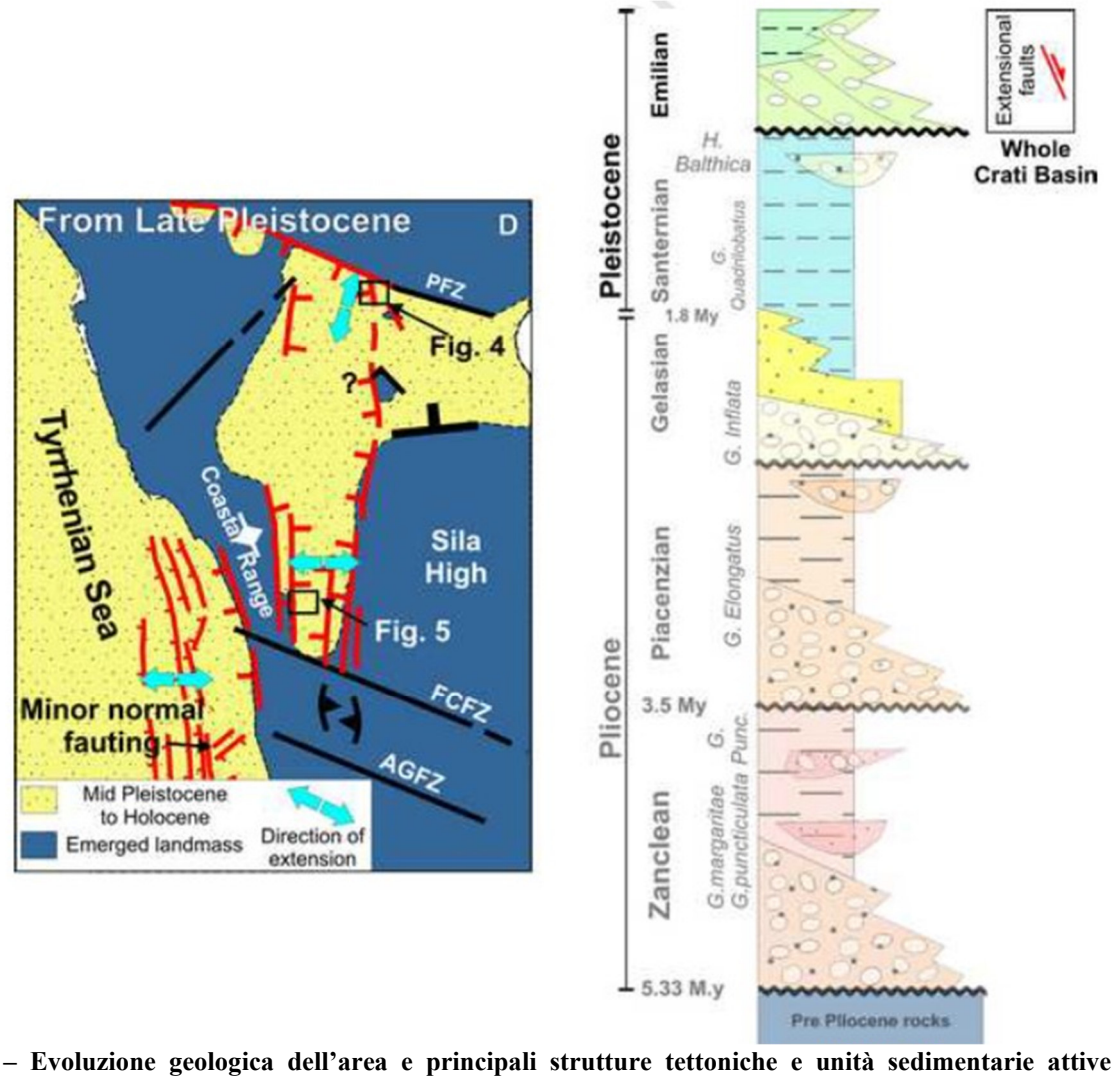


Figura 11 – Evoluzione geologica dell'area e principali strutture tettoniche e unità sedimentarie attive dal tardo Pleistocene (da Spina et al. 2011).

Relativamente al Bacino del Crati (Figura 11), in posizione basale si rinvengono i terreni del ciclo sedimentario Tortoniano – Pliocene inferiore (Di Nocera et al. 1974; Spina et al. 2011), solo parzialmente affioranti nell'area di studio. Tali depositi sono costituiti, alla base, da conglomerati continentali a matrice sabbiosa, passanti verso l'alto ad argille marnose grigio-scure con intercalazioni marnose e pelitiche più chiare riferibili al Tortoniano (Sorriso-Valvo et al. 1996). Si rinvengono, quindi, arenarie bruno-chiare a grana medio-fine passanti, a loro volta, a livelli

pelitici grigio-scuri con intercalazioni gessose del Messiniano, su cui poggiano in discordanza argille grigio-azzurre del Pliocene inferiore (Sorriso-Valvo et al. 1996).

Al di sopra dei suddetti terreni si rinvengono i depositi dei cicli sedimentari Pliocene medio – Quaternario (Amodio Morelli et al. 1976; Lanzafame & Zuffa 1976; Tansi 1993; Spina et al. 2011; Tansi et al. 2016; Brozzetti et al. 2017) che comprendono, da basso, conglomerati marini a matrice sabbiosa, sabbie ed arenarie a grana media del Pliocene medio, argille marnose grigio-azzurre a frattura concoide del Pliocene superiore e sabbie fossilifere giallo-rossastre con livelli di conglomeratici alla base, che evolvono verso l'alto a termini argilloso-marnosi e limosi del Pliocene superiore – Pleistocene inferiore (Tansi 1993; Sorriso-Valvo et al. 1996; Spina et al. 2011; Brozzetti et al. 2017). Si rinvengono, quindi, sabbie bruno-chiare con livelli arenaceo-conglomeratici e banchi argilloso-limosi e, infine, sabbie e conglomerati rossastri a stratificazione incrociata con tipici livelli a Lamellibranchi del Pleistocene inferiore (Tansi 1993; Sorriso-Valvo et al. 1996; Spina et al. 2011).

In discordanza sui terreni sedimentari e cristallino-metamorfici appena descritti giacciono, quindi, i depositi terrazzati quaternari, di origine sia marina che continentale (Tansi 1993; Sorriso-Valvo et al. 1996; Brozzetti et al. 2017). I depositi marini sono costituiti da conglomerati a matrice sabbioso-argillosa, mentre quelli continentali sono composti da ghiaie a matrice sabbioso-limosa, localmente embriciate, con intercalazioni lentiformi da sabbiose ad argillose (Sorriso-Valvo et al. 1996). Infine, lungo le principali scarpate di faglia si rinvengono depositi di delta conoide e falde di detrito (Colella et al. 1987) mentre, lungo le aste fluviali più importanti, sono presenti depositi alluvionali attuali e recenti di natura essenzialmente ghiaioso-sabbiosa (Sorriso-Valvo et al. 1996; Brozzetti et al. 2017).

7.3 Caratteristiche strutturali

Nell'area di studio sono state riconosciuti differenti sistemi di faglie di origine distensiva, compressiva e trascorrente (Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Sorriso-Valvo et al. 1996; Spina et al. 2011; Filice et al. 2015; Brozzetti et al. 2017), dovuti alla complessa evoluzione tettonica subita da questo settore dell'Arco Calabro-Peloritano a partire dal Cretacico (Amodio Morelli et al. 1976; Tansi & Fòlino Gallo 2006). Queste strutture presentano una complessa distribuzione spaziale e risultano altamente variabili in relazione al contesto geologico-strutturale di riferimento.

Le strutture compressive sono connesse alla strutturazione della Catena Costiera e presentano, mediamente, dei piani di sovrascorrimento orientati circa N-S, con immersione verso Est ed inclinazioni variabili tra 0-30° e 30-60°, rispettivamente per le zone di *flat* o di *ramp* (Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Sorriso-Valvo et al. 1996). Tali strutture hanno evidenziato dei *pitch* mediamente orientati E-W (Sorriso-Valvo et al. 1996) e presentano un'età compresa tra il Cretacico ed il Miocene inferiore (Tansi & Fòlino Gallo 2006). In subordine, sono presenti dei *thrust* orientati circa E-W, mostranti piani a basso angolo immergenti verso sud e *pitch* orientati circa N-S (Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Sorriso-Valvo et al. 1996).

Le strutture trascorrenti, infine, presentano una orientazione media circa E-W o WSW-ENE, con piani sub-verticali caratterizzati da movimenti prevalentemente sinistrorsi (Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Sorriso-Valvo et al. 1996; Tansi & Fòlino Gallo 2006; Filice et al. 2015). Queste strutture rappresentano gli elementi più antichi e meno frequenti dell'area, anche se sono state riconosciute locali riattivazioni passive, compatibili con il sollevamento in atto (Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Sorriso-Valvo et al. 1996). Spesso le strutture trascorrenti presentano una evidente componente distensiva, soprattutto nel caso di quelle orientate WSW-ENE (Filice et al. 2015).

Le strutture distensive, infine, sono legate al sollevamento dell'*Horst* della Catena Costiera e presentano, in generale, piani sub-verticali orientati circa N-S, con cinematismi prevalentemente normali con una locale componente di trascorrenza destra (Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Sorriso-Valvo et al. 1996; Filice et al. 2015). Tali faglie sono riferibili al Pliocene superiore – Olocene (Tansi & Fòlino Gallo 2006) e mostrano immersioni dei piani di faglia variabili in funzione della loro posizione geografica rispetto all'*Horst* della Catena Costiera. Localmente sono presenti faglie dirette ad a basso angolo, prevalentemente connesse alla riattivazione estensionale di strutture compressive preesistenti (Filice et al. 2015).

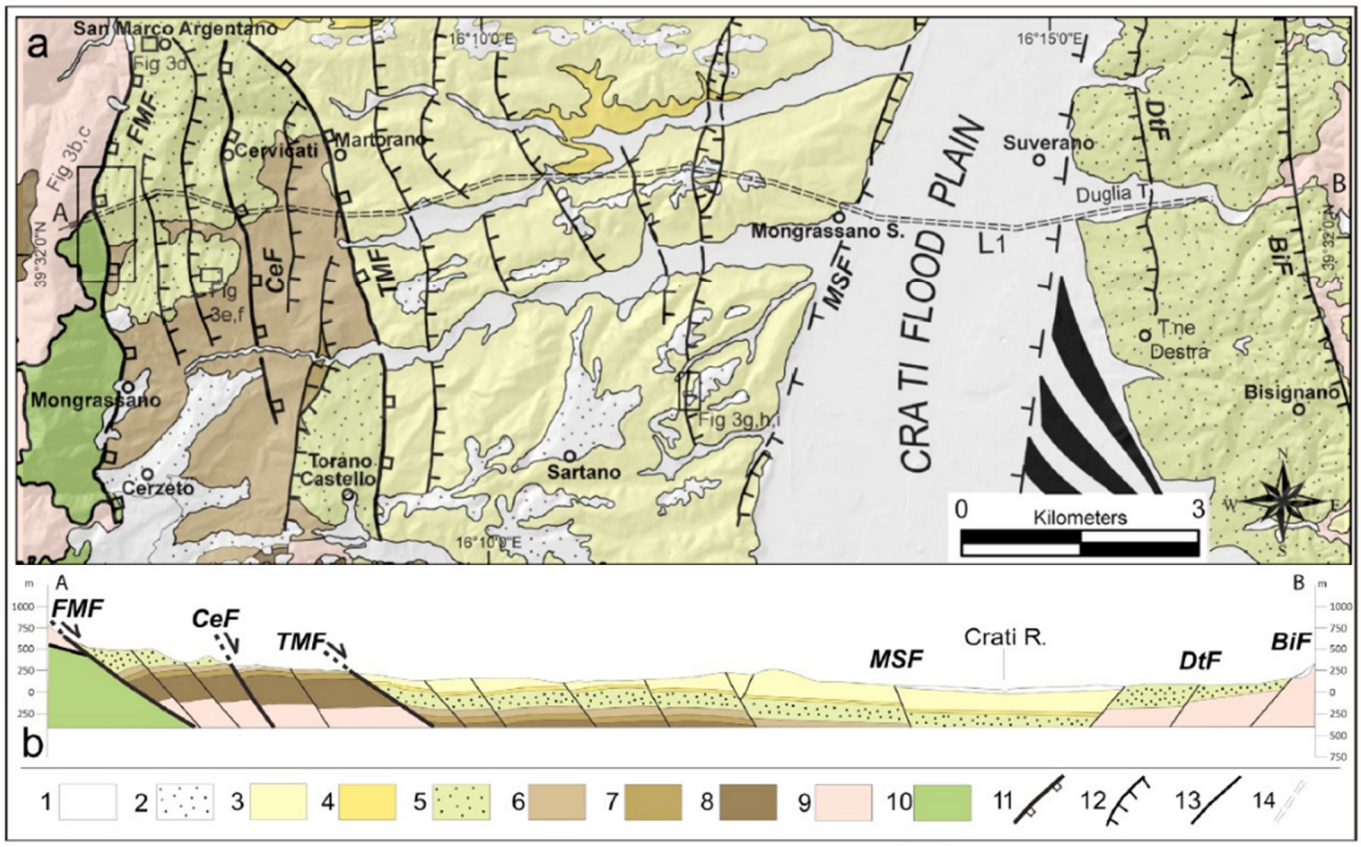


Figura 12 – Carta geologica dell'area Cervicati-Bisignano e relativa sezione trasversale, mostrante le numerose strutture distensive che interessano i termini litologici affioranti a margini del Graben del Crati (Brozzetti et al. 2017). Legenda: 1) Alluvioni dell'Olocene; 2) Depositi marini terrazzati del Pleistocene medio-alto; 3) Sabbie con lenti di conglomerato del Calabriano superiore; 4) Argille limose del medio Calabriano; 5) Sabbie e arenarie con intercalati rari strati di conglomerati del Calabriano inferiore; 6) Argille grigio-azzurre del Gelasiano; 7) Conglomerati del Pliocene; 8) Sabbie e calcareniti del Miocene; 9) Unità della Sila; 10) Unità ofiolitiche; 11) Faglie normali ad immersione principale est; 12)faglie normali; 13) altri contatti tettonici; 14) Traccia della linea sismica L1.

Nei settori occidentali della catena, lungo il margine costiero, le strutture distensive presentano dei piani di faglia immergenti generalmente verso Ovest, in direzione del *Graben* di Paola (Damiani & Pannuzzi 1978; Filice et al. 2015). Nei settori più orientali invece, tali strutture presentano dei piani di faglia con immersione media verso Est (Figura 12), che costituiscono un sistema a gradinata culminante con la faglia "*S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano*" (Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Sorriso-Valvo et al. 1996; Tansi & Fòlino Gallo 2006; Tansi et al. 2016; Brozzetti et al. 2017). Alcune strutture distensive presentano una attività molto recente, in quanto tagliano i depositi

pleistocenici (Figura 13) che colmano il *Graben* del Crati (Carobene et al. 1986; Carobene & Dai Pra 1990; Brozzetti et al. 2017).

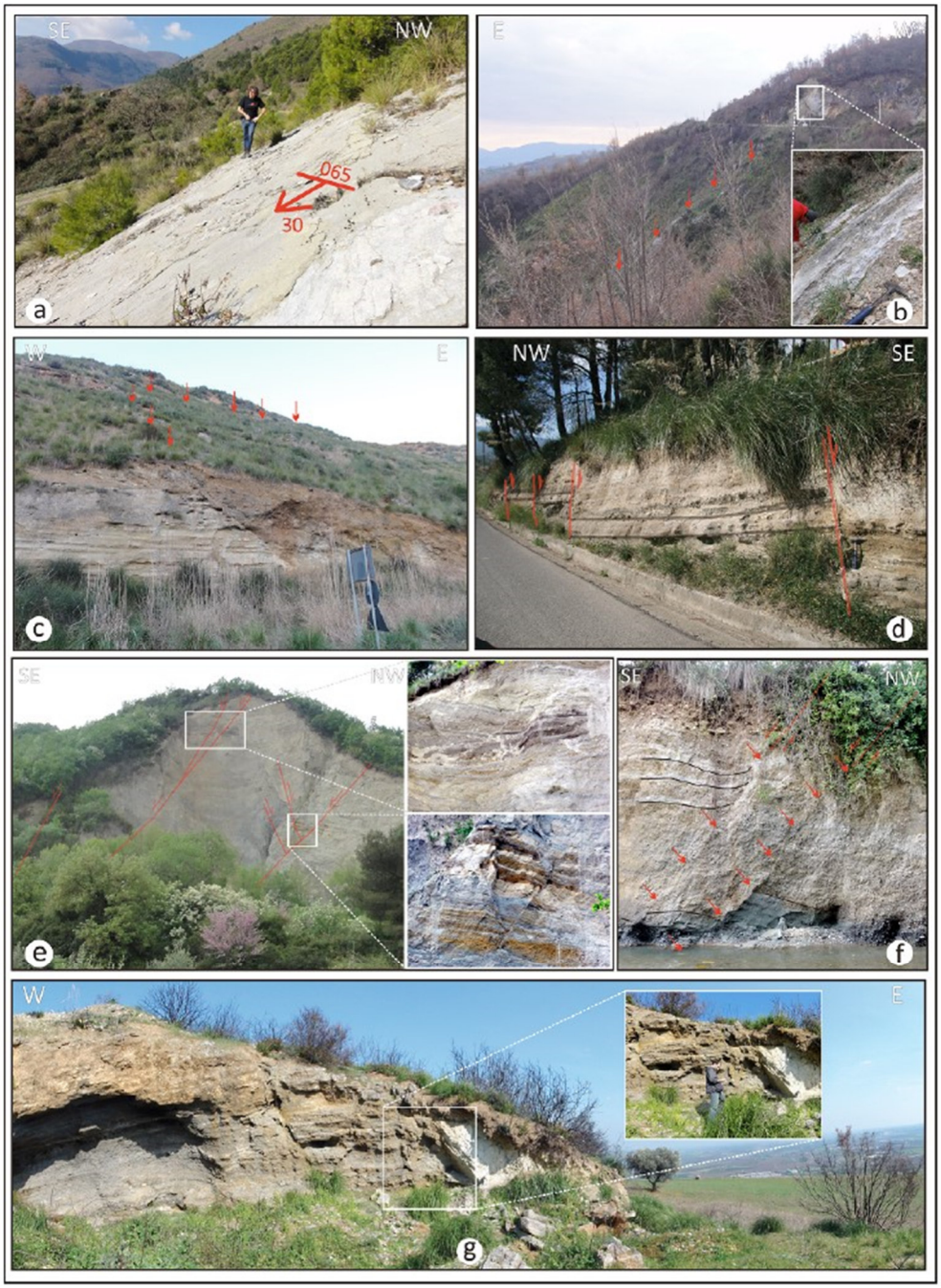


Figura 13 – Evidenze geologiche di alcune strutture distensive che tagliano i depositi miocenici, pliocenici e pleistocenici presenti lungo il margine occidentale del *Graben* del Crati (Brozzetti et al. 2017).

8 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE

L'assetto stratigrafico-strutturale dell'area di stretto interesse progettuale è stato ricostruito integrando i dati ottenuti dal rilevamento geologico effettuato con tutte le informazioni ricavate dalla fotointerpretazione appositamente condotta, dalle fonti bibliografiche disponibili e dalle indagini di sito esistenti o appositamente realizzate per il presente studio.

8.1 Dati utilizzati per la ricostruzione del modello

L'assetto stratigrafico-strutturale dell'area di studio e della galleria di progetto è stato ricostruito in diverse fasi di studio, sviluppate nell'arco di diversi anni. Inizialmente, i dati ottenuti dal rilevamento geologico di campagna sono stati integrati con appositi studi fotointerpretativi e con tutte le informazioni ricavate dalle fonti bibliografiche disponibili e dalle indagini di sito esistenti o appositamente realizzate (Italferr 2012, ANAS 2013, RFI 2015-2017, ANAS 2020, Italferr 2021).

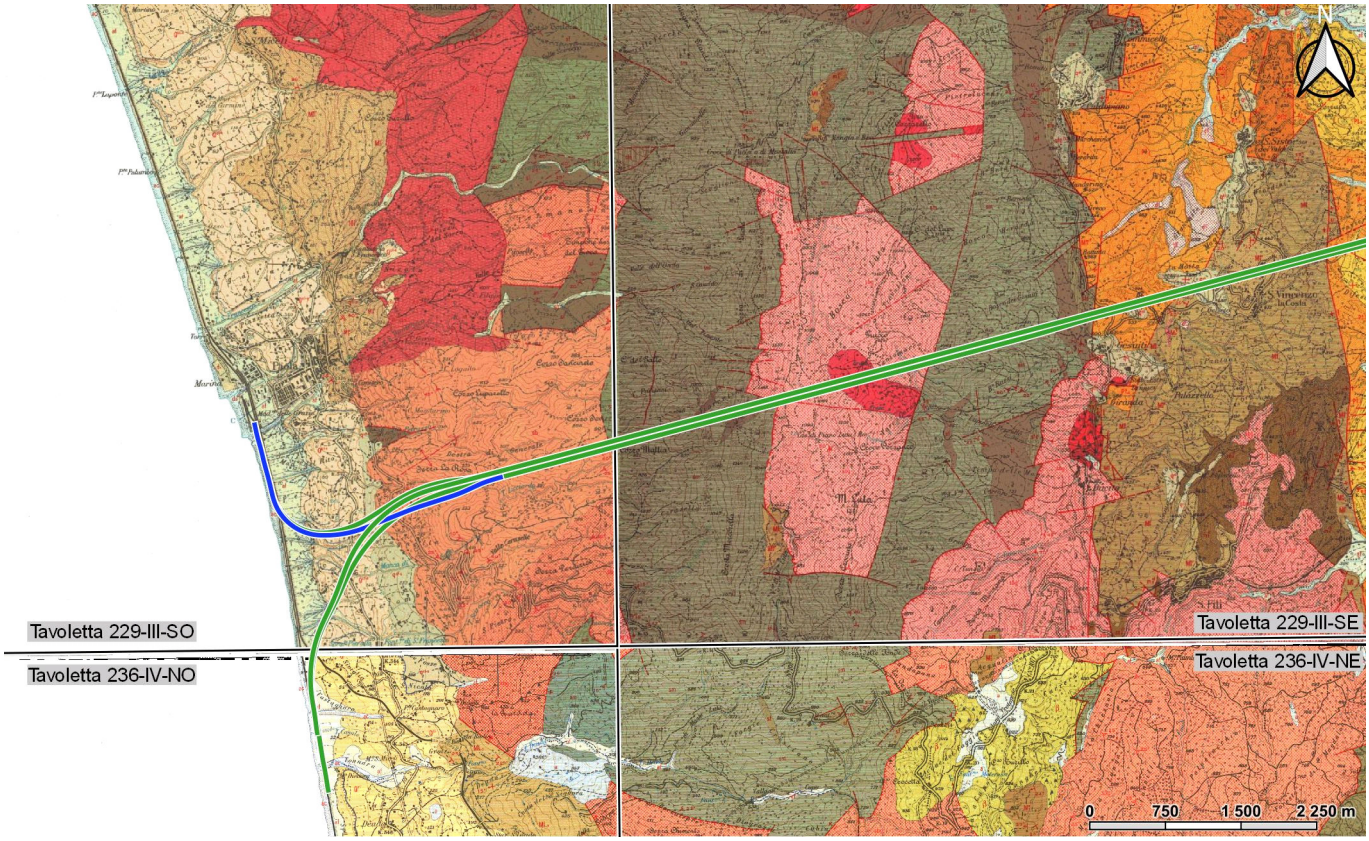


Figura 14 – Stralcio delle Tavolette in scala originale 1:25000 (riprodotte in scala 1:75000) della Carta geologica della Calabria (CASMEZ), relative alla porzione occidentale dell'area di studio. Per la legenda fare riferimento agli elaborati originali.

Nello specifico, sono stati effettuati appositi rilievi di campo volti alla definizione delle principali caratteristiche geologiche, stratigrafiche e strutturali dei diversi termini litologici affioranti in tutta la zona di studio. Tali analisi sono state integrate con n. 10 stazioni geomeccaniche per la caratterizzazione degli ammassi rocciosi presenti lungo

il tracciato in progetto. Nello specifico, gli stop geostrutturali sono stati condotti secondo gli *standard* della International Society for Rock Mechanics (ISRM 1978, 1993) ed hanno permesso di determinare le principali caratteristiche dei giunti, della roccia intatta, dell'ammasso e successivamente definire, per ogni singolo punto di rilievo, il *range* di variazione del *Geological Strength Index* (GSI).

L'utilizzo delle foto-aeree, oltre a fornire un valido strumento per la pianificazione delle attività di campagna, ha permesso di individuare i principali elementi geomorfologici e la loro evoluzione nel corso degli ultimi decenni. Inoltre, molto importante è risultato il riconoscimento di elementi strutturali legati alla presenza di allineamenti tettonici e al contatto tra rocce con caratteristiche litotecniche differenti, specialmente in un contesto montuoso e boscoso dove spesso il rilevamento geologico è reso difficile dalle condizioni geomorfologiche e naturali. Allo stesso modo, di notevole importanza è risultata l'individuazione dei fenomeni franosi e l'analisi dell'evoluzione temporale dei fenomeni stessi tramite il confronto di foto aeree inerenti anni diversi.

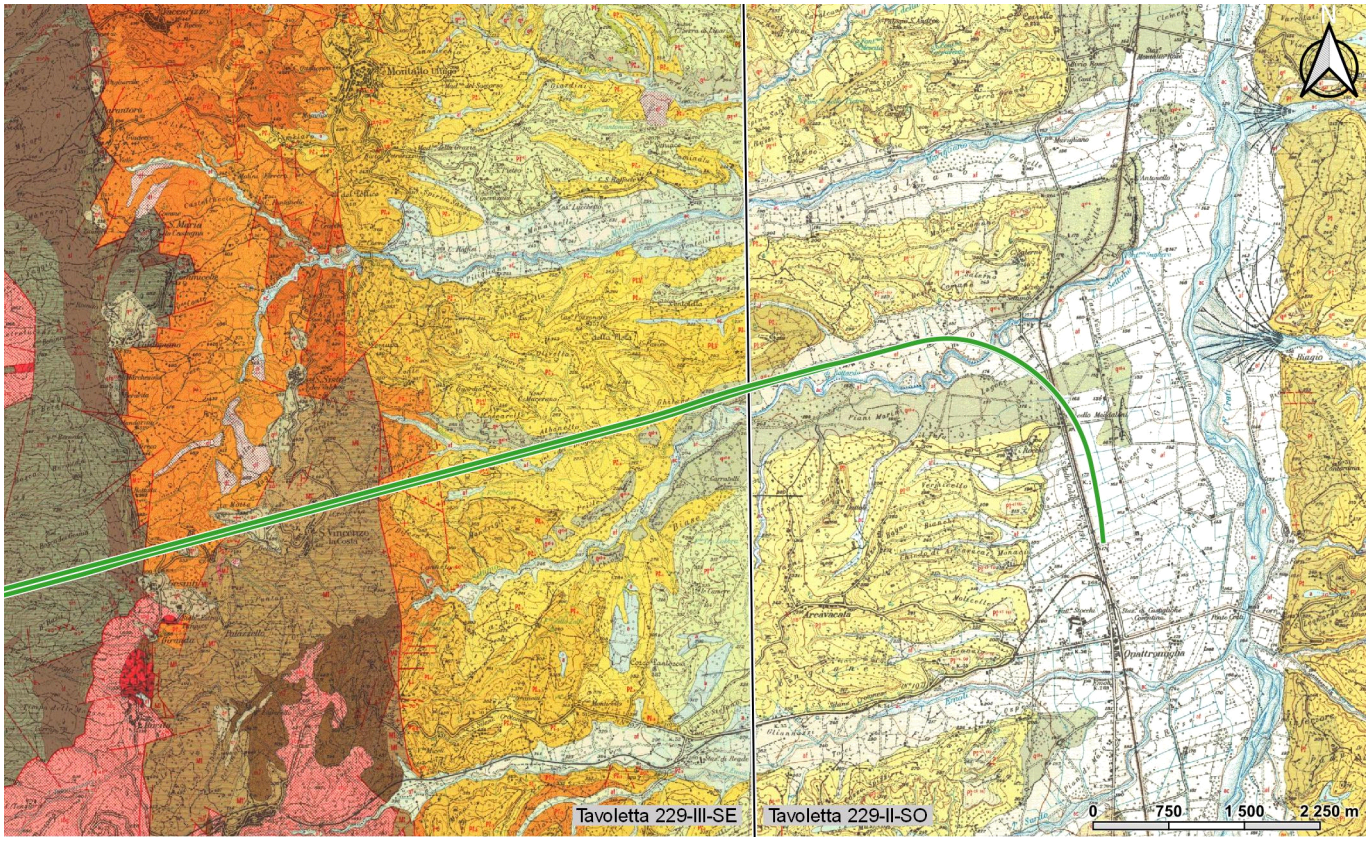


Figura 15 – Stralcio delle Tavolette in scala originale 1:25000 (riprodotte in scala 1:75000) della Carta geologica della Calabria (CASMEZ), relative alla porzione orientale dell'area di studio. Per la legenda fare riferimento agli elaborati originali.

Tra le fonti bibliografiche, la Carta geologica della Calabria (CASMEZ) in scala 1:25000 (Figura 14, Figura 15) ha rappresentato un utilissimo punto di partenza per la ricostruzione del modello geologico-strutturale di tutta l'area di studio. Gli studi appositamente condotti hanno confermato, in linea di massima, l'assetto descritto in tali carte geologiche, anche se sono emerse alcune differenze sia negli elementi tettonici presenti che nell'assetto delle successioni tardo-mioceniche affioranti lungo il margine orientale della Catena Costiera. Inoltre, date le differenti

scale di restituzione, importanti differenze sono osservabili nella mappatura e distinzione delle unità quaternarie di copertura, sia marine che continentali.

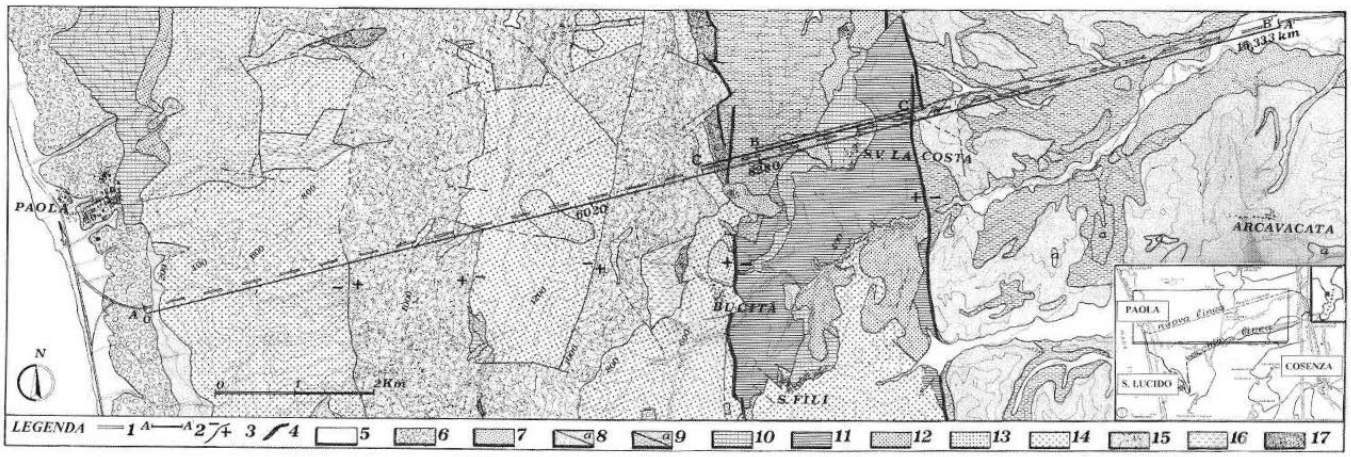


FIG. 2 - *Carta geologica della Catena Costiera nel tratto interessato dalla galleria Paola-Cosenza (dalla Carta Geologica CASMEZ, in scala 1:25.000, modificata). In legenda: 1 - Ubicazione del tracciato della galleria; 2 - Traccia dei profili geologici di figg. 2 e 3; 3 - Faglia; 4 - Faglia attiva; 5 - Depositi sabbioso-argillosi recenti ed attuali; 6 - Conglomerati e sabbie dei terrazzi marini pleistocenici; 7 - Conglomerati sabbiosi dei terrazzi fluviali pleistocenici; 8 - Limi e sabbie fini plio-quaternarie, associate a prodotti di dilavamento recenti ed attuali (a); 9 - Argille plio-quaternarie, associate a prodotti di dilavamento recenti ed attuali (a); 10 - Arenarie e siltiti del Miocene superiore; 11 - Argille mioceniche; 12 - Conglomerati miocenici; 13 - Graniti; 14 - Gneiss; 15- Scisti muscovitici; 16 - Filladi; 17 - Scisti epidotici .*

Geological map of the part of the Coastal Chain along the tunnel was constructed (modified from the CASMEZ Geological Map, scale 1:25,000). Legend: 1 - Location of outline of tunnel; 2 - Outline of geological profiles in Figs 2 and 3; 3 - Fault; 4 - Active Fault; 5 - Recent and Actual sandy clay; 6 - Conglomerate and sand belonging to the Pleistocene marine terraces; 7 - Sandy conglomerate belonging to the Pleistocene fluvial terraces; 8 - Plio-Quaternary silt and fine sand, associated with recent and actual eluvial deposits; 9 - Plio-Quaternary clays associated with recent and actual eluvial deposits; 10 - Upper Miocene sandstone and siltstone; 11 - Miocene clay; 12 - Miocene conglomerate; 13 - Granite; 14 - Gneiss; 15 - Muscovite schist; 16 - Phyllite; 17 - Epidote schist.

Figura 16 – Carta geologica della Catena Costiera nel tratto interessato dalla galleria Santomarco (Rizzo & Bozzo 1998) ricostruita modificando la Carta Geologica (CASMEZ) in scala 1:25000.

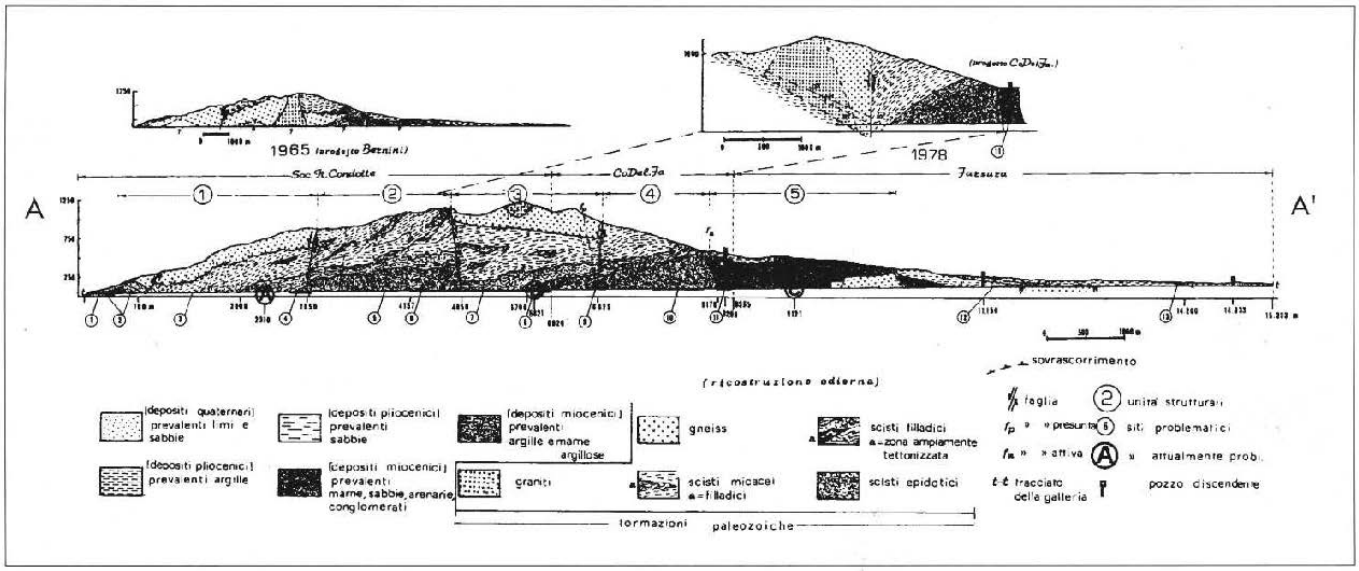


Figura 17 – Profilo geologico della Catena Costiera in corrispondenza della galleria Santomarco ricostruito sulla base dei dati di scavo (Rizzo & Bozzo 1998) e della carta geologica appositamente realizzata. In alto sono presentate due ipotesi circa l'assetto geologico-strutturale nei pressi della galleria (a sinistra Bernini 1965, a destra CO.DEL.FA 1978).

Notevole rilevanza per la ricostruzione del modello geologico hanno avuto i dati relativi allo scavo della galleria Santomarco esistente, sintetizzati in uno studio pubblicato sui rapporti GEAM (Rizzo & Bozzo 1998). Tali

informazioni hanno consentito una più dettagliata ricostruzione sia della geologia di superficie che degli assetti in corrispondenza delle opere in sotterraneo. La carta geologica prodotta a seguito della realizzazione dell'opera (Figura 16) ricalca in buona sostanza la Carta geologica della Calabria (CASMEZ), a meno piccole e ridotte variazioni derivanti dai dati disponibili. Il profilo geologico prodotto con i dati di scavo (Figura 17) è stato invece di fondamentale importanza, in quando ha permesso di individuare, in profondità, i principali passaggi litologici e le maggiori strutture tettoniche presenti nell'area. Questo dato è stato il principale punto di partenza per la ricostruzione del profilo geologico lungo la nuova galleria di progetto.

Infine, le risultanze delle indagini geognostiche disponibili o appositamente realizzate (Italferr 2012, ANAS 2013, RFI 2015-2017, ANAS 2020, Italferr 2021) hanno contribuito al miglioramento del quadro di conoscenze nei settori all'aperto e in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie. Tali indagini hanno infatti permesso di definire sia lo spessore delle coperture che l'assetto stratigrafico-strutturale in alcuni settori di particolare interesse, come il ramo di tracciato che si sviluppa verso i settori meridionali del centro abitato di Paola.

L'insieme delle metodologie precedentemente descritte ha permesso di ricostruire un primo modello geologico-strutturale di tutta l'area di studio. Successivamente, in seguito alle richiesta integrazioni del C.S.LL.PP. (Parere n°5/2022), sono state effettuate nuove indagini dirette ed indirette (Italferr 2022) con l'obiettivo di ottenere informazioni nei settori non coperti dalle precedenti indagini, integrare i dati geologici e idrogeologici disponibili e migliorare il grado di conoscenza sulle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi interessati dalla realizzazione dell'opera. In questa fase sono stati quindi realizzati n. 3 stendimenti di sismica a riflessione, n. 2 stendimenti di sismica a rifrazione e n. 15 sondaggi geognostici (sia all'aperto che all'interno della galleria esistente), in parte strumentati con inclinometri e piezometri. Ulteriori indagini geognostiche sono attualmente in corso e saranno recepite nel successivo aggiornamento dello studio geologico.

Figura 18 - Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (EBG) nel sondaggio SGN12_gall, tra 10.0 e 15.0 m.

I sondaggi effettuati nella Campagna indagine Italferr 2022 (attualmente ancora in corso) hanno così apportato nuove indicazioni sugli assetti geologico-strutturali dell'area. I sondaggi eseguiti in corrispondenza dei litotipi cristallino-metamorfici del substrato sono stati oggetto di analisi geomeccaniche in cassetta (Figura 18) che hanno permesso di migliorare il quadro di conoscenze sulle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi e sul relativo stato di fratturazione. In particolare, sono stati previsti diversi sondaggi all'interno della galleria Santomarco esistente, in modo da definire le condizione degli ammassi all'interno della dorsale. Attualmente sono stati ultimati n. 2 sondaggi in galleria (SGN10_gall e SGN12_gall), mentre altri sono ancora in corso di realizzazione. Attraverso i rilievi geomeccanici delle carote, per ognuno dei sondaggi in roccia è stato definito lo stato di fratturazione e il valore medio del *Geological Strength Index* (GSI).

Al fine di migliorare le ricostruzioni geologiche in corrispondenza dei settori in galleria con le maggiori coperture, in questa fase di approfondimento sono state realizzati n. 3 stendimenti di sismica a riflessione. Uno stendimento è stato condotto lungo il margine occidentale della Catena Costiera, mentre due stendimenti sono stati eseguiti lungo il margine orientale della dorsale, in prossimità del limite occidentale del *Graben* del Crati. Le sezioni di sismica a riflessione hanno fornito un valido strumento per caratterizzare porzioni di profilo prive di dati diretti come le aree interposte ai vari sondaggi e alla ricostruzione geologica in galleria derivante dallo scavo della linea esistente.

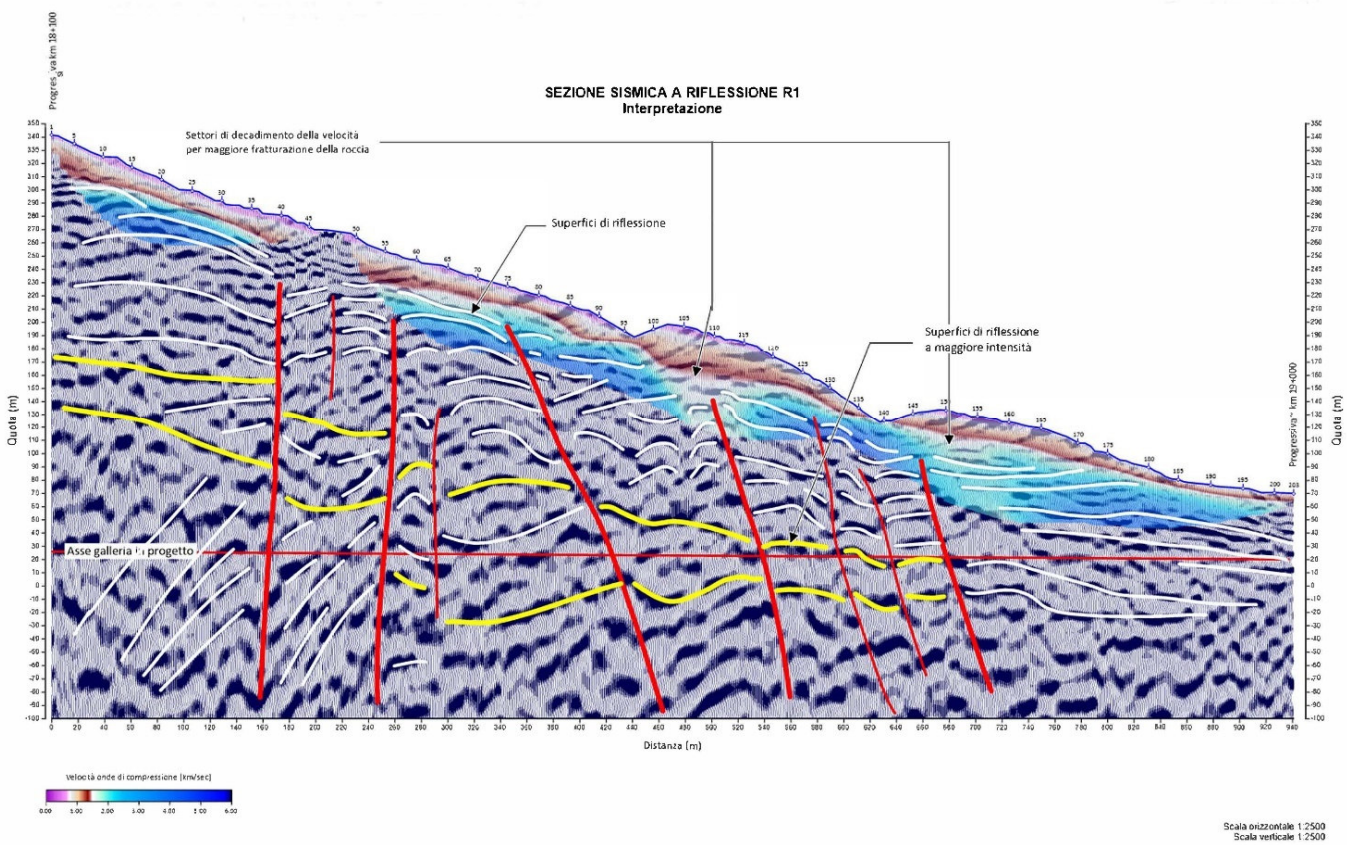


Figura 19 – Interpretazione della sezione sismica a riflessione R1. In rosso sono indicate fasce ad elevata fratturazione riconducibili a faglie o diaclasi.

La sismica a riflessione ha permesso di individuare con elevato dettaglio i principali lineamenti strutturali e definire le geometrie caratterizzanti le unità interessate, come le strutture plicative e le maggiori superficie di discordanza.

Le sezioni R1 (Figura 19) ed R2 (Figura 20) sono state tarate con le stratigrafie dei sondaggi e con la ricostruzione geologica in galleria derivante dallo scavo della linea esistente. Tale taratura ha consentito di perfezionare l'intero assetto geologico-strutturale dell'area, anche tramite un accurato calcolo dei rigetti in corrispondenza di faglie e sovrascorrimenti. Questi due stendimenti di sismica a riflessione hanno confermato gran parte delle ipotesi fatte sull'assetto strutturale dell'area e sono stati già recepiti all'interno del modello geologico della dorsale.

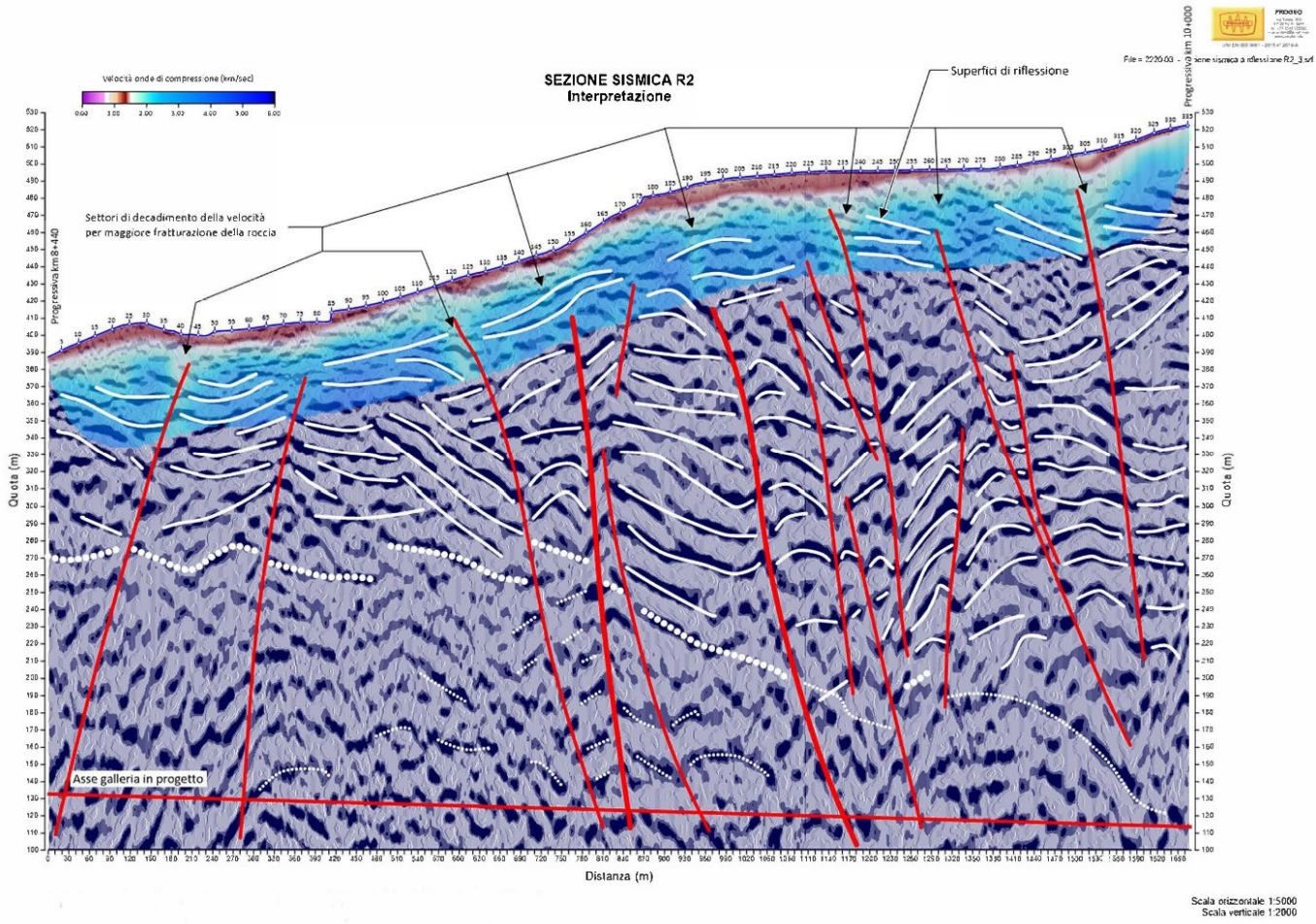


Figura 20 - Interpretazione della sezione sismica a riflessione R2. In rosso sono indicate fasce ad elevata fratturazione riconducibili a faglie o diaclasi.

La sezione sismica R3 (Figura 21) è stata ultimata intorno alla metà di giugno 2022 e, pertanto, non è stata ancora recepita all'interno del modello geologico presentato in questa fase di approfondimento progettuale. Ciononostante, le prime valutazioni qualitative condotte su tale stendimento dimostrano che il dato geofisico conferma gran parte delle ricostruzioni fatte in funzione dei dati precedentemente descritti. Sono infatti visibili sia i fronti di sovrascorrimento all'interno delle unità cristallino-metamorfiche che le importanti strutture distensive che bordano verso est l'*Horst* della Catena Costiera. Le informazioni geologico-strutturali derivanti da tale sezione saranno recepite nella successiva fase di PFTE per gara.

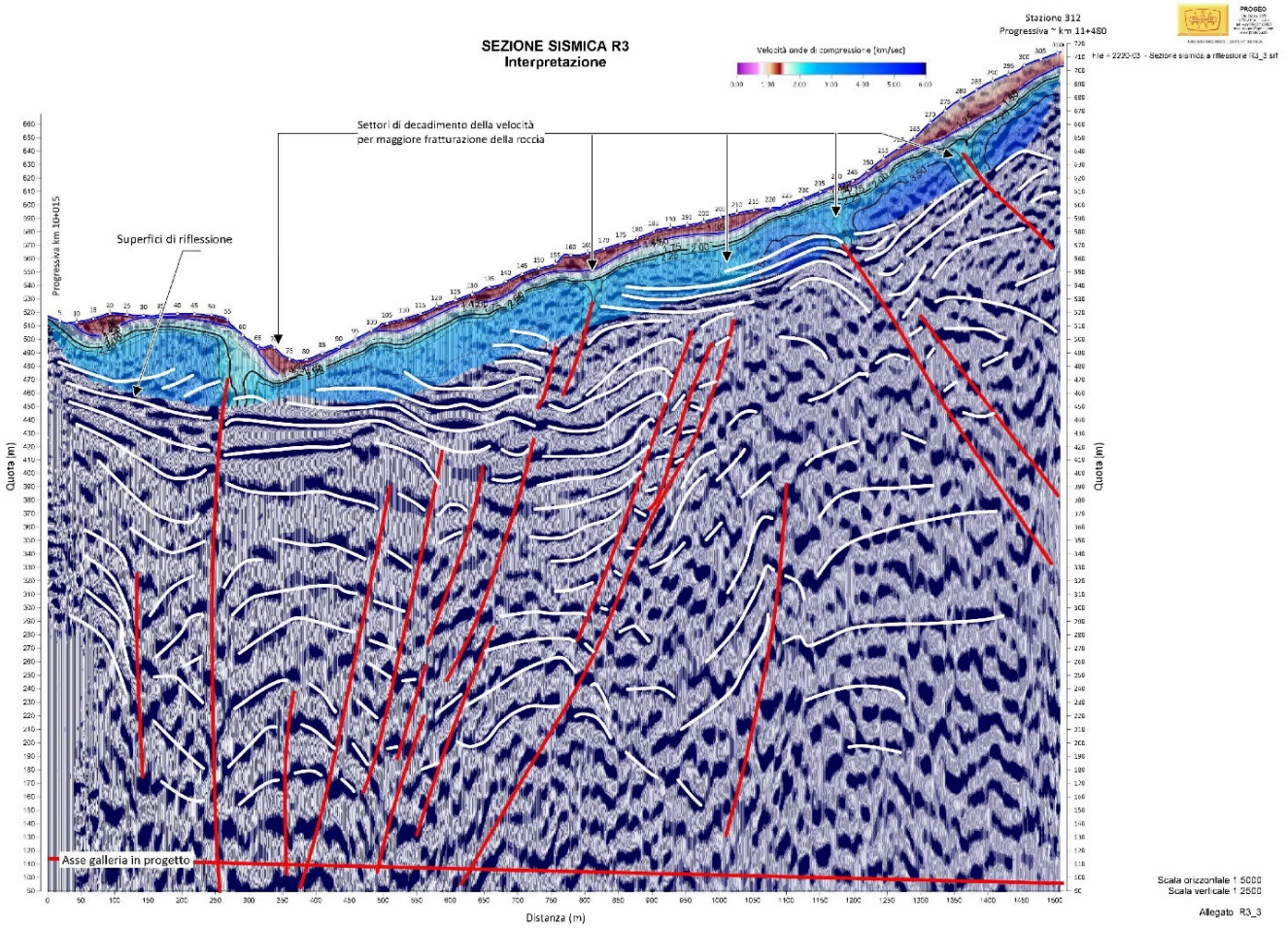


Figura 21 - Interpretazione della sezione sismica a riflessione R3. In rosso sono indicate fasce ad elevata fratturazione riconducibili a faglie o diaclasi.

Ulteriori indagini di sito, consistenti in n. 2 sezioni di sismica a rifrazione tomografica (Figura 22) e n. 4 sondaggi geognostici attrezzati con inclinometri e piezometri sono stati realizzati nel settore occidentale dell'area di studio, a sud di Paola, in corrispondenza di una frana da scivolamento che interessa parte della Nuova Viabilità NV07. Tali indagini hanno avuto lo scopo di migliorare la conoscenza sulle caratteristiche del fenomeno franoso e lo spessore delle masse mobilizzate, oltre che consentire il monitoraggio del versante e definire la possibile evoluzione temporale del fenomeno di dissesto. Il monitoraggio piezometrico e inclinometrico sarà esteso anche ai mesi successivi a tale consegna, in modo da avere un set di dati completo ed esaustivo.

Infine, allo scopo di indagare l'effettiva presenza di falde idriche sotterranee ed il relativo andamento della superficie piezometrica, nel corso dello studio sono state eseguite apposite campagne di monitoraggio consistenti nella misura del livello di falda nei tubi piezometrici precedentemente installati nei fori di sondaggio. Le diverse campagne di monitoraggio del livello della falda sono iniziate a giugno 2012 e proseguiranno nei mesi successivi, interessando tutte le fasi progettuali.

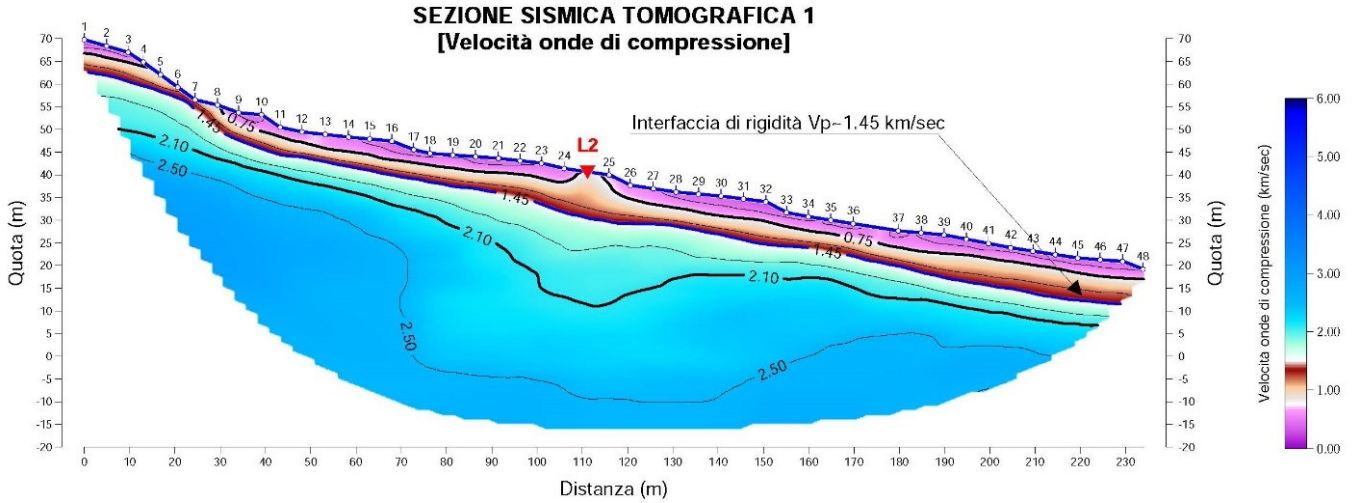


Figura 22 - Sezione sismica a rifrazione tomografica 1 realizzata nei pressi della viabilità NV07.

In definitiva, l'integrazione dei dati richiesti dal CSLLPP Parere n°5/2022 ha permesso di definire un modello geologico-strutturale più approfondito rispetto al modello ottenuto in prima fase e che sarà ulteriormente migliorato tramite le indagini ancora in corso di realizzazione. I dati ottenuti attraverso la campagna integrativa hanno sostanzialmente confermato il complesso assetto geologico-strutturale che caratterizza i rilievi interessati dalla realizzazione della galleria in progetto. Le indagini integrative hanno permesso di individuare nuovi lineamenti tettonici e di mappare con maggiore precisione quelli già noti. Da un punto di vista geologico-tecnico, le nuove indagini hanno consentito, invece, di aumentare il grado di conoscenza circa le caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi attraversati dalla galleria, nonché di ottenere una più lunga serie di monitoraggio del livello di falda nei settori oggetto di studio.

8.2 Assetto litostratigrafico

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere e cartografare differenti unità geologiche, relative sia a sequenze metamorfiche e sedimentarie di substrato che a successioni clastiche di copertura. Attraverso questi dati geologici è stato ricostruito un dettagliato schema dei rapporti stratigrafici tra le diverse unità affioranti (Figura 23), che ha permesso di interpretare e analizzare le informazioni ottenute dal rilevamento di campo e dalle indagini geognostiche reperite o appositamente condotte.

In particolare, le perimetrazioni e le descrizioni geologico-strutturali delle unità individuate nell'area derivano da un'integrazione tra le informazioni riportate in letteratura ed i dati raccolti dal rilevamento geologico di superficie e dalle numerose indagini geognostiche a disposizione.

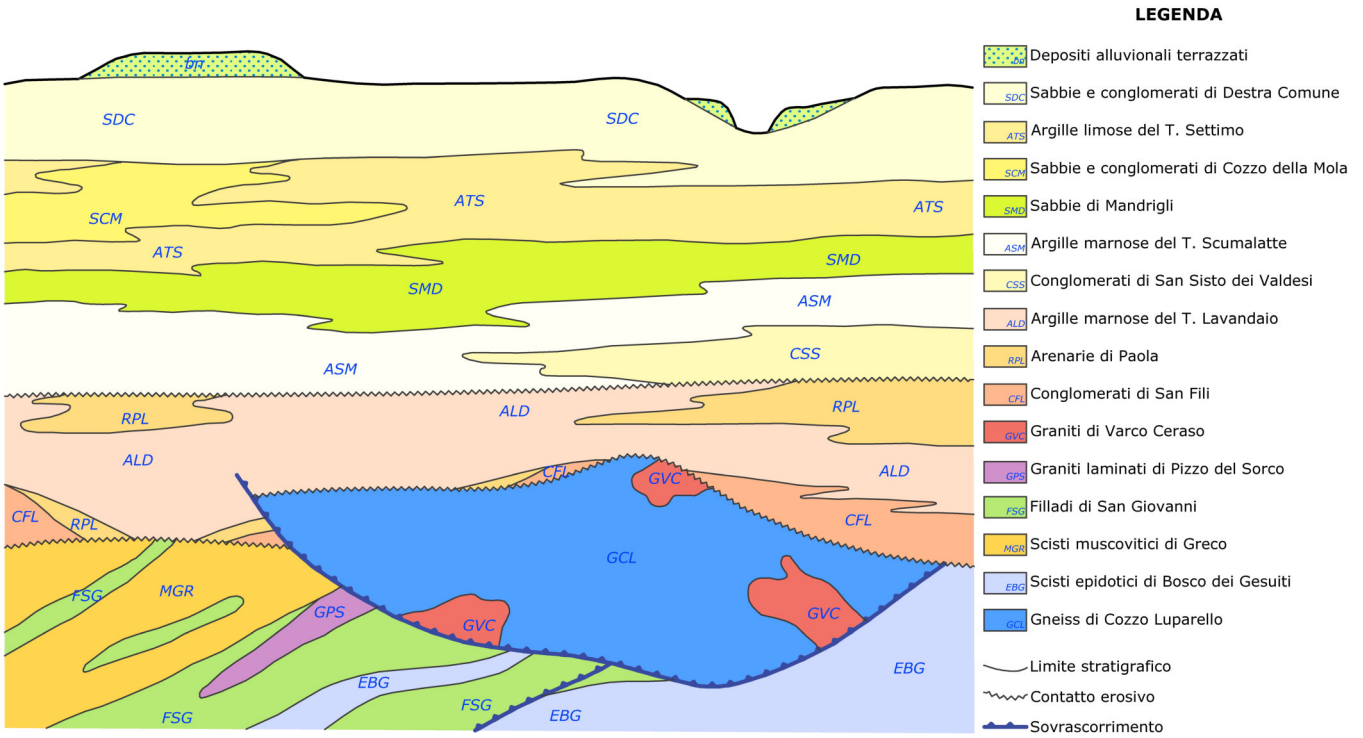


Figura 23 – - Schema dei rapporti stratigrafici delle principali unità geologiche presenti nell'area di studio; le sigle ed i colori fanno diretto riferimento alla codifica delle unità di seguito descritte e a quanto riportato nelle cartografie geologiche in allegato.

8.2.1 Basamento metamorfico paleozoico

Il basamento metamorfico paleozoico è rappresentato da cinque distinte unità geologiche, ampiamente affioranti nei settori centrali ed occidentali dell'area di studio. Queste unità si rinvengono principalmente nella zona montuosa della Catena Costiera, anche se lembi sepolti di unità metamorfiche sono localmente presenti anche lungo il margine occidentale del Bacino del Crati.

8.2.1.1 Gneiss di Cozzo Luparello

Questa unità affiora diffusamente nei settori centrali ed occidentali dell'area di interesse, in corrispondenza dei maggiori rilievi montuosi della Catena Costiera. In particolare, l'unità costituisce gran parte del versante tirrenico della catena, mentre nei settori centrali e orientali della stessa si rinviene lungo fascia allungate secondo le principali direttrici tettoniche. Un piccolo lembo di gneiss si rinviene nella zona centro-orientale dell'area di studio, al di sotto delle coperture terrigene mioceniche.

Dal punto di vista litologico si tratta di gneiss e scisti biotitico-granatiferi di colore grigio, grigio-rossastro e grigio-verdastro (**GCL**), occasionalmente con sillimanite ed andalusite, a tessitura scistosa e fortemente orientata (Foto 1); sono presenti vene e piccoli ammassi di pegmatite e materiale granitico, localmente tanto abbondanti da produrre zone migmatitiche. L'ammasso si presenta da mediamente a molto fratturato, con locali porzioni parzialmente argillificate o fortemente cataclasate/milonitizzate. L'unità presenta uno spessore massimo non determinabile ed è riferibile al Paleozoico.

Foto 1 - Affioramento degli Gneiss di Cozzo Luparello (GCL) lungo la S.P. n.35, a Sud del centro abitato di Paola.

L'unità poggia in sovrascorrimento sulle metamorfiti paleozoiche degli Scisti Muscovitici di Greco (**MGR**), delle Filladi di San Giovanni (**FSG**), degli Gneiss e metagraniti di Pizzo del Sorco (**GPS**) e sulle successioni marine mioceniche dei Conglomerati di San Fili (**CFL**), delle Argille marnose del Torrente Lavandaio (**ALD**) e delle Arenarie di Paola (**RPL**). L'unità risulta inoltre in contatto diretto con le rocce intrusive dei Graniti di Varco Ceraso (**GVC**) ed è ricoperta in discordanza dai Conglomerati di San Fili (**CFL**).

8.2.1.2 Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti

Tale unità affiora localmente nei settori centrali dell'area di interesse, lungo le porzioni medio-basse dei rilievi montuosi che costituiscono il margine orientale della Catena Costiera. In profondità, invece, tale sequenza si rinviene diffusamente alla base di tutte le unità metamorfiche del basamento, sia nella parte centrale della catena che lungo il margine orientale della stessa.

Foto 2 - Affioramento degli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (EBG) lungo la S.P. n.95, a Nord del centro abitato di Gesuiti.

Si tratta di scisti con epidoto di colore verde, grigio e grigio-verdastro (**EBG**), a tessitura scistosa, con locali intercalazioni di scisti violetti e frequenti vene di quarzo parallele alla scistosità (Foto 2); a luoghi si rinvengono potenti orizzonti porfiroidi e calcari cristallini finemente zonati. L'ammasso si presenta da mediamente a molto fratturato, con locali porzioni parzialmente argillificate o fortemente cataclasate/milonitizzate. L'unità presenta uno spessore massimo non determinabile ed è ascrivibile al Paleozoico.

La presente unità è ricoperta dai termini metamorfici delle Filladi di San Giovanni (**FSG**), sia per sovrascorrimento che per contatto diretto. Esternamente all'area del tracciato, l'unità è ricoperta tettonicamente dagli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**) e per contatto erosivo dai Conglomerati di San Fili (**CFL**). Non sono disponibili informazioni sui litotipi presenti alla base dell'unità.

Foto 3 – Dettaglio degli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (EBG) nel sondaggio SGN12_gall, tra 10.0 e 15.0 m da p.c.

8.2.1.3 Scisti muscovitici di Greco

Queste metamorfiti si rinvengono estesamente nei settori centrali ed occidentali dell'area di studio, in corrispondenza di buona parte dei rilievi montuosi della Catena Costiera. I maggiori affioramenti di distribuiscono lungo fasce allungate in direzione circa N-S, che seguono l'andamento delle principali strutture tettoniche. In profondità, questi litotipi sono presenti quasi ovunque al di sotto del sovrascorrimento che mette a contatto i termini gneissici con le porzioni più alte del basamento metamorfico.

Foto 4 - Affioramento degli Scisti muscovitici di Greco (MGR) lungo la S.P. n.95, al Nord del centro abitato di Gesuiti.

Dal punto di vista litologico, l'unità è formata da scisti e scisti muscovitici di colore grigio, marrone e grigio-verdastro (**MGR**), spesso a composizione granitica, a tessitura scistosa e fortemente orientata (Foto 4); sono presenti frequenti vene di quarzo parallele alla scistosità. L'ammasso si presenta da mediamente a molto fratturato, con locali porzioni parzialmente argillificate o fortemente cataclasate/milonitizzate. L'unità è caratterizzata da uno spessore massimo non determinabile ed è riferibile al Paleozoico.

L'unità è ricoperta in sovrascorrimento dagli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**) e in discordanza stratigrafica dalle Arenarie di Paola (**RPL**) e dai Conglomerati di San Fili (**CFL**). Verso il basso, poggia in contatto diretto sulle Filladi di San Giovanni (**FSG**) e con contatto tettonico sugli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (**EBG**). In più punti, le metamorfiti delle Filladi di San Giovanni (**FSG**) si rinvengono all'interno dell'unità in esame come lenti e livelli di spessore ed estensione variabile.

8.2.1.4 Filladi di San Giovanni

Tale unità affiora localmente nella porzione centrale ed occidentale dell'area di intervento, prevalentemente in lembi di limitata estensione. In profondità, l'unità in questione si rinviene in tutta l'area della Catena Costiera, sia al di sotto degli ammassi scistosi e gneissici, che all'interno delle altre unità metamorfiche. A NE del centro abitato

di Paola, lungo il fondovalle del Torrente San Domenico, l'unità affiora in una piccola finestra tettonica parzialmente bordata da faglie ad alto angolo.

Foto 5 - Affioramento delle Filladi di San Giovanni (FSG) in prossimità della S.S. n.107, poche centinaia di metri a SE del centro abitato di Paola.

L'unità è formata da filladi e scisti filladici di colore grigio e nerastro, rossastro per alterazione (**FSG**), lucenti e a tessitura finemente scistosa (Foto 5), con locali intercalazioni di metarenarie e metacalcari cristallini; sono presenti frequenti vene di quarzo parallele alla scistosità. L'ammasso si presenta da mediamente a molto fratturato, con locali porzioni completamente argillificate o fortemente cataclasate/milonitizzate. L'unità presenta uno spessore massimo non determinabile ed è ascrivibile al Paleozoico.

I termini litologici in esame poggiano in contatto diretto sugli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (**EBG**) e sugli Gneiss e metagraniti di Pizzo del Sorco (**GPS**), a cui sono anche intercalati a diverse altezze stratigrafiche. Verso l'alto passano agli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (**EBG**) e agli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**), mentre risultano tettonicamente ricoperti dagli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**) e dai Graniti di Varco Ceraso (**GVC**).

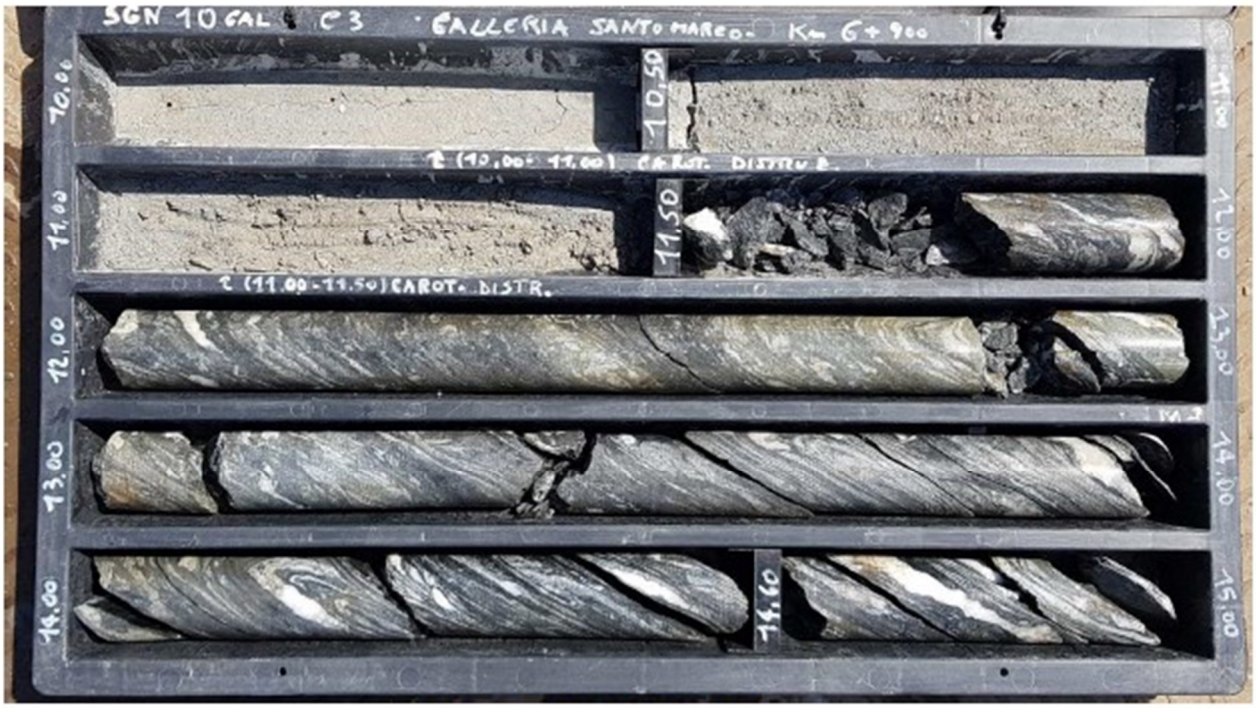


Foto 6 - Dettaglio delle Filladi di San Giovanni (FSG) nel sondaggio SGN10_gall, tra 10.0 e 15.0 m da p.c.

8.2.1.5 Gneiss e metagraniti di Pizzo del Sorco

La presente unità affiora unicamente nei settori più occidentali dell'area di studio e, in particolare, lungo il vallone di Torrente San Domenico, immediatamente a Est del centro abitato di Paola. In questo settore, l'unità si presenta come una finestra tettonica parzialmente bordata da faglie ad alto angolo. Non sono presenti affioramenti o ammassi direttamente interferenti con il tracciato di progetto.

Foto 7 - Affioramento degli Gneiss e metagraniti di Pizzo del Sorco (GPS) lungo Via Pilusella, immediatamente ad Est del centro abitato di Paola.

Si tratta prevalentemente di gneiss e metagraniti laminati di colore grigio chiaro (**GPS**), talora grossolani e muscovitici, a struttura da scistosa a massiva (Foto 7); a luoghi sono presenti passaggi di scisti grigio-verdastri e orizzonti pegmatitici. L'ammasso si presenta da mediamente a molto fratturato, con locali porzioni parzialmente argillificate o fortemente cataclasate/milonitizzate. L'unità presenta uno spessore massimo non determinabile ed è interamente ascrivibile al Paleozoico.

L'unità è in contatto stratigrafico con le Filladi di San Giovanni (**FSG**) e con gli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**). Verso l'alto, la sequenza è tettonicamente ricoperta dai termini metamorfici degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**).

8.2.2 Basamento cristallino paleozoico

Nei settori di studio, il basamento cristallino paleozoico è rappresentato da una sola unità geologica, di natura prevalentemente granitica. Tale unità affiora localmente nei settori centrali e orientali della Catena Costiera, in appoggio sui termini litologici del basamento metamorfico paleozoico.

8.2.2.1 Graniti di Varco Ceraso

Questa unità affiora localmente nei settori centrali dell'area di studio, sia nelle zone interne dei rilievi montuosi della Catena Costiera, in località Varco Ceraso e Giuoco, che lungo il margine orientale della stessa struttura, tra i centri abitati di Gesuiti e Bucita. Un piccolo lembo di graniti si rinviene nella zona centro-orientale dell'area di studio, al di sotto delle coperture terrigene mioceniche.

Foto 8 - Affioramento fortemente alterato e arenitizzato dei Graniti di Varco Ceraso (GVC) in prossimità della S.P. n.94, poche centinaia di metri a N del centro abitato di Bucita.

Dal punto di vista litologico si tratta di graniti muscovitico-biotitici di colore grigio chiaro, giallastro per alterazione (**GVC**), spesso laminati e a grana grossolana; a luoghi si rinvengono dicchi leuco-monzogranitici e piccoli filoni lamprofirici e porfiritici. L'ammasso si presenta da mediamente a molto fratturato, con locali porzioni completamente arenitizzate (Foto 8) o fortemente brecciate/cataclasate. L'unità risale al Paleozoico e presenta uno spessore massimo non determinabile.

L'unità poggia, praticamente ovunque, sui termini metamorfici degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**). Verso l'alto è ricoperta in discordanza dai depositi marini miocenici dei Conglomerati di San Fili (**CFL**) e delle Argille marnose del Torrente Lavandaio (**ALD**). Localmente, la continuità dell'ammasso risulta interrotta da faglie dirette ad alto angolo, mentre non sono stati individuati *thrust* ed elementi compressivi.

8.2.3 Successioni marine mioceniche

Le successioni marine mioceniche sono rappresentate da tre distinte unità geologica, di natura essenzialmente sedimentaria. Queste unità affiorano lungo i margini orientale e occidentale della Catena Costiera, oltre che in lembi di limitata estensione nei settori centrali della stessa.

8.2.3.1 Conglomerati di San Fili

Tale unità si rinviene in lembi di discreta estensione nei settori centrali dell'area di studio, nel settore interno della Catena Costiera. Lembi più o meno estesi di tali litotipi si rinvengono in profondità, in corrispondenza del contatto tra la sequenza marina miocenica e il basamento metamorfico paleozoico.

Sotto il profilo litologico, l'unità è formata da conglomerati medi e grossolani di colore giallastro e bruno-rossastro (**CFL**), debolmente cementati e a stratificazione mal definita, composti da ciottoli di granito, gneiss e filladi di dimensioni molto variabili, con matrice arcosica generalmente abbondante; si rinvengono frequenti passaggi di microconglomerati poligenici (Foto 9) di colore grigio-giallastro e locali livelli di arenarie tenere a piccoli ciottoli. L'unità risulta sterile e con uno spessore massimo di circa 40 m.. Dal punto di vista cronostratigrafico, la successione è interamente riferibile al Tortoniano.

Verso il basso tali depositi poggiano in contatto erosivo discordante sugli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**) e sui Graniti di Varco Ceraso (**GVC**), mentre lateralmente e verso l'alto passano invece alle Arenarie di Paola (**RPL**) e alle Argille marnose del Torrente Lavandaio (**ALD**). Localmente, soprattutto sul margine occidentale della Catena Costiera, questi litotipi possono rinvenirsi completamente intercalati all'interno delle Argille marnose del Torrente Lavandaio (**ALD**). In prossimità del centro abitato di Paola, i Conglomerati di San Fili sono tettonicamente ricoperti dai termini metamorfici degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**).

Foto 9 – Microconglomerati poligenici appartenenti alla sequenza dei Conglomerati di San Fili (CFL), rinvenuti nel sondaggio SGN-06.

8.2.3.2 Arenarie di Paola

La presente unità affiora nei settori centrali ed occidentali dell'area di intervento, prevalentemente ad Est del centro abitato di Paola ed in prossimità del nucleo di San Vincenzo la Costa. In profondità, questi terreni si rinvengono diffusamente lungo il margine orientale della Catena Costiera, in corrispondenza del passaggio tra le successioni mioceniche e quelle plio-pleistoceniche.

Si tratta di arenarie da fini a grossolane di colore bruno chiaro, grigio e giallastro (**RPL**), generalmente ben stratificate e intensamente fratturate, a cemento prevalentemente calcareo (Foto 10); sono presenti frequenti livelli di conglomerati poligenici a clasti eterometrici e poco arrotondati, più abbondanti verso il basso; a luoghi si rinvengono intercalazioni di calcari arenacei, sabbie poco cementate e argille marnose grigie e verdastre. La microfauna è scarsa e mal determinabile, in associazione a sparsi frammenti di macrofossili, mentre lo spessore massimo è di circa 140 m. Dal punto di vista temporale, l'unità è riferibile al Tortoniano.

Foto 10 - Affioramento delle Arenarie di Paola (RPL) nei settori centrali dell'area di studio, lungo la S.P. n.94, a Nord del centro abitato di San Vincenzo la Costa.

Tali terreni poggiano in contatto stratigrafico sui Conglomerati di San Fili (**CFL**) e sulle Argille marnose del Torrente Lavandaio (**ALD**), alle quali passano anche lateralmente e verso l'alto in maniera eteropica. Al tetto, sono ricoperti in discordanza stratigrafica dalle Argille marnose del Torrente Scumalatte (ASM) e dai Conglomerati di San Sisto dei Valdesi (**CSS**). In taluni settori, questi litotipi poggiano in discordanza sulle metamorfiti degli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**), mentre in prossimità del centro abitato di Paola sono ricoperti tettonicamente dagli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**).

8.2.3.3 Argille marnose del Torrente Lavandaio

Questa unità si rinviene estesamente nei settori centrali dell'area di studio, essenzialmente lungo il margine orientale della Catena Costiera, tra i centri abitati di San Fili e San Vincenzo la Costa. Questi terreni si rinvengono ampiamente anche nel settore costiero di Paola, dove però sono generalmente ricoperti dai depositi clastici quaternari e dai termini metamorfici del basamento paleozoico.

Sotto il profilo litologico, questi terreni sono costituiti da argille limose, argille sabbiose e argille marnose di colore grigio e grigio-verdastro (**ALD**), in genere sottilmente stratificate, con passaggi di sabbie e sabbie limose grigie, a struttura indistinta o laminata, occasionali passaggi di argille fogliettate rosso scure e locali livelli di argille nodulari grigie; a luoghi si rinvengono passaggi di arenarie, calcari e marne bruno chiare, finemente laminate, e lenti di ghiaie poligeniche in abbondante matrice sabbioso-limosa. La microfauna a foraminiferi è molto limitata, ma localmente associata a squame di pesci e ostracodi. La successione presenta uno spessore massimo di circa 250 m ed è ascrivibile al Tortoniano.

Foto 11 - Affioramento delle Argille marnose del Torrente Lavandaio nei settori centrali dell'area di studio, lungo la S.P. n.91, nel centro abitato di San Vincenzo la Costa.

Questa unità poggia stratigraficamente sui Conglomerati di San Fili (**CFL**) e sulle Arenarie di Paola (**RPL**), soprattutto lungo il margine orientale della Catena Costiera. Spesso, l'unità passa lateralmente e verso l'alto alle suddette unità attraverso eteropie di *facies* e contatti stratigrafici. Localmente questa successione poggia in contatto erosivo sui litotipi dei Graniti di Varco Ceraso (**GVC**), sulle Filladi di San Giovanni (**FSG**), sugli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**) e sugli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**). Verso l'alto, l'unità è invece ricoperta in discordanza

dai Conglomerati di San Sisto dei Valdesi (**CSS**), dalle Argille marnose del Torrente Scumalatte (**ASM**) e dai Depositi marini terrazzati (**gn**).

8.2.4 Successioni marine plio-pleistoceniche

Le successioni marine plio-pleistoceniche sono costituite da ben cinque unità, estesamente affioranti nei settori orientali dell'area di studio. Queste successioni caratterizzano tutto il Bacino del Crati e, in generale, sono contraddistinte da complessi rapporti stratigrafici e numerose eteropie laterali e verticali.

8.2.4.1 Argille marnose del Torrente Scumalatte

Questi depositi si rinvengono nei settori centrali dell'area di studio, nella zona di raccordo tra il Bacino del Crati e il margine orientale della Catena Costiera. I maggiori affioramenti sono presenti in prossimità dei centri abitati di San Vincenzo la Costa, San Sisto dei Valdesi e Gesuiti. Verso Est, questi terreni vengono progressivamente ricoperti dai depositi marini e continentali più recenti e, pertanto, gli affioramenti divengono sempre meno frequenti ed estesi.

Questi terreni sono formati da argille limose, limi argillosi e argille marnose di colore grigio e grigio-azzurro (**ASM**), a stratificazione generalmente poco evidente e frattura concoide, con frequenti intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio (Foto 12); a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie grossolane grigie e rossastre e livelli di arenarie tenere di colore giallastro, a cemento prevalentemente calcareo. La microfauna a foraminiferi è ricca e variata, con specie planctoniche predominanti, e risulta spesso associata a denti di pesci e frammenti di macrofossili. La sequenza mostra uno spessore massimo di circa 260 m e, dal punto di vista cronostratigrafico, è riferibile al Pliocene superiore – Pleistocene inferiore.

Foto 12 - Affioramento della Argille marnose del Torrente Scumalatte (ASM) a Ovest del centro abitato di San Vincenzo la Costa; nella foto sono chiaramente visibili le forme di erosione di tipo calanchivo che spesso interessano questa unità ed il contatto erosivo con i soprastanti depositi alluvionali terrazzati.

Tale unità poggia in discordanza sulle Arenarie di Paola (**RPL**) e sulle Argille marnose del Torrente Lavandaio (**ALD**). Lateralmente e verso il basso passa localmente ai Conglomerati di San Sisto dei Valdesi (**CSS**), mentre lateralmente e verso l'alto passa alle più recenti Sabbie di Mandrigli (**SMD**). Queste ultime, sono spesso intercalate all'interno della successione pelitica, secondo corpi sia tabulari che lentiformi di notevole estensione.

8.2.4.2 Sabbie di Mandrigli

La presente unità affiora abbastanza diffusamente nella porzione centro-orientale dell'area di intervento, poco a Est dei centri abitati di San Sisto dei Valdesi e San Vincenzo la Costa. Nei restanti settori, questi depositi sono generalmente intercalati all'interno della sequenza plio-pleistocenica o ricoperti dai terreni più recenti e, pertanto, non si rinvengono mai in affioramento.

Litologicamente questi terreni sono composti da sabbie e sabbie limose di colore grigio, bruno chiaro e rossastro (**SMD**), a stratificazione ben definita, localmente a piccoli ciottoli (Foto 13); sono presenti frequenti intercalazioni di arenarie tenere di colore giallastro, a cemento prevalentemente calcareo; talora si rinvengono piccole lenti di conglomerati poligenici e sottili livelli di argille limose grigio. I macrofossili sono generalmente abbondanti, mentre lo spessore massimo è di circa 60 m. Dal punto di vista temporale, l'unità è interamente riferibile al Pleistocene inferiore.

Foto 13 - Affioramento delle Sabbie di Mandrigli (SMD) lungo la S.P. n.91, in località Mandrigli, poco a Est del centro abitato di San Vincenzo la Costa.

Tali depositi passano lateralmente e verso il basso alle Argille marnose del Torrente Scumalatte (**ASM**), mentre verso l'alto sono ricoperte in continuità stratigrafica dalle più recenti Argille limose del Torrente Settimo (**ATS**). Spesso tale unità si presenta come corpi, sia tabulari che lentiformi, completamente inglobati all'interno della sequenza pelitica delle Argille marnose del Torrente Scumalatte (**ASM**).

8.2.4.3 Argille limose del Torrente Settimo

Tale unità affiora diffusamente nella porzione orientale dell'area di studio, in corrispondenza dei rilievi collinari che bordano il fondovalle del Torrente Settimo. Verso Est, l'unità viene progressivamente ricoperta dai depositi marini e continentali più recenti e, pertanto, non si rinviene direttamente in affioramento. Depositi ascrivibili a questa sequenza sedimentaria sono comunque presenti lungo il basso corso del Torrente Settimo e nel fondovalle del Fiume Crati.

Foto 14 - Affioramento della Argille limose del Torrente Settimo (ATS) a Est del centro abitato di San Vincenzo la Costa; nella foto sono chiaramente visibili le forme di erosione di tipo calanchivo, poco evolute, che spesso interessano questa unità ed il contatto erosivo con i soprastanti depositi delle Sabbie e conglomerati di Cozzo di Mola (SCM).

Dal punto di vista litologico, l'unità è composta da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio e grigio-azzurro (**ATS**), a stratificazione poco evidente e frattura concoide, localmente con abbondanti clasti eterometrici di natura metamorfica, con frequenti intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio; a luoghi si rinvengono passaggi decimetrici di sabbie e sabbie limose grigie, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate.

Localmente sono presenti lenti olistostromiche di argilliti fogliettate e scisti argillitici grigio-nerastri (**ATSa**). La microfauna è a foraminiferi bentonici e planctonici, spesso in associazione con ostracodi, radiolari e frammenti di macrofossili. La successione presenta uno spessore massimo di circa 160 m ed è ascrivibile al Pleistocene inferiore.

I suddetti terreni poggiano stratigraficamente sulle Sabbie di Mandrigli (**SMD**), a cui sono localmente eteropici. Lateralmente e verso l'alto passano alle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (**SCM**) e alle Sabbie e conglomerati di Destra Comune (**SDC**). In particolare, gli orizzonti psammitici delle Sabbie di Mandrigli (**SMD**) costituiscono il livello che segna il passaggio stratigrafico tra la successione pelitica plio-pleistocenica (**ASM**) e quella del Pleistocene inferiore (**ATS**).

8.2.4.4 Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola

Questi terreni si rinvengono nei settori orientali dell'area di interesse, lungo i rilievi basso-collinari che bordano il margine occidentale del Bacino del Crati. I maggiori affioramenti si rinvengono a Nord del fondovalle del Torrente Settimo, tra località Cozzo della Mola e Coscarelle, mentre un affioramento meno esteso (ma direttamente interferente col tracciato di progetto) si rinviene in località Giacomina.

Foto 15 – Affioramento delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (SCM), in località Coscarelle, alcuni km ad Est del comune di San Vincenzo la Costa.

Si tratta di sabbie e conglomerati generalmente fini di colore bruno-rossastro (**SCM**), a stratificazione mal definita e talora incrociata (Foto 15), con locali intercalazioni di arenarie di colore giallastro a cemento calcareo e limi argillosi di colore grigio; alla base della successione si rinviene un livello di conglomerati grossolani ricchi di livelli sabbiosi di colore rossastro, trasgressivi sui depositi più antichi. Localmente, sono presenti macrofossili. L'unità presenta uno spessore massimo di circa 60 m ed è ascrivibile al Pleistocene inferiore.

La presente unità è generalmente intercalata all'interno delle Argille limose del Torrente Settimo (**ATS**), anche se localmente si rinviene anche al tetto della successione pelitica. Localmente, come ad esempio in località Donnandrea, l'unità è ricoperta stratigraficamente dai depositi grossolani delle Sabbie e conglomerati di Destra Comune (**SDC**).

8.2.4.5 Sabbie e conglomerati di Destra Comune

Questi depositi si rinvengono frequentemente nei settori più orientali dell'area di interesse, in corrispondenza dei rilievi basso-collinari che bordano i fondovalle del Fiume Crati e del Torrente Settimo. Questi depositi non interessano direttamente le opere in progetto, in quanto si rinvengono sempre esternamente all'asse del tracciato ferroviario in esame.

Foto 16 - Affioramento delle Sabbie e conglomerati di Destra Comune (SDC) lungo il fondovalle del Torrente Settimo, in corrispondenza della Cava di inerti di località Donnandrea.

In generale, si tratta di sabbie grossolane di colore bruno chiaro e rossastro (**SDC**), a stratificazione mal definita, con locali livelli di sabbie fini discretamente cementate; localmente si rinvengono sottili intercalazioni di argille limose grigio-azzurre e lenti di conglomerati grigi (Foto 16), più abbondanti verso l'alto. La microfauna a foraminiferi è ricca e variata, spesso in associazione con ostracodi e frammenti di macrofossili. L'unità presenta uno spessore massimo di circa 100 m ed è interamente riferibile al Pleistocene inferiore.

Questa unità poggia sulle Argille limose del Torrente Settimo (**ATS**), a cui è localmente eteropica anche lateralmente. Verso l'alto, la successione è ricoperta in discordanza erosiva dai differenti depositi continentali quaternari presenti lungo tutta la valle del Fiume Crati e del Torrente Settimo.

8.2.5 Successioni marine quaternarie

Le successioni marine quaternarie sono rappresentate da due distinte unità, diffusamente affioranti lungo la costa tirrenica, a Sud del centro abitato di Paola. Locali affioramenti si rinvengono, inoltre, in corrispondenza delle parti sommitali dei rilievi basso collinari che bordano i fondovalle del Fiume Crati e del Torrente Settimo.

8.2.5.1 Depositi marini terrazzati

Questi depositi si rinvengono diffusamente nei settori occidentali dell'area di studio, lungo le diverse superfici terrazzate presenti nella zona compresa tra il litorale tirrenico e il margine occidentale della Catena Costiera. Lembi di ridotta estensione si rinvengono inoltre nella zona più orientale dell'area di studio, lungo i rilievi basso collinari che bordano i fondovalle del Fiume Crati e del Torrente Settimo.

Sotto il profilo litologico si tratta di ghiaie poligeniche ed eterometriche (**gn**), da sub-arrotondate ad arrotondate, spesso appiattite, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone, grigio-rossastro e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio, marrone e giallastro, a stratificazione indistinta o incrociata, con diffuse ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, talora appiattite; localmente sono presenti passaggi sabbioso-ghiaiosi debolmente cementati, lenti di conglomerati poligenici e intercalazioni di limi argilloso-sabbiosi di colore marrone e giallastro. L'unità presenta uno spessore massimo di circa 48 ed è riferibile all'intervallo Pleistocene medio – Pleistocene superiore.

Lungo il litorale tirrenico, questa unità poggia in discordanza sugli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**), sulle Filladi di San Giovanni (**FSG**), sulle Arenarie di Paola (**RPL**) e sulle Argille marnose del Torrente Lavandaio (**ALD**), mentre nel Bacino del Crati poggia sempre sui terreni delle Sabbie e conglomerati di Destra Comune (**SDC**). Lateralmente risulta talora eteropica ai coevi Depositi alluvionali terrazzati (**bn**), mentre verso l'alto è ricoperta dai vari depositi continentali e marini olocenici.

Foto 17 - Affioramento di Depositi marini terrazzati (gn) a monte della S.S. n.18, all'altezza di località Petraro.

8.2.5.2 Depositi marini attuali e recenti

Tale unità affiora lungo tutto il litorale tirrenico, tra il centro abitato di Paola a Nord e quello di San Lucido a Sud. Questi depositi si esterno a ridosso della linea ferroviaria esistente, che divide il settore interno attualmente inattivo e quello più esterno in piena evoluzione. La morfologia dei depositi risulta fortemente condizionata dalla presenza di infrastrutture antropiche e di scogliere in pietra.

Foto 18 - Vista panoramica della spiaggia tirrenica a Sud di Paola e dei relativi depositi marini attuali (g2).

Dal punto litologico, l'unità è composta da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**g2**), da sub-arrotondate ad arrotondate, spesso appiattite, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio, marrone e giallastro (Foto 18), a stratificazione indistinta o incrociata, con diffuse ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, talora appiattite. L'unità è caratterizzata da uno spessore massimo di circa 18 m ed è ascrivibile al periodo Olocene – Attuale.

Tali depositi poggiano in discordanza stratigrafica sui Depositi marini terrazzati (**gn**), mentre non si hanno indicazioni di un appoggio diretto sulle unità del substrato. Localmente, in corrispondenza delle principali aste fluviali dell'area e delle relative conoidi di deiezione, questi terreni risultano parzialmente eteropici ai Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**).

8.2.6 Successioni continentali quaternarie

Le successioni continentali quaternarie sono rappresentate da quattro distinte unità, ampiamente affioranti in tutta l'area di studio in copertura su tutti i termini litologici più antichi. Le principali aree di affioramento corrispondono, ovviamente, al settore costiero tirrenico e ai fondovalle dei maggiori corsi d'acqua dell'area, come il Fiume Crati e il Torrente Settimo.

8.2.6.1 Depositi alluvionali terrazzati

Questa unità è composta da depositi continentali di canale fluviale, argine e conoide alluvionale, affiorante ampiamente alla base del versante occidentale della Catena Costiera. Ulteriori lembi di terrazzi, meno continui ed estesi, si rinvengono nel settore centrale dell'area di studio, in corrispondenza dei versanti collinari che fungono da raccordo tra i settori di catena e il Bacino del Crati.

Foto 19 - Affioramento dei Depositi alluvionali terrazzati (bn) lungo la S.P. n.94, immediatamente a valle del Cimitero comunale di San Sisto dei Valdesi.

Tali depositi sono composti da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**bn**), da sub-arrotondate ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore giallastro e bruno-rossastro, da scarsa ad abbondante (Foto 19); a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con diffuse ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate; talora sono presenti blocchi di natura metamorfica e intercalazioni di argille limose e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone, grigio e verdastro. Questa unità presenta uno spessore massimo di circa 20 m ed è riferibile all'intervallo Pleistocene medio – Pleistocene superiore.

I presenti terreni poggiano in discordanza su buona parte delle unità geologiche più antiche e verso la costa, sono localmente eteropici ai coevi Depositi marini terrazzati (**gn**). Verso l'alto risultano talora ricoperti da lembi più o meno estesi dei depositi continentali e marini più recenti, come i Depositi detritico-colluviali (**b2**) ed i Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**).

8.2.6.2 Depositi alluvionali attuali e recenti

La presente unità si rinviene diffusamente in corrispondenza dei principali corsi d'acqua dell'area, come il Fiume Crati ed il Torrente Settimo, per lo più in lembi di limitato spessore ed estensione. Localmente, allo sbocco delle principali aste torrentizie nelle maggiori piane alluvionali, questi depositi formano conoidi di deiezione con geometriche e dimensioni variabili

Foto 20 - Lembo di Depositi alluvionali attuali (bb) presenti lungo il corso del Torrente Settimo, all'altezza del nucleo rurale di Settimo Superiore.

Nei settori montuosi e nelle aree di canale, questi depositi sono costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**bb**), da sub-arrotondate ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e giallastro, generalmente abbondante (Foto 20); nei settori collinari e nelle piane di esondazione, invece, questi depositi sono formati da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro (**bb**), a struttura indistinta, con locali ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvengono intercalazioni di argille limose e limi argilloso-sabbiosi di colore giallastro e grigio-verdastro. L'unità mostra uno spessore massimo di circa 10 m ed è ascrivibile al periodo Olocene – Attuale.

I presenti depositi poggiano, presumibilmente in discordanza, su buona parte dei termini litologici più antichi e, solo localmente, risultano ricoperti da coltri di copertura di genesi detritico-colluviale (**b2**). In prossimità della costa, a Sud del centro abitato di Paola, i suddetti terreni risultano parzialmente eteropici ai coevi Depositi marini attuali e recenti (**g2**).

8.2.6.3 Depositi detritico-colluviali

Questa unità è costituita da depositi di versante, dilavamento e alterazione del substrato, localmente deformati o mobilizzati per frana. Affiorano diffusamente in tutta l'area di studio, a copertura di tutte le unità geologiche precedentemente descritte. I maggiori accumuli si rinvengono comunque alla base dei versanti o all'interno di depressioni impluviali.

Nei settori montuosi questi depositi sono formati da ghiaie poligeniche e fortemente eterometriche (**b2**), da angolose a sub-angolose, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e marrone-rossastro, generalmente abbondante; nei settori collinari e nelle zone alluvionali tali depositi sono composti da limi argilloso-sabbiosi e sabbie limose di colore grigio, marrone e giallastro (**b2**), a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e locali ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaioso-limose di colore grigio e marrone. L'unità è caratterizzata da uno spessore massimo di circa 6 m ed è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

L'unità in questione poggia in discordanza su tutte le unità geologiche più antiche e, solo localmente, risulta eteropica con i depositi continentali e marini quaternari. Il contatto è generalmente netto ed evidente, anche se può risultare sfumato lì dove le coltri derivano dall'alterazione dell'orizzonte litologico più superficiale.

8.2.6.4 Riporti antropici

Questi depositi si rinvengono localmente in corrispondenza delle maggiori aree urbanizzate e delle principali infrastrutture a rete. In particolare, i maggiori accumuli di riporti antropici si rinvengono in corrispondenza delle linee ferroviarie esistenti, sia lungo la costa tirrenica che nei settori interni.

Sono composti da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**h**), da angolose a sub-arrotondate, in matrice sabbioso-limosa di colore marrone, grigio e bruno-rossastro, da scarsa ad abbondante (Foto 21); a luoghi si rinvengono passaggi di limi sabbiosi giallastri, lenti di sabbie ghiaiose grigie e livelli di limi argilloso-sabbiosi con ciottoli e frammenti di laterizi. L'unità presenta uno spessore massimo di circa 5 m ed è riferibile al periodo Attuale.

L'unità in questione poggia in discordanza su tutte le unità geologiche più antiche e, in particolare, sui depositi marini e continentali quaternari. Localmente, i terreni antropici possono risultare parzialmente frammisti o eteropici a depositi recenti di natura marina, alluvionale e detritico-colluviale.

Foto 21 – Riporti antropici (h) in corrispondenza del rilevato ferroviario della linea "Paola-Cosenza", presso Settimo.

8.3 Assetto strutturale

Dal punto di vista strutturale, l'area di studio è caratterizzata da un assetto piuttosto articolato ed eterogeneo, dovuto essenzialmente alla complessa evoluzione tettonica subita da questo settore di territorio a partire dal Cretacico. In generale, in questo settore è possibile distinguere due importanti domini strutturali, caratterizzati da serie litologiche e stili deformativi profondamente differenti tra loro: il settore montuoso della Catena Costiera e il settore collinare del Bacino del Crati.

8.3.1 La Catena Costiera

I settori montuosi della Catena Costiera sono caratterizzati dalla presenza di strutture tettoniche di origine distensiva, compressiva e trascorrente, che segmentano le unità cristallino-metamorfiche del dominio calabro in blocchi di modesta estensione. In linea di massima, le faglie distensive e trascorrenti ad alto angolo mostrano una

chiara correlazione con i principali elementi geomorfologici del territorio, contrariamente a quanto avviene per le strutture compressive, che raramente si riflettono in forme superficiali di particolare rilevanza.

I diversi sovrascorrimenti individuati sono suddivisibili in due grossi gruppi, con caratteristiche ed età sensibilmente differenti. I *thrust* più antichi, probabilmente connessi alle fasi iniziali di strutturazione della catena, presentano delle orientazioni circa N-S e dei piani a basso angolo sempre immergenti verso Ovest. Tali strutture si collocano nelle porzioni più profonde della catena e, quindi, sono responsabili della sovrapposizione dei termini filladici su litotipi sia scistosi che filladici, sempre riferibili al dominio calabro.

I *thrust* più recenti, al contrario, sono situati nelle porzioni più superficiali della catena e sono correlabili, molto probabilmente, con le spinte compressive più recenti che hanno interessato questa porzione dell'Arco Calabro. Presentano delle direzioni circa N-S, o al più NNE-SSW, e dei piani a basso angolo immergenti sia verso Est che verso Ovest. Queste strutture sono responsabili, in generale, della sovrapposizione dei termini gneissici sui litotipi filladi e scistosi del dominio calabro.

Foto 22 - Vista di una faglia diretta, con relativa fascia cataclastica, che ha interessato gli Gneiss di Cozzo Luparello (GCL) presenti lungo la S.P. n.35, a SE del centro abitato di Paola.

In linea di massima, le strutture distensive presentano un orientamento circa N-S, talora NNW-SSE, NW-SE o NNE-SSW, con piani ad alto angolo mediamente immergenti verso i settori esterni della catena. Queste strutture sono spesso associate a fasce intensamente fratturate e deformate, talora milonitizzate o completamente cataclasate (Foto 22). Le principali zone di deformazione tettonica si rinvengono lungo i margini della Catena Costiera, dove sono presenti le faglie bordiere più importanti ed estese.

Lungo il margine occidentale della Catena Costiera, infatti, le faglie dirette risultano generalmente immergenti verso Ovest e tendono a ribassare i terreni cristallino-metamorfici del dominio calabro verso il *graben* di Paola. Nei settori orientali della catena, invece, le faglie normali risultano generalmente immergenti verso Est, e solo localmente verso Ovest, costituendo nel complesso un sistema a gradinata che ribassa i terreni cristallino-metamorfici paleozoici verso il Bacino del Crati. Tali strutture tagliano in maniera evidente tutti gli allineamenti tettonici più antichi e, localmente, sono connesse a *graben* di limitata estensione anche nei settori più interni della Catena Costiera.

Inoltre, lungo il margine occidentale della Catena Costiera, sono presenti faglie inverse ad alto angolo, generalmente orientate NNW-SSE ed immergenti ad ENE, che tendono a rialzare i terreni cristallino-metamorfici del dominio calabro verso il *graben* di Paola. Queste strutture, insieme a quelle distensive, tagliano in modo evidente gli elementi tettonici più antichi costituiti principalmente dai sovrascorrimenti.

Infine, si rinvengono strutture tettoniche trasversali che segmentano ulteriormente i grossi blocchi strutturali definiti dalle faglie dirette precedentemente descritte. Si tratta, in particolare, di faglie sub-verticali ad asse circa E-W, SW-NE e NW-SE caratterizzate da cinematismi sia diretti che trascorrenti. Tali elementi sono, in genere, difficilmente identificabili sul terreno e risultano spesso associati ai principali corsi d'acqua che tagliano tutti i rilievi montuosi presenti.

Per quanto concerne l'assetto giaciturale, i litotipi cristallino-metamorfici affioranti lungo la Catena Costiera sono caratterizzati dalla presenza di numerose strutture plicative, riconducibili a differenti processi deformativi della catena. Le pieghe individuate, pertanto, mostrano assi e raggi di curvatura estremamente variabili e difficilmente inquadrabili in uno schema generale.

8.3.2 Il Bacino del Crati

I settori collinari del Bacino del Crati sono caratterizzati, essenzialmente, da strutture tettoniche di origine distensiva, particolarmente evidenti nella porzione più occidentale dell'area, a ridosso della Catena Costiera. Tali strutture influenzano localmente l'assetto morfologico dell'area anche se, a causa della forte erodibilità dei litotipi affioranti, non si rileva una relazione diretta tra forme del rilievo e lineamenti tettonici come per le aree di affioramento dei terreni cristallino-metamorfici.

Le strutture distensive presentano, in generale, un orientamento circa N-S e NNW-SSE anche se non mancano allineamenti strutturali differenti. Le faglie dirette più importanti sono caratterizzate da piani ad alto angolo immergenti verso Est, con rigetti stratigrafici variabili da alcune decine a qualche centinaio di metri. Spesso le faglie costituiscono dei sistemi a gradinata che ribassano le unità più recenti verso il centro del bacino.

Nei settori più occidentali del bacino, queste strutture sono responsabili della giustapposizione dei litotipi cristallino-metamorfici della Catena Costiera con i depositi tortoniani e plio-pleistocenici del Bacino del Crati. Nei settori più interni invece, a ridosso del centro abitato di San Vincenzo la Costa, queste faglie mettono in contatto i depositi marini tortoniani con le sequenze sedimentarie plio-pleistoceniche.

Nell'area compresa tra il bordo orientale della Catena Costiera ed il centro abitato di San Vincenzo la Costa sono presenti, inoltre, alcune faglie antitetiche che determinano la formazione di un *graben* secondario lungo il bordo occidentale del Bacino del Crati. Tali strutture, comunque connesse al sistema di faglie dirette che interessa l'area, presentano una direzione circa NNE-SSW e piani mediamente immergenti verso WNW.

In particolare, tutte le strutture distensive appena descritte, insieme alla faglia bordiera della Catena Costiera, fanno parte dell'allineamento strutturale di "*S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano*" (Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Sorriso-Valvo et al. 1996; Tansi & Fòlino Gallo 2006). Questa faglia, che mostra fasce di deformazione tettonica talora prossime ai 500 metri, rappresenta un lineamento tettonico attivo di particolare rilevanza per tutto il settore di studio, in quanto sede di numerosi terremoti storici di particolare rilevanza (Tansi et al. 2007).

Ai suddetti elementi si associano, ancora una volta, faglie inverse ad alto angolo, generalmente orientate NW-SE ed immergenti ad ENE, o più localmente con direzione NE-SW ed immergenti a NW, che tendono a rialzare i depositi tortoniani e plio-pleistocenici del Bacino del Crati.

Inoltre, sono presenti una serie di faglie secondarie circa trasversali all'asse del bacino, che complicano ulteriormente i rapporti stratigrafici e tettonici delle differenti unità affioranti. Si tratta, in particolare, di faglie sub-verticali ad asse NW-SE e NE-SW, caratterizzate da cinematismi prevalentemente diretti e rigetti stratigrafici generalmente modesti.

Per quanto riguarda l'assetto giaciturale, i termini litologici affioranti in questo settore sono caratterizzati da un andamento piuttosto regolare ed omogeneo, con estesi rilievi monoclinalici solo parzialmente interessati da strutture plicative ad ampio raggio di curvatura. Strutture plicative su piccola scala possono invece ritrovarsi in corrispondenza delle strutture tettoniche più importanti, soprattutto di tipo distensivo.

Nel dettaglio, i depositi marini tardo-miocenici affioranti lungo il margine occidentale del bacino, sono caratterizzati da superfici di strato debolmente immergenti verso est, con inclinazioni generalmente inferiori ai 25°. Talora, lungo il margine occidentale delle dorsali più estese, sono comunque presenti alcune strutture plicative ad ampio raggio che provocano la formazione di estese anticlinali ad asse circa N-S o NNE-SSW.

Infine, i depositi marini plio-pleistocenici presenti nei settori centrali del Bacino del Crati sono caratterizzati da un assetto monoclinalico, con superfici di strato generalmente sub-orizzontali o debolmente immergenti verso est. Le strutture plicative risultano rare e piuttosto limitate, in quanto confinate ai settori di territorio direttamente interessati dalle principali strutture distensive dell'area.

9 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE

La morfologia superficiale del territorio in esame risulta condizionata dalle caratteristiche litologiche dei litotipi affioranti e dal particolare assetto geologico-strutturale dell'area (Sorriso-Valvo et al. 1996). Quest'ultimo, in particolare, è strettamente legato al sollevamento del *Horst* della Catena Costiera (Tansi 1993; Pennetta 1996) che ha prodotto, in tutta l'area di interesse, costanti incrementi dell'energia di rilievo e marcati approfondimenti del reticolo idrografico locale (Sorriso-Valvo et al. 1996).

9.1 Caratteristiche strutturali e tettoniche

I settori di affioramento dei terreni cristallino-metamorfici del dominio calabro sono caratterizzati, generalmente, da versanti molto acclivi e con profilo prevalentemente rettilineo o convesso (Sorriso-Valvo et al. 1996). Tali pendii, a loro volta, sono intagliati da numerose valli trasversali, strette e profondamente incise (Figura 24), che indicano un forte sollevamento di tutto il settore della Catena Costiera (Tansi 1993; Pennetta 1996).

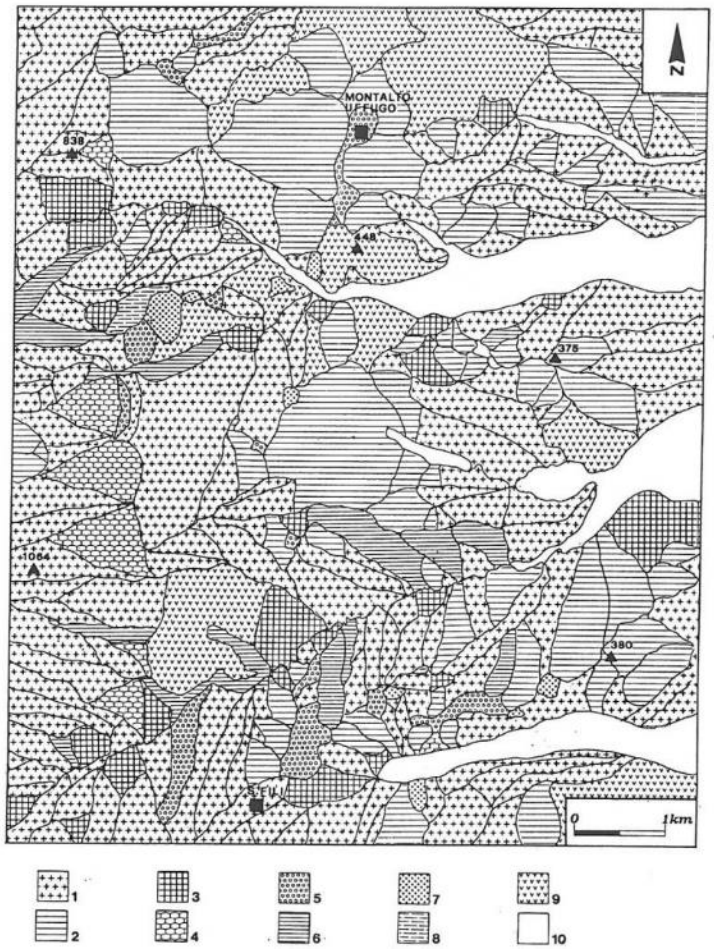


Figura 24 – Carta delle unità morfologiche elementari lungo il margine occidentale del Bacino del Crati: 1) versanti, 2) testate, 3) nasi, 4) faccette triangolari, 5) altopiani e terrazzi, 6) valloni, 7) picchi, 8) creste, 9) aree irregolari, 10) aree piane vallive (da Sorriso-Valvo et al. 1996).

In questi settori, le diverse strutture distensive presenti hanno generato faccette triangolari ed estesi versanti di faglia (Tansi et al. 2016), resi spesso discontinui da movimenti di massa e fenomeni erosivi (Sorriso-Valvo et al. 1996; Muto et al. 2003). Ad essi si aggiungono una serie di selle e picchi isolati allineati in corrispondenza delle direttrici tettoniche principali (Sorriso-Valvo et al. 1996), generalmente orientate in direzione N-S, E-W, NW-SE e NE-SW (Tansi 1993).

Nei settori di affioramento delle rocce gneissiche, i crinali sono caratterizzati da uno sviluppo in pianta prevalentemente rettilineo e a forte controllo strutturale (Tansi 1993). I versanti sono invece contraddistinti da numerose discontinuità altimetriche, quali gradini e zone di sella, spesso di natura tettonica (Tansi 1993; Sorriso-Valvo et al. 1996).

Le aree di affioramento dei depositi post-orogenici presentano, al contrario, una morfologia relativamente dolce, solo localmente interrotta da versanti ad elevata acclività (Sorriso-Valvo et al. 1996). Il profilo dei rilievi è generalmente rettilineo, ma talora variabile e con marcate rotture di pendenza nei settori di affioramento di terreni a differente comportamento meccanico (Tansi 1993; Sorriso-Valvo et al. 1996).

In generale, i litotipi argillosi sono caratterizzati da una sensibile irregolarità nei profili, dovuta essenzialmente alle precarie condizioni di stabilità dei versanti (Sorriso-Valvo et al. 1996). Tipiche sono anche le depressioni e le montonature legate a collassi gravitativi per dissoluzione dei gessi, che rendono ancor più variegata la morfologia dei versanti (Tansi 1993). Altri elementi morfologici che caratterizzano i settori di affioramento dei depositi post-orogenici sono i delta-conoidi (Colella 1987) e gli accumuli detritici d'origine gravitativa (Tansi 1993), piuttosto sviluppati soprattutto lungo il margine occidentale del Bacino del Crati.

Le faglie trascorrenti si identificano morfologicamente con i principali corsi d'acqua che attraversano l'area (Tansi 1993; Tansi et al. 2016) e risultano in gran parte coperte dai depositi alluvionali (Sorriso-Valvo et al. 1996). I *thrust*, invece, intersecano i crinali con superfici inclinate di circa 30-40°, che determinano un caratteristico andamento del reticolo idrografico a "spina di pesce" (Sorriso-Valvo et al. 1996).

9.2 Caratteristiche dei principali sistemi fluviali

Il territorio in esame è ricco di corsi d'acqua con bacini molto estesi e ramificati, drenanti sia verso il litorale tirrenico che in direzione del fondovalle del Fiume Crati. Tali bacini sono caratterizzati da un assetto morfologico piuttosto articolato, connesso sia all'azione geodinamica della Catena Costiera che alla natura litologica delle diverse unità affioranti.

Nei settori di affioramento di termini litologici prevalentemente lapidei, il reticolo idrografico presenta un *pattern* per lo più angolato, soggetto ad un forte controllo strutturale per l'influenza combinata dei vari sistemi di dislocazione e di discontinuità (Tansi 1993; Tansi et al. 2016). Nell'area di affioramento dei termini litologici prevalentemente terrigeni, al contrario, l'idrografia superficiale mostra un *pattern* sub-dendritico, che mette in evidenza i frequenti adattamenti strutturali dei corsi d'acqua ed i locali fenomeni di "cattura" (Tansi 1993).

Le aste fluviali sono generalmente fitte e con una marcata tendenza all'approfondimento (Sorriso-Valvo et al. 1996), essenzialmente a causa dell'intenso sollevamento quaternario dell'area (Tansi 1993). In virtù di tale condizione, il reticolo principale risulta generalmente sovraimposto nelle aree di affioramento dei depositi sedimentari, mentre è adattato strutturalmente nelle zone montane, salvo locali fenomeni di antecedenza rispetto alle faglie N-S (Sorriso-Valvo et al. 1996).

9.3 Caratteristiche delle zone litorali

Il litorale tirrenico della Calabria è stato interessato da un'evoluzione plio-pleistocenica differenziata e piuttosto articolata (Damiani & Pannuzzi 1978; Pennetta 1996). Tutto il settore costiero risulta caratterizzato dalla presenza di differenti ordini di terrazzi, dovuti essenzialmente alle fasi di sollevamento regionale verificatesi a partire da circa 1.1 Ma (Pennetta 1996).

I settori compresi tra Maratea e Cetraro, a Nord di Paola, sono caratterizzati dalla presenza di sei ordini di terrazzi, talora suddivisibili in numerosi sottordini (Damiani & Pannuzzi 1978; Pennetta 1996). La loro analisi ha permesso di dividere l'area in numerose zone caratterizzate da un comportamento tettonico differenziato, con evidenti basculamenti verso NNW (Damiani & Pannuzzi 1978; Carobene & Dai Pra 1990; Pennetta 1996). I singoli terrazzi, che spesso risultano difficilmente distinguibili per la presenza di spesse coltri di copertura, presentano una naturale inclinazione verso il mare e, quindi, delle importanti variazioni plano-altimetriche (Damiani & Pannuzzi 1978).

Infine, lungo tutto il tratto a nord di Paola è presente una antica linea di costa posta circa 2 m al di sopra dell'attuale livello marino, attribuibile alla trasgressione versiliana (Brancaccio & Vallario 1968; Carobene & Dai Pra 1990). Questa antica linea di costa è localmente visibile anche nella zona costiera di Paola e San Lucido, anche se spesso risulta obliterata dalle numerose opere antropiche presenti nell'area.

9.4 Caratteristiche dei fenomeni erosivi

I fenomeni erosivi risultano più spinti nei settori centrali dell'area di studio dove sono presenti numerosi corsi d'acqua con una marcata tendenza all'approfondimento (Sorriso-Valvo et al. 1996), dovuta essenzialmente al maggior tasso di sollevamento tettonico della catena (Tansi 1993; Pennetta 1996). Nei settori esterni invece, a causa della diminuzione dell'energia cinetica, i corsi d'acqua presentano solo una debole tendenza all'approfondimento e, pertanto, i fondovalle sono generalmente caratterizzati da estese piane alluvionali con importanti coperture quaternarie (Tansi 1993).

Lungo i versanti, le forme erosive più comuni sono rappresentate dai fenomeni di *gully erosion*, che interessano vistosamente tutti i depositi post-orogenici presenti lungo la costa tirrenica e nel Bacino del Crati (Tansi 1993). Ad essi si aggiungono ulteriori forme erosive di tipo calanchivo, che risultano particolarmente diffuse nei settori di affioramento dei depositi pelitici plio-pleistocenici (Tansi 1993).

9.5 Caratteristiche dei fenomeni gravitativi

L'area di studio è interessata da una diffusa instabilità dei versanti, concentrata essenzialmente lungo i margini occidentali e orientali del Bacino del Crati. I settori con il maggior numero di movimenti gravitativi ricadono in corrispondenza delle faglie principali che mettono a contatto le rocce paleo-mesozoiche della Catena Costiera e della Sila con i depositi plio-pleistocenici del Bacino del Crati (Sorriso-Valvo et al., 1996; Tansi et al. 2016). Circa il 67% dei fenomeni franosi si attiva tra i mesi di novembre e febbraio (Antronico 1994), periodo in cui cade circa il 50% del totale delle precipitazioni annue (Sorriso-Valvo et al. 1996).

Nelle aree di affioramento dei depositi clastici post-orogenici, i fenomeni gravitati sono rappresentati prevalentemente da scorrimenti rotazionali, colate e frane di tipo complesso (Sorriso-Valvo et al. 1996; Tansi et al. 2016). Tali fenomeni interessano, generalmente, le coltri di copertura o le porzioni più alterate del substrato, anche se non mancano movimenti profondi e di grandi dimensioni (Tansi et al. 2016). Spesso i movimenti franosi sono associati a fenomeni erosivi e deformazioni superficiali quali *creep* e/o soliflusso.

I settori di affioramento dei litotipi cristallino-metamorfici, al contrario dei precedenti, sono caratterizzati da basso numero di fenomeni di instabilità, riconducibili sia a fenomeni di crollo *s.l.* che a frane complesse o di scivolamento (Sorriso-Valvo et al. 1996; Tansi et al. 2016). Tali fenomeni sono dovuti, in primo luogo, allo stato di fratturazione ed alterazione degli ammassi rocciosi e, secondariamente, al sollevamento regionale della catena e alla sismicità dell'area (Tansi 1993; Tansi et al. 2016).

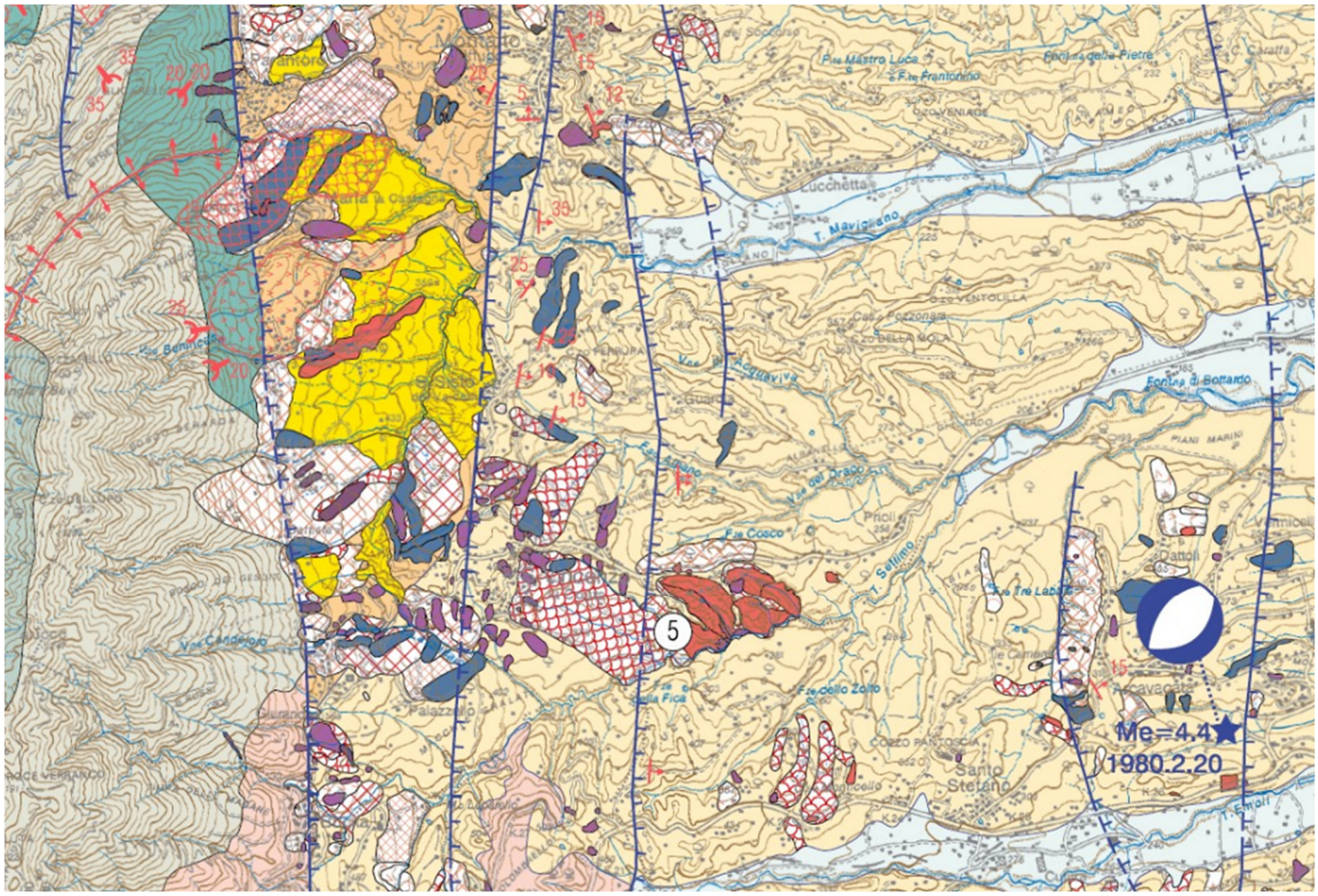


Figura 25 – Movimenti franosi e fenomeni di versante lungo il margine orientale della Catena Costiera e i sistemi di faglie normali che bordano il Bacino del Crati (da Tansi et al. 2016).

Gli studi condotti lungo il versante orientale della Catena Costiera (Figura 25) hanno evidenziato, infatti, lo stretto controllo degli elementi tettonici sulla distribuzione dei fenomeni franosi (Sorriso-Valvo et al. 1996; Sorriso-Valvo & Tansi 1996a; Tansi et al. 2016). In linea generale, quindi, è possibile riscontrare (Figura 26) una evidente diversificazione delle tipologie di frane all'interno delle fasce di fratturazione associate alle diverse strutture tettoniche presenti nell'area (Sorriso-Valvo et al. 1996).

Le fasce di debolezza strutturale, infatti, assumono un ruolo predominante nel controllo delle proprietà litotecniche dei materiali e dello sviluppo dei processi di degradazione fisico-chimica delle rocce (Carrara et al. 1982; Matano & Tansi 1994). Tra il 2008 e il 2012, il 51% dei movimenti franosi attivatosi lungo il Bacino del Crati è avvenuto in corrispondenza di fasce cataclastiche (Tansi et al. 2016). Tali zone, inoltre, sono sede di importanti processi di

erosione lineare che generano valli ad elevata energia di rilievo, condizionando l'evoluzione morfodinamica su ampia scala (Sorriso-Valvo et al. 1996).

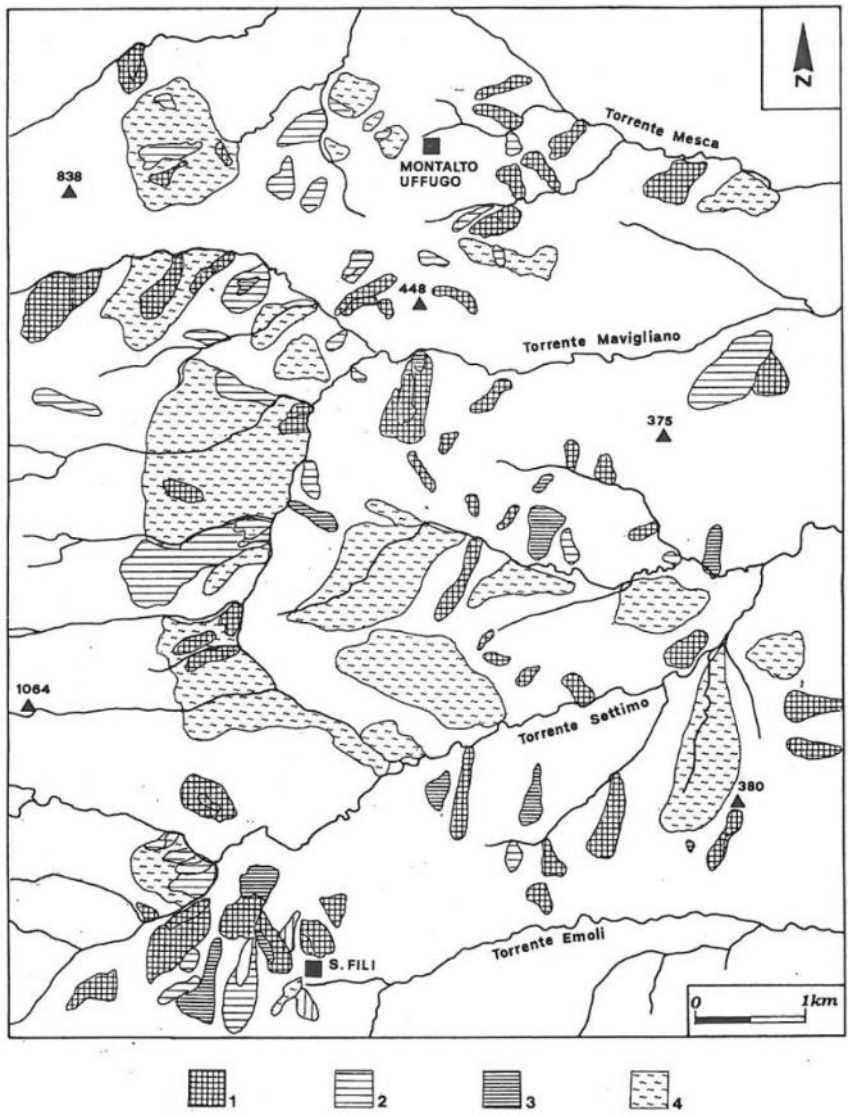


Figura 26 – Carta dei fenomeni franosi presenti lungo il margine orientale della Catena Costiera: 1) scorrimento-colata, 2) scorrimento rotazionale, 3) colata, 4) casi non classificati (da Sorriso-Valvo et al. 1996).

I movimenti franosi, quindi, possono essere favoriti sia dalla maggiore permeabilità delle fasce cataclastiche che dalle locali soglie di permeabilità prodotte dalle zone milonitiche (Sorriso-Valvo et al. 1996). In entrambe i casi, le condizioni idrogeologiche si riflettono profondamente sulla geometria del campo delle pressioni neutre dei versanti, che può risultare più o meno distorto a seconda della complessità del modello geologico-strutturale dell'area (Sorriso-Valvo et al. 1996).

In particolare, si osserva una maggiore concentrazione dei fenomeni franosi a ridosso della faglia regionale "*S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano*" (Figura 27), che ricade nei settori centrali nell'area d'interesse (Sorriso-Valvo &

Tansi 1996a; Tansi et al. 2016). Tale faglia è accompagnata, infatti, da una fascia cataclastica che raggiunge spessori fino a 500 m, lungo la quale le rocce tendono a ridursi in breccia e, talora, in farina di faglia. Tale fascia rappresenta un importante limite idrogeologico, poiché tende a richiamare le acque di circolazione sotterranea dell'imponente falda idrica contenuta all'interno delle rocce cristallino-metamorfiche della Catena Costiera (Sorriso-Valvo et al. 1996; Sorriso-Valvo & Tansi 1996a).

Figura 27 – Rapporti tra fasce di fratturazione indotte da faglie normali/trascorrenti e settori di piede di raggruppamenti di frane per la zona di S. Fili (da Sorriso-Valvo & Tansi 1996a).

Nelle fasce periferiche dei maggiori rilievi montuosi sono presenti grandi frane e deformazioni gravitative profonde di versante (Sorriso-Valvo & Tansi 1996b; Bonci et al. 2010; Tansi et al. 2016), prevalentemente impostate sui terreni cristallino-metamorfici del dominio calabro. Fenomeni di DGPV e grandi frane sono state riconosciuti, in particolare, lungo il bordo occidentale del Bacino del Crati (Sorriso-Valvo & Tansi 1996b; Tansi & Fòlino Gallo 2006; Tansi et al. 2016), nelle zone interne della Catena Costiera (Bonci et al. 2010) e lungo il versante tirrenico della Catena Costiera (Sorriso-Valvo & Tansi 1996b; Tansi et al. 2016).

L'elevata incidenza sul territorio di questo tipo di fenomeni è da mettere in relazione, essenzialmente, con l'alta energia di rilievo dei settori montuosi e con la presenza di ammassi rocciosi estremamente fratturati ed alterati (Sorriso-Valvo & Tansi 1996b; Tansi et al. 2016). In particolare, la presenza di DGPV lungo la Catena Costiera ricalca le condizioni di molte aree montuose di recente sollevamento, dove questo tipo di fenomeni è sempre molto diffuso (Discenza & Esposito 2021).

Figura 28 – Carta geomorfologica schematica della DGPV di San Lucido e della grande frana riattivata dagli eventi sismici del 1783 (Guerricchio & Ronconi 1997).

Diversi sono i movimenti franosi attivatisi a seguito di importanti eventi sismici, sia in epoca storica che recente (Murphy 1992; Guerricchio & Ronconi 1997; Chiodo et al. 1999; Tansi et al. 2016). Uno degli eventi di maggiore interesse, per estensione ed intensità, è rappresentato sicuramente dalla frana di San Lucido (Figura 28), presente a Sud del tracciato in esame (al di fuori del settore di studio). Tale fenomeno si è sviluppato in corrispondenza di una

estesa deformazione gravitativa di versante, interessando le pendici occidentali del Monte Martinella per una lunghezza complessiva di circa 2-3 km (Guerricchio & Ronconi 1997). La grande frana è stata riattivata dal terremoto delle Calabrie del 5-6 febbraio 1783 (Murphy 19992; Guerricchio & Ronconi 1997; Chiodo et al. 1999; Blumetti et al. 2015), provocando gravissimi danni al centro abitato e alle infrastrutture viarie e ferroviarie. La frana è stata accompagnata da fenomeni di liquefazione e fenomeni gravitativi localizzati, che hanno alla formazione di trincee, scarpate e laghi di sbarramento (Guerricchio & Ronconi 1997).

10 ASSETTO GEOMORFOLOGICO LOCALE

Le caratteristiche geomorfologiche dell'area risultano fortemente condizionate dall'assetto geologico del territorio e, quindi dalle caratteristiche stratigrafiche e strutturali dei termini litologici affioranti. Ad essi si aggiungono i fenomeni di modellamento superficiale che hanno agito durante tutto il Quaternario e le numerose variazioni eustatiche succedutesi nel tempo.

L'evoluzione morfologica del territorio ed i principali elementi geomorfologici rilevati, pertanto, sono direttamente connessi al deflusso delle acque correnti superficiali ed ai fenomeni gravitativi e/o erosivi agenti lungo i versanti. Ai suddetti fattori vanno aggiunti, inoltre, locali elementi di origine strutturale e marina, forme e depositi connessi con l'attività antropica ed elementi di genesi mista, dovuti all'interazione di più fattori morfologici.

Di seguito vengono descritti, nel dettaglio, i principali elementi geomorfologici presenti nell'area ed i relativi fattori morfoevolutivi, con esplicito riferimento a quanto riportato nelle cartografie tematiche allegate alle presenti note di sintesi.

10.1 Elementi idrografici

I settori montuosi della Catena Costiera e quelli collinari o sub-pianeggianti del Bacino del Crati presentano delle caratteristiche geomorfologiche ed idrografiche profondamente differenti tra loro. Tali caratteristiche sono dovute, essenzialmente, alla forte influenza esercitata dall'assetto geologico-strutturale dell'area e dalla sua evoluzione geomorfologica sul reticolo idrografico locale.

Nei settori collinari del Bacino del Crati, infatti, il reticolo idrografico locale presenta uno sviluppo molto articolato ed un *pattern* per lo più sub-dendritico, che segue almeno in parte le direttrici tettoniche principali. Nei settori montuosi della Catena Costiera, al contrario, il reticolo idrografico mostra uno sviluppo più regolare e meno articolato, con un *pattern* generalmente angolato o sub-angolato che ricalca, in maniera piuttosto evidente, le principali direttrici strutturali dell'area.

La struttura della rete idrografica, pertanto, risulta fortemente condizionata sia dalla natura litologica del substrato che dagli elementi strutturali che lo hanno interessato. Il reticolo idrografico, infatti, si presenta più esteso ed articolato nei settori di affioramento di litotipi a dominante pelitica mentre è meno articolato, con andamento sub-rettilineo, nelle aree di affioramento di termini litologici prevalentemente litoidi.

Nei settori orientali dell'area di studio, la principale linea di deflusso idrico superficiale è rappresentata dal Fiume Crati, un importante corso d'acqua a carattere perenne che scorre nell'ampia depressione strutturale posta tra i rilievi montuosi della Sila e della Catena Costiera. Il Fiume Crati nasce ai piedi della Sila dal Timpone Bruno (1742 m s.l.m.), nel comune di Aprigliano, e si sviluppa per circa 91 km in direzione prima verso Nord e, quindi, verso NE. Dopo aver ricevuto la confluenza del Fiume. Coscile, nella piana di Sibari, sfocia nel Golfo di Taranto all'altezza di Corigliano Calabro.

Il Torrente Settimo (Foto 23), invece, ha origine dai rilievi più orientali della Catena Costiera e si estende per circa 18 km in direzione WSW-ENE, fino alla confluenza col Fiume Crati. Ai suddetti elementi idrografici, che costituiscono i principali assi di drenaggio superficiale del Bacino del Crati, si aggiungono diversi corsi d'acqua secondari, a carattere marcatamente stagionale e/o torrentizio, e numerosi solchi da ruscellamento concentrato attivi solo in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi e severi.

Foto 23 - Vista panoramica dell'alveo del Torrente Settimo nei settori più orientali dell'area di studio, in località Destra Comune.

Nei settori occidentali dell'area di studio, grossomodo corrispondenti alla fascia litoranea a sud di Paola ed ai rilievi montuosi della Catena Costiera, non sono invece presenti elementi idrografici di particolare importanza ed estensione. Il reticolo idrografico superficiale, pertanto, è caratterizzato unicamente da corsi d'acqua secondari con regime marcatamente stagionale e/o torrentizio, con portate estremamente variabile e fortemente condizionate da regime delle piogge.

Gli alvei presentano un andamento grossomodo ortogonale a quello della Catena Costiera, mentre l'unico recapito delle acque superficiali è rappresentato dal Mar Tirreno. Ad essi si aggiungono, inoltre, frequenti vallecole e solchi di erosione concentrata, generalmente ortogonali alle principali aree impluviali e attivi solo in concomitanza con gli eventi meteorici più importanti.

10.2 Elementi strutturali e tettonici

Un importante ruolo nell'evoluzione morfologica del territorio è svolto, ovviamente, dall'assetto strutturale dei litotipi affioranti e dal loro differente grado di erodibilità, nonchè dai numerosi elementi tettonici che interessano sia il basamento cristallino-metamorfico che i depositi di copertura post-orogenici. Questi ultimi, in particolare, risultano estremamente importanti nei settori di affioramento dei termini lapidei o pseudo-lapidei, mentre sono scarsamente conservati nella area di fondovalle e lungo i versanti dove affiorano i terreni silicoclastici tardo-cenozoici e quaternari.

Nei settori di affioramento dei depositi clastici post-orogenici, infatti, la morfogenesi selettiva ha portato allo sviluppo di forme morbide e poco marcate, con rilievi generalmente poco acclivi ed estesi frequentemente interrotti da incisioni torrentizie e ampie valli fluviali. Gli elementi strutturali presenti mostrano rigetti piuttosto contenuti e sono generalmente ricoperti da depositi di copertura recenti e, quindi, sono scarsamente influenti sulle caratteristiche morfologiche del territorio.

Nelle aree di affioramento dei litotipi cristallino-metamorfici del basamento paleozoico, al contrario, la morfogenesi selettiva ha portato allo sviluppo di forme più aspre e marcate, caratterizzate da versanti ad elevata acclività fortemente condizionati dai principali allineamenti tettonici presenti. I versanti sono generalmente piuttosto acclivi ed estesi, e spesso interrotti da importanti scarpate morfologiche o da strette valli di incisione fluviale. In questi settori gli elementi tettonici sono particolarmente evidenti, sia per la maggiore importanza delle strutture che per la migliore capacità di conservazione dei litotipi affioranti.

10.3 Forme poligeniche

L'intero settore di studio è caratterizzato dalla presenza di diversi fattori morfogenetici che interessano i terreni affioranti con intensità e caratteristiche differenti, spesso sovrapponendosi e combinandosi in vario modo tra loro. Ad essi va aggiunto, inoltre, l'importante ruolo svolto praticamente ovunque dalle caratteristiche stratigrafiche e sedimentologiche dei litotipi affioranti, nonché dagli elementi strutturali e tettonici localmente presenti.

Da questo quadro geomorfologico derivano, quindi, una serie di forme poligeniche originate dalla complessa sovrapposizione dei differenti fattori morfogenetici agenti sul territorio. Tali elementi sono rappresentati, in buona parte, da estese scarpate morfologiche di origine strutturale, attualmente in evoluzione per fenomeni di dilavamento, alterazione e di frana. Spesso, inoltre, i suddetti elementi risultano ulteriormente rielaborati dall'attività antropica, che tende a riprendere e riadattare le forme geomorfologiche più importanti già presenti sul territorio.

10.4 Forme, processi e depositi gravitativi

Nell'attuale contesto morfoclimatico, i fenomeni gravitativi di versante rappresentano un fattore morfoevolutivo di particolare importanza, in quanto fortemente influenti sul modellamento dei rilievi e sull'evoluzione geomorfologica del territorio in esame. Nello specifico, questi fenomeni risultano particolarmente diffusi nei settori più esterni della Catena Costiera e lungo il margine occidentale del Bacino del Crati, in corrispondenza dei rilievi alto collinari di raccordo con la fascia montuosa.

L'area di studio si caratterizza, infatti, per un elevato numero di movimenti di versante (deformazioni gravitative e frane *s.s.*) originati dall'azione congiunta di vari fattori quali elementi tettonici, caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali, dinamica delle acque superficiali e sotterranee e attuale utilizzo del territorio. In un tale contesto

geologico-strutturale, pertanto, le fenomenologie di dissesto seguono canali e orientazioni preferenziali dettate, in massima parte, dalla tettonica e dai fenomeni erosivi connessi al deflusso delle acque correnti superficiali. In particolare, quest'ultimo rappresenta uno dei maggiori fattori predisponenti e/o scatenanti al verificarsi di movimenti franosi, che risultano pertanto generalmente distribuiti in corrispondenza di solchi di erosione o alvei in approfondimento.

I settori di affioramento dei depositi marini post-orogenici sono caratterizzati, in generale, da un elevato numero di movimenti franosi (Foto 29), essenzialmente riconducibili a colamenti, scivolamenti e frane complesse in terra (*sensu* Varnes 1978 e Hungr et al. 2014). Lo stato è generalmente attivo o quiescente, raramente stabilizzato (*sensu* WP/WLI 1993), mentre la distribuzione di attività è per lo più retrogressiva o multidirezionale, raramente costante. Le velocità dei fenomeni sono mediamente piuttosto basse (*sensu* WP/WLI 1995), mentre le superfici di rottura si attestano, nella maggioranza dei casi, a profondità comprese tra 2 e 6 m circa dal p.c..

Foto 24 - Vista panoramica di rilievi collinari ampiamente interessati da fenomeni di dissesto, prevalentemente riconducibili a frane *s.s.* e deformazioni viscose delle coltri (*creep* e/o soliflusso). I versanti in esame si collocano nei settori centrali dell'area di studio, in località Niera, e sono costituiti essenzialmente da depositi marini plio-pleistocenici.

In particolare, nell'area compresa tra il bordo orientale della Catena Costiera ed il centro abitato di San Vincenzo la Costa, sono presenti un gran numero di movimenti franosi, spesso caratterizzati da estensione e profondità decisamente superiori a quelli che generalmente interessano i depositi marini post-orogenici. Tale situazione è dovuta, ovviamente, sia agli importanti fenomeni erosivi che interessano le aree impluviale che alla presenza della faglia attiva di "*S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano*". Tale struttura, infatti, oltre a causare eventi sismici di

particolare rilevanza, determina un marcato scadimento delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi nelle zone più tettonizzate, favorendo quindi l'evoluzione dei versanti attraverso fenomeni gravitativi di particolare importanza.

In questi settori, inoltre, in associazione ai movimenti franosi *s.s.*, sono presenti estesi fenomeni di deformazione viscosa delle coltri (*creep* e/o soliflusso). Questi processi interessano per lo più le coltri di copertura e le porzioni più superficiali ed alterate del substrato geologico dell'area e sono caratterizzati da ridotti tassi di deformazione, nell'ordine di alcuni millimetri/anno.

Foto 25 – Frana complessa in roccia al margine di un canalone in approfondimento sul versante tirrenico della Catena Costiera, a Est del centro abitato di Paola.

Nelle aree di affioramento dei termini cristallino-metamorfici del basamento paleozoico, invece, sono presenti locali fenomeni di dissesto (Foto 25) generalmente riconducibili a crolli *s.l.*, scivolamenti e frane complesse in roccia (*sensu* Varnes 1978 e Hungr et al. 2014). Lo stato è variabile dall'attivo allo stabilizzato (*sensu* WP/WLI 1993), mentre la distribuzione di attività è per lo più costante, e solo raramente retrogressiva o multidirezionale. Le velocità dei fenomeni sono mediamente piuttosto elevate (*sensu* WP/WLI 1995), soprattutto per le frane di crollo

s.l., mentre le profondità delle superfici di rottura risultano estremamente variabili in relazione al locale assetto geologico-strutturale.

In corrispondenza dei rilievi collinari situati tra la Catena Costiera e la costa tirrenica, i Depositi marini terrazzati (**gn**) e le relative coperture (**b2**) sono localmente interessati da frane complesse e scivolamenti in terra, a cinematica lenta o molto lenta (*sensu* Varnes 1978 e Hungr et al. 2014). Tali fenomeni presentano uno stato di attività variabile dal quiescente allo stabilizzato (*sensu* WP/WLI 1993), mentre la distribuzione di attività è per lo più retrogressiva o multidirezionale, raramente costante.

Uno scivolamento in terra quiescente è presente in corrispondenza della Viabilità NV07 (Foto 26), a breve distanza dal litorale tirrenico. La frana in esame è caratterizzata da uno spessore di circa 8-10 m e mostra una estesa zona di alimentazione con forma concava, che testimonia la componente rotazionale nella parte alta del pendio. Per una trattazione più estesa di tale fenomeno si rimanda a quanto riportato nei paragrafi 14.2 Criticità geomorfologiche e 15.3.7 Nuova viabilità NV07.

Foto 26 - Vista panoramica della nicchia di distacco e del terrazzo di frana nella zona di alimentazione.

Infine, in corrispondenza dei rilievi più occidentali della Catena Costiera, sono presenti fenomeni di Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV), fondamentalmente riconducibili a dei *sackung* (*sensu* Zischinsky 1966; Hutchinson 1988; Discenza & Esposito 2021). Tali fenomeni sono caratterizzati da velocità di deformazione in genere estremamente lente e, in linea di massima, interessano gli ammassi rocciosi metamorfici per spessori di diverse decine o centinaia di metri.

10.5 Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali

Nell'intera area esaminata, le principali forme di accumulo connesse al deflusso idrico superficiale derivano, essenzialmente, dai processi deposizionali dei principali sistemi fluviali presenti, come il Fiume Crati ed i Torrenti Settimo e Mavigliano. In particolare, nei settori più orientali dell'area di studio tali meccanismi deposizionali risultano preponderanti sugli altri processi morfologici e conferiscono quindi, a tutto al territorio, una morfologia blandamente ondulata e piuttosto regolare (Foto 27), caratterizzata da diverse superfici terrazzate e numerose aree impluviali poco accentuate.

Foto 27 – Piana alluvionale del Torrente Settimo nei settori più orientali della zona di studio. In lontananza è possibile osservare i rilievi montuosi della Catena Costiera e il settore collinare di raccordo con il Bacino del Crati.

I depositi alluvionali si distribuiscono generalmente su superfici sub-pianeggianti o blandamente ondulate, spesso strutturate secondo diversi ordini di terrazzi posti a differenti quote sui fondovalle attuali. Tali depositi presentano una granulometria mediamente grossolana, sabbiosa e ghiaioso-sabbiosa, anche se mostrano al loro interno vistose variazioni sedimentologiche e tessiturali dovute alle frequenti intercalazioni argillose e limoso-argillose. Allo sbocco delle principali aste torrentizie nelle aree pianeggianti, si rinvengono inoltre frequenti conoidi alluvionali, di estensione ed importanza variabile. Verso la costa, questi sistemi deposizionali sono riferiti a due differenti cicli sedimentari e risultano interdigitati, almeno localmente, ai depositi marini recenti e terrazzati.

In corrispondenza dei corsi d'acqua principali, e secondariamente lungo gli alvei dei loro affluenti maggiori, si rinvengono vistose scarpate di genesi fluviale e zone di erosione laterale delle sponde. Gli alvei secondari mostrano, in generale, una marcata tendenza all'approfondimento, mentre gli alvei più importanti sono caratterizzati da prevalenti meccanismi deposizionali. Ulteriori scarpate fluviali, ormai inattive e fortemente degradate, sono presenti in corrispondenza dei margini esterni dei terrazzi alluvionali più estesi, posti a quote variabili dal fondovalle attuale.

In prossimità dell'alveo del Torrente Settimo, inoltre, sono presenti tracce degli antichi corsi fluviali, spesso caratterizzati da depositi fini in *facies* di lago di meandro o canale in fase di abbandono. Tali elementi presentano, in generale, larghezza piuttosto contenuta e sono localmente sede di zone paludose o acquitrini di scarsa importanza. Attualmente i canali abbondonati sono difficilmente distinguibili e cartografabili a causa dell'intensa antropizzazione subita dall'area nel corso degli ultimi decenni.

Foto 28 - Evidenti fenomeni di erosione calanchiva, talora evolventi in veri e propri fenomeni franosi, che interessano i terreni argilloso-marnosi plio-pleistocenici affioranti a ovest di San Vincenzo la Costa. Nella parte alta del versante è possibile osservare un lembo di depositi alluvionali terrazzati in appoggio sui termini pelitici del substrato.

Nella zona centrale dell'area di studio, lungo il margine occidentale del Bacino del Crati, sono presenti anche forme di erosione di tipo calanchivo (Foto 28). Tali elementi si impostano prevalentemente sui termini argilloso-marnosi dei cicli plio-pleistocenici e, generalmente, risultano strettamente connesse a movimenti franosi superficiali o ad alvei con evidente tendenza all'approfondimento. La maggior parte delle zone calanchive si rinvengono in prossimità del centro abitato di San Vincenzo la Costa, dove l'affioramento di termini pelitici del

substrato, la presenza di versanti piuttosto acclivi e la forte azione erosiva delle acque correnti superficiali hanno prodotto le condizioni favorevoli allo sviluppo di queste fenomenologie di dissesto.

Infine, in tutta l'area di studio si rinvengono evidenti fenomeni erosivi, sia areali che lineari, connessi al deflusso non regimato delle acque correnti superficiali. Tali fenomeni generano, ovviamente, forme caratteristiche quali solchi di erosione concentrata e vallecole a V o a fondo concavo, particolarmente frequenti nelle porzioni medio-basse dei rilievi e nelle zone con le coperture detritico-colluviali più spesse.

10.6 Forme, processi e depositi di origine marina

Gli elementi connessi con l'azione delle acque marine risultano particolarmente diffusi nel settore più occidentale dell'area di studio, a Sud del centro abitato di Paola. La spiaggia, essenzialmente sabbiosa e ghiaioso-sabbiosa, presenta una modesta estensione areale ed è caratterizzata da prevalenti fenomeni deposizionali dovuti, in buona sostanza, alle numerose scogliere in pietra realizzate lungo la costa nel corso degli anni. Queste ultime, infatti, hanno invertito la tendenza fortemente erosiva del litorale tirrenico, favorendo l'accrescimento della spiaggia e la deposizione di depositi sciolti e fortemente eterometrici.

Verso l'interno, invece, sono presenti ampie superfici terrazzate distribuite su sei ordini di differente età ed importanza. Ogni terrazzo è costituito da un corpo sedimentario, generalmente sabbioso-conglomeratico, delimitato al tetto da una superficie sub-pianeggiante e blandamente immergente verso mare. Tale successione di terrazzi marini quaternari rappresenta, naturalmente, il risultato sia morfologico che stratigrafico dell'interazione tra il sollevamento tettonico regionale e le oscillazioni eustatiche del livello del mare.

Le scarpate marine che delimitano le differenti superfici terrazzate presentano, generalmente, una modesta estensione planimetrica e risultano spesso aggredite da evidenti fenomeni erosivi e di alterazione. Questi elementi sono quindi la testimonianza di antiche di linee di costa sollevate, ognuna delle quali corrisponde a delle fasi di alto stazionamento eustatico. Spesso le scarpate marine risultano rielaborate dall'azione della gravità o riprese da elementi antropici di varia importanza.

10.7 Forme antropiche e manufatti

I principali elementi connessi con l'attività antropica sul territorio sono rappresentati dai numerosi manufatti realizzati in corrispondenza delle maggiori aree urbanizzate e da tutti gli elementi connessi con la costruzione delle principali infrastrutture a rete. Ad essi si aggiungono, localmente, importanti attività estrattive per il reperimento di inerti e materiali lapidei naturali.

Nei settori più antropizzati si rinvengono estesi materiali di riporto provenienti da cavature e sbancamenti, realizzati sia nei termini litologici del substrato che nei depositi di copertura continentali e marini. La maggior parte delle zone di riporto corrispondono, ovviamente, ai rilevati delle principali infrastrutture a rete ed ai terreni accumulati in corrispondenza delle aree urbane più estese.

Ai suddetti elementi si aggiungono, ovviamente, numerosi tagli e scarpate antropiche realizzate sia lungo le principali arterie stradali che in corrispondenza di fabbricati ed abitazioni. Tali elementi presentano in genere altezze contenute, raramente superiori a 3 m, e sono spesso posti in corrispondenza di elementi geomorfologici e scarpate naturali preesistenti.

Foto 29 - Vista panoramica delle numerose scogliere in pietra presenti lungo la costa tirrenica a sud del centro abitato di Paola.

Infine, lungo gli alvei dei maggiori corsi d'acqua più dell'area, sono presenti numerose opere di regimazione idraulica, rappresentate essenzialmente da briglie e argini artificiali. In corrispondenza del litorale tirrenico, invece, sono presenti importanti scogliere in pietra per la difesa della linea di costa dall'erosione (Foto 29).

11 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO REGIONALE

Il territorio della Calabria è caratterizzato da una fortissima eterogeneità e complessità delle caratteristiche idrogeologiche (Figura 29), riconducibile sia al complesso assetto strutturale dell'area che alla grande varietà di termini litologici affioranti (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). In relazione alle complesse condizioni stratigrafico-strutturale, questo territorio presenta condizioni idrogeologiche che si traducono in una distribuzione estremamente disomogenea delle risorse idriche sotterrare (Regione Calabria 2009).

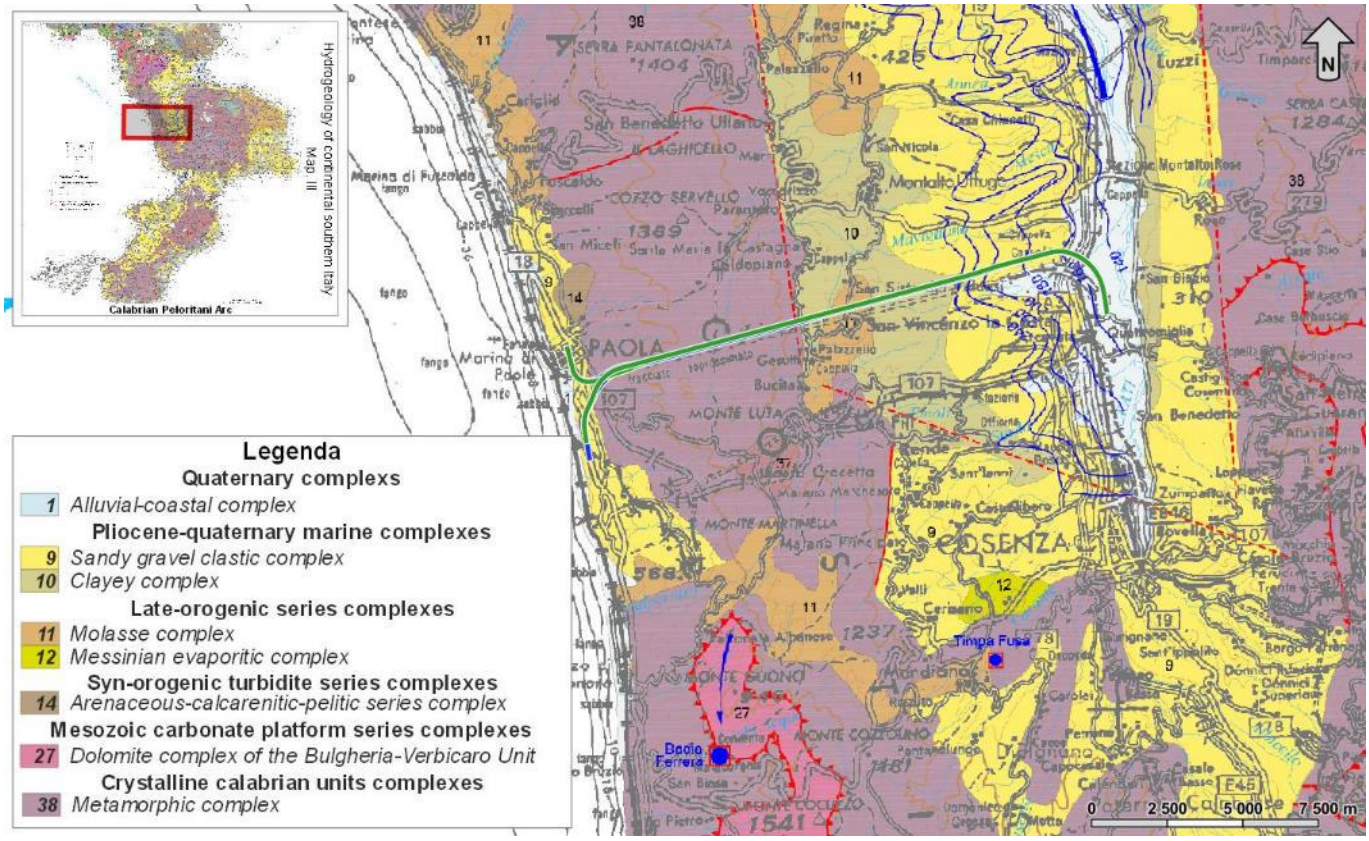


Figura 29 – Stralcio della Carta idrogeologica dell'Italia Meridionale in scala 1:300000 (da De Vita et al. 2018) riprodotta in scala 1:250000, con indicazione del tracciato di progetto (in verde).

11.1 Acquiferi e complessi idrogeologici

I settori di interesse sono caratterizzati dalla presenza di termini litologici con caratteristiche estremamente variabili, sia dal punto di vista idrodinamico che in termini di permeabilità e trasmissività. I litotipi presenti nei settori di specifico interesse progettuale possono essere raggruppati in tre ambiti idrogeologici principali (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018):

- acquiferi porosi plio-quaternari;
- acquiferi misti tardo-cenozoici;
- acquiferi fessurati paleozoici.

11.1.1 Acquiferi porosi plio-quaternari

Questi acquiferi sono costituiti da sedimenti plio-quaternari formati in ambiente subaereo o marino. Tali sedimenti sono quindi riferibili a depositi di detritico-colluviali, alluvionali, lacustri e costieri (Allocca et al. 2007; Vespasiano et al. 2014; De Vita et al. 2018), in parte emersi a seguito delle fasi di sollevamento dell'Arco Calabro Peloritano (Tansi 1993; Pennetta 1996).

Si tratta di acquiferi di particolare importanza ai fini del reperimento di risorse idriche sotterranee, sia per l'intenso uso del territorio che caratterizza le aree di affioramento di tali depositi sia per la soggiacenza relativamente bassa della zona di saturazione (Allocca et al. 2007; Regione Calabria 2009; De Vita et al. 2018). Quanto detto è dimostrato dal gran numero di pozzi esistenti, che hanno determinato situazioni di sovrasfruttamento e parziale deterioramento qualitativo delle acque sotterranee dei suddetti acquiferi (Regione Calabria 2009).

Questi terreni costituiscono acquiferi continui, in genere eterogenei ed anisotropi, sempre permeabili per porosità e, solo in rari casi, anche per fessurazione (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). Tale carattere idrogeologico è riconducibile alla natura prevalentemente clastica dei depositi, che solo in pochi casi presentano un certo grado di cementazione (Allocca et al. 2007). Anche in questi casi, tuttavia, la cementazione non ha mai avuto un ruolo equivalente al processo di diagenesi, conferendo raramente a questi terreni un carattere eminentemente litoide (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). La permeabilità è in genere molto variabile e sempre strettamente connessa con le caratteristiche di assortimento granulometrico dei terreni (Allocca et al. 2007).

I depositi plio-quaternari che costituiscono questi acquiferi presentano delle particolari caratteristiche sedimentologiche ed idrogeologiche, dovute essenzialmente ai processi che ne hanno controllato il trasporto e la deposizione (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). In particolare, possono essere individuati due distinti gruppi di ambienti sedimentari caratterizzati da differenti processi di trasporto e deposizione, rispettivamente controllati dalla gravità e dalle acque di ruscellamento (Allocca et al. 2007).

Al primo gruppo sono riconducibili i depositi di *talus* e di falda detritica presenti alla base dei maggiori rilievi montuosi che, pur costituendo acquiferi eterogenei ed anisotropi, sono contraddistinti da un grado di permeabilità generalmente piuttosto elevato (Allocca et al. 2007). Nei settori dove risultato limitati inferiormente da terreni di bassa permeabilità, tali depositi possono essere sede di falde idriche sotterranee di discreta importanza, in particolare quando soggetti a travasi idrici provenienti da strutture idrogeologiche limitrofe (Allocca et al. 2007; Regione Calabria 2009).

I depositi che ricadono nel secondo gruppo di ambienti sedimentari sono i più rappresentati nei settori di studio e possono essere suddivisi a loro volta in numerosi sub-ambienti, contraddistinti da differente energia del mezzo di trasporto idraulico (Allocca et al. 2007). Tali ambienti sono distribuiti sul territorio secondo un percorso in cui l'energia di trasporto idraulico tende a diminuire progressivamente, a partire dall'ambiente di conoide pedemontana fino a quello di pianura costiera, passando attraverso tutti gli ambiti fluviali intermedi (Allocca et al. 2007).

Tutti questi sub-ambienti sono contraddistinti, a loro volta, da un'energia del mezzo idraulico variabile nel tempo in relazione all'entità degli apporti pluviometrici (Allocca et al. 2007). Ciò comporta la deposizione di termini litologici fortemente eterogenei che, per la continua divagazione dei corsi d'acqua, si ritrovano variamente giustapposti tra loro sia lateralmente che verticalmente. Pertanto, gli acquiferi alluvionali risultano in genere fortemente eterogenei ed anisotropi, soprattutto nelle aree di pianura alluvionale e costiera, dove le differenze di comportamento idrogeologico si accentuano per la presenza di terreni a granulometria argilloso-limosa, da scarsamente permeabili ad impermeabili (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018).

In questi ambiti idrogeologici, quindi, la presenza di intercalazioni pelitiche all'interno dei depositi sabbioso-ghiaiosi determina una scomposizione del deflusso idrico sotterraneo in una serie di falde sovrapposte (De Vita et al. 2018). Queste ultime, a loro volta, possono essere caratterizzate da differenti carichi piezometrici, che generano fenomeni di drenanza sia verso l'alto che verso il basso (Allocca et al. 2007).

In molti casi, comunque, il suddetto schema di circolazione idrica sotterranea può essere semplificato a causa della scarsa continuità dei livelli meno permeabili, che non consente un'efficace separazione tra le differenti falde sovrapposte (Allocca et al. 2007). Invece, a scala globale, il comportamento di questi acquiferi è schematicamente assimilabile a quello di un unico corpo idrico sotterraneo, avente un recapito unitario (Allocca et al. 2007).

Ovviamente, le falde degli ambienti alluvionali risultano alimentate direttamente sia dalle acque superficiali che si infiltrano nel terreno che dai travasi idrici sotterranei delle strutture idrogeologiche con cui sono a contatto (Allocca et al. 2007). Il recapito delle falde alluvionali è rappresentato, generalmente, da un limite a potenziale imposto corrispondente ad un corpo idrico superficiale, come fiumi, laghi e mari. Localmente, la tipologia di rapporti tra falde sotterranee e corpi idrici continentali può essere anche di segno opposto, o comunque mutare nel corso dell'anno idrologico in relazione alla variazione relativa dei livelli idrici (Allocca et al. 2007).

11.1.2 Acquiferi misti tardo-cenozoici

Tali acquiferi sono composti da depositi essenzialmente marini, riferibili a successioni sedimentarie di bacino o di avanfossa (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). Risultano particolarmente diffusi nei settori collinari di tutto l'Arco Calabro e, generalmente, danno luogo a strutture idrogeologiche di una certa importanza solo per l'approvvigionamento idrico di piccoli centri abitati (Allocca et al. 2007).

I termini litologici in esame costituiscono, quindi, dei complessi idrogeologici omogenei per ciò che riguarda il tipo di permeabilità prevalente, generalmente per fessurazione e porosità (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). In linea di massima, sono contraddistinti da un grado di permeabilità relativa variabile da basso a medio, in funzione della percentuale della componente pelitica, e danno luogo ad emergenze sorgive con portate raramente superiori ad alcune decine di litri al secondo (Gargini et al., 2014; De Vita et al. 2018).

Per le suddette caratteristiche idrogeologiche, la permeabilità dell'ammasso risulta essere relativamente più elevata in prossimità del piano campagna, essenzialmente a causa della maggiore alterazione e fessurazione dei materiali (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). La presenza di frequenti coperture di genesi eluvio-colluviale, unitamente alla variabilità della permeabilità relativa dell'ammasso, favorisce quindi l'instaurazione di una circolazione idrica sotterranea generalmente poco profonda e di modesta rilevanza (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018).

Tale circolazione si esplica mediante falde idriche per lo più discontinue, il cui sviluppo spaziale rispecchia generalmente l'andamento della superficie topografica. Ciò comporta una approssimativa coincidenza tra spartiacque sotterranei e superficiali e, in generale, un recapito orientato prevalentemente verso i fondovalle o le sorgenti poste lungo i versanti (Gargini et al., 2014; De Vita et al. 2018). Locali differenze possono riscontrarsi nelle porzioni arenaceo-conglomeratiche, dove la circolazione risulta indipendente all'assetto morfologico superficiale (Celico et al., 1993).

11.1.3 Acquiferi fessurati paleozoici

Questi acquiferi sono rappresentati dai terreni paleozoici, cristallini e metamorfici che costituiscono buona parte della dorsale della Catena Costiera (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). Com'è noto, tali acquiferi rappresentano sistemi idrogeologici complessi in cui coesistono ed interagiscono l'acquifero superficiale poroso,

rappresentato dalla coltre di alterazione superficiale, con l'acquifero intermedio, rappresentato dall'ammasso roccioso fessurato (Allocca et al. 2007; Vespasiano et al. 2014) e una zona profonda a bassa permeabilità a causa della minore presenza di fratture (De Vita et al. 2018).

I due acquiferi più superficiali sono delimitati inferiormente, mediante un limite di permeabilità indefinito, dalle porzioni di ammasso a minor grado di fessurazione o, comunque, con una minore apertura delle fratture beanti a causa dell'elevato carico litostatico (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). Questo tipico profilo di alterazione può essere quindi schematizzato, in termini idrogeologici, mediante la sovrapposizione di un acquifero poroso superficiale, costituito da depositi residuali sabbioso-limosi, su un acquifero fessurato limitato inferiormente dal substrato impermeabile (Allocca et al. 2007).

Generalmente, l'acquifero superficiale è costituito da una fascia di alterazione (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018), con uno spessore che varia da pochi metri fino a 100-150 m (Calcaterra & Parise 2010), e valori ancora maggiori in corrispondenza delle zone di faglia. Le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero poroso superficiale dipendono, fondamentalmente, dal grado di alterazione e dalla frazione granulometrica prevalente del deposito alteritico. Quest'ultimo, in particolare, funge sia da acquifero superficiale indipendente che da serbatoio temporaneo dell'acqua di infiltrazione, che successivamente percola nell'acquifero fessurato sottostante (Allocca et al. 2007).

Invece, dove il manto di terreni residuali raggiunge spessori rilevanti possono formarsi una serie di falde sospese di alta potenzialità, dovuta sia alla permeabilità dei depositi che allo spessore degli acquiferi (Regione Calabria 2009). Ciò è reso particolarmente evidente dalle numerose sorgenti rilevate nelle parti medio-alte dei rilievi, emergenti dalla stessa coltre di alterazione e caratterizzate da portate generalmente inferiori a 0.001 m^3/s (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018).

Nell'acquifero fessurato invece, al di sotto della copertura di suolo residuale, avviene la principale circolazione idrica sotterranea del complesso cristallino-metamorfico. All'interno di questo orizzonte di transizione, spesso generalmente alcune decine di metri, sono presenti fessure riconducibili alle varie fasi di *stress* tettonico e decompressione alle quali è stato sottoposto l'ammasso roccioso (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). L'orientazione e la spaziatura delle discontinuità risulta estremamente variabile negli ammassi metamorfici, soprattutto in relazione alle fasi di *stress* tettonico e di decompressione a cui è stato sottoposto l'ammasso (Allocca et al. 2007). Al contrario, nelle rocce granitoidi le discontinuità sono orientate principalmente in modo sub-orizzontale (De Vita et al. 2018).

La trasmissività di questi acquiferi risulta essere variabile, mediamente, da 10^{-4} m^2/s a 10^{-6} m^2/s (Allocca et al. 2007). Le falde sono generalmente libere e con gradienti piezometrici elevati (compresi tra 1% e 15%), mentre le zone di recapito sono connesse, direttamente o indirettamente, con le condizioni topografiche dell'area (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). Dove i rilievi cristallino-metamorfici sono bordati dai depositi di copertura delle piane alluvionali quaternarie, avviene il travaso del deflusso idrico sotterraneo dall'ammasso roccioso cristallino verso gli acquiferi porosi (Allocca et al. 2007).

La zona più profonda e meno fratturata è delimitata principalmente da zone di faglia e assume solo localmente i connotati di un acquifero, connettendo i corpi idrici sotterranei a scala regionale. La causa della bassa permeabilità di questo intervallo è dovuta alla minore presenza di fratture, naturale conseguenza della maggiore pressione litostatica (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). In taluni casi, soprattutto in corrispondenza di elementi tettonici di particolare rilevanza, è possibile la presenza di corpi idrici sotterranei di importanza significativa a causa dell'elevato grado di fratturazione dell'ammasso (Allocca et al. 2007).

Questi acquiferi non rappresentano fonti di approvvigionamento idrico di grande importanza e, quindi, non sono stati mai oggetto di studi idrogeologici che ne hanno approfondito gli schemi di circolazione idrica sotterranea (Allocca et al. 2007). Le sorgenti sono in gran parte contraddistinte da una portata ridotta, inferiore a 0.001 m^3/s, e solo raramente hanno una portata compresa tra 0.010 m^3/s e 0.050 m^3/s (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). Tali emergenze presentano un regime stagionale chiaramente connesso con l'alimentazione dell'acquifero di bassa trasmissività e, secondariamente, con l'effetto di modulazione del deflusso indotto dai terreni di copertura porosi (Allocca et al. 2007).

Le emergenze sorgentizie si collocano essenzialmente alla base dei rilievi o lungo i fondovalle, dove sono presenti significativi deflussi perenni associabili agli apporti idrici sotterranei (Allocca et al. 2007; Vespasiano et al. 2015; De Vita et al. 2018). In particolare, l'incremento dei deflussi fluviali è stato riscontrato in maniera molto evidente in corrispondenza degli affioramenti di rocce scistose e granitiche, specialmente lungo le incisioni torrentizie più accentuate (Allocca et al. 2007).

In generale i pozzi più produttivi, fino ad un massimo di 0.010 m^3/s, sono situati nelle parti topograficamente più depresse e, spesso, in corrispondenza di faglie (Allocca et al. 2007; De Vita et al. 2018). Al contrario, i pozzi situati in corrispondenza del substrato fessurato, sebbene localizzati lungo i versanti o nei pianori sommitali dei rilievi cristallino-metamorfici, presentano portate di esercizio variabili al massimo tra 0.001 m^3/s e 0.002 m^3/s (Allocca et al. 2007).

12 ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE

L'approfondimento idrogeologico realizzato per il presente studio ha consentito di definire, con il dovuto grado di dettaglio, le principali caratteristiche dell'area e lo schema di deflusso idrico sotterraneo relativo a tale settore. Le analisi sono state basate, in particolare, sui dati geologico-strutturali a disposizione e sulle informazioni idrogeologiche presenti nella vasta letteratura scientifica riguardante l'area.

Il modello idrogeologico così sviluppato è stato quindi integrato, ove possibile, con ulteriori dati provenienti dal monitoraggio piezometrico delle strumentazioni appositamente installate nei fori di sondaggio e dalle prove di permeabilità condotte in fase di perforazione. Inoltre, i dati piezometrici reperiti e le informazioni idrogeologiche contenute negli studi esistenti, hanno costituito un valido strumento per la ricostruzione del deflusso idrico sotterraneo di alcuni settori caratteristici dell'area di studio.

Infine, lo studio geologico condotto ha permesso di definire lo stato di alterazione/fessurazione degli ammassi rocciosi e le caratteristiche granulometriche dei terreni interessati dalle opere in progetto che, come noto, influenzano in maniera diretta il coefficiente di permeabilità dei vari corpi geologici e, quindi, la circolazione idrica sotterranea dell'area di studio.

12.1 Complessi idrogeologici

Nei settori di intervento sono stati individuati otto complessi idrogeologici, distinti sulla base delle differenti caratteristiche di permeabilità e del tipo di circolazione idrica che li caratterizza. Di seguito vengono descritti i caratteri peculiari dei diversi complessi individuati, seguendo uno schema basato sull'assetto geologico dell'area e sulle caratteristiche di permeabilità dei diversi termini litologici.

Nello specifico, la definizione delle caratteristiche idrogeologiche dei vari complessi presenti nell'area è stata compiuta in considerazione delle prove di permeabilità realizzate nei fori di sondaggio nel corso delle campagne di indagine Italferr del 2012, 2021 e 2022. Nel paragrafo 12.2 "Prove di permeabilità" si riporta una sintesi di tali prove, con indicazione dei valori di permeabilità determinati e dei relativi complessi idrogeologici di appartenenza.

Si sottolinea, infine, che la stima del *range* di variazione del coefficiente di permeabilità relativo ad ogni complesso idrogeologico è stata effettuata in funzione delle caratteristiche sedimentologiche e litologiche dei terreni, nonché del grado di alterazione e fessurazione dei singoli ammassi. I dati delle prove di permeabilità a disposizione sono stati quindi analizzati in relazione alle specifiche caratteristiche del complesso di appartenenza, scartando eventuali valori anomali o caratteristici di condizioni geologiche ed idrogeologiche locali, non rappresentative del comportamento medio dell'unità.

12.1.1 Complessi delle unità del substrato

Questo gruppo è rappresentato da cinque distinti complessi idrogeologici, costituiti da successioni sedimentarie neogenico-quaternarie e da terreni cristallini e metamorfici paleozoici.

12.1.1.1 Complesso metamorfico-scistoso

Il complesso metamorfico-scistoso (**MTS**) è formato dai litotipi metamorfici degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**), degli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (**EBG**), degli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**), delle Filladi di San Giovanni (**FSG**) e degli Gneiss e metagraniti di Pizzo del Sorco (**GPS**). Dal punto di vista litologico, si tratta di

gneiss, scisti biotitico-granatiferi e metagraniti laminati, spesso laminati e fratturati; scisti a tessitura scistosa e fortemente orientata, con frequenti vene di quarzo parallele alla scistosità; filladi e scisti filladici a tessitura finemente scistosa, con locali intercalazioni di metarenarie e metacalcari cristallini; a luoghi si rinvengono orizzonti porfiroidi e calcari cristallini zonati; l'ammasso si presenta da mediamente a molto fratturato, con locali porzioni completamente argillificate o fortemente cataclasate/milonitizzate.

I litotipi in questione costituiscono acquiferi fessurati di scarsa trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche di scarsa rilevanza, generalmente discontinue e frazionate, contenute nelle porzioni più alterate e fessurate dell'ammasso; è possibile la presenza di falde in pressione nei settori dove l'assetto strutturale favorisce il confinamento latero-verticale delle zone più permeabili e fratturate. La permeabilità, principalmente per fessurazione, è variabile da molto bassa a media. A tale complesso si può attribuire, pertanto, un coefficiente di permeabilità k variabile tra $5 \cdot 10^{-9}$ e $5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

12.1.1.2 Complesso granitico-porfiritico

Al complesso granitico-porfiritico (**GPR**) sono riferite le rocce ignee dei Graniti di Vasco Ceraso (**GVC**). Dal punto di vista litologico, si tratta essenzialmente di graniti muscovitico-biotitici, spesso laminati e a grana grossolana, con locali dicchi leuco-monzogranitici e piccoli filoni lamprofirici e porfiritici; l'ammasso si presenta da mediamente a molto fratturato, con locali porzioni completamente arenitizzate o fortemente brecciate/cataclasate.

Tali litotipi costituiscono acquiferi misti di discreta trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche di modesta rilevanza, generalmente discontinue e frazionate, contenute nelle porzioni più fessurate dell'ammasso o all'interno della fascia di alterazione superficiale. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da molto bassa a bassa. A tale complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k compreso tra $1 \cdot 10^{-8}$ e $1 \cdot 10^{-5}$ m/s.

12.1.1.3 Complesso arenaceo-conglomeratico

Al presente complesso arenaceo-conglomeratico (**RNG**) sono associati i litotipi arenacei, conglomeratici e psammitici dei Conglomerati di San Fili (**CFL**) e delle Arenarie di Paola (**RPL**). Si tratta di arenarie ben stratificate e intensamente fratturate, a cemento prevalentemente calcareo; conglomerati debolmente cementati e a stratificazione mal definita, a clasti poligenici ed eterometrici da sub-arrotondati ad arrotondati, con matrice arcosica, sabbiosa e sabbioso-limosa generalmente abbondante; a luoghi si rinvengono intercalazioni di arenarie tenere, calcari arenacei, sabbie poco cementate e argille marnose.

I litotipi in questione costituiscono acquiferi misti di ridotta trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di scarsa rilevanza a causa del ridotto spessore dei depositi, spesso tamponate e/o confinate dai termini pelitici del substrato. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da bassa a media. Al complesso in questione è possibile attribuire, pertanto, un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

12.1.1.4 Complesso argilloso-marnoso

Il complesso argilloso-marnoso (**ARM**) è composto dai termini prevalentemente pelitici delle Argille marnose del Torrente Lavandaio (**ALD**), delle Argille marnose del Torrente Scumalatte (**ASM**) e delle Argille limose del Torrente Settimo (**ATS**), oltre che dagli olistostromi argilloso-filladici di quest'ultima unità (**ATSa**). Dal punto di vista litologico, si tratta di argille limose, limi argillosi e argille marnose a stratificazione poco evidente, talora

sottilmente stratificate e a frattura concoide, con frequenti intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi; a luoghi si rinvengono lenti olistostromiche pelitico-filladiche e passaggi di argille sabbiose e limi argilloso sabbiosi; talora sono presenti intercalazioni di sabbie grossolane, arenarie tenere, ghiaie poligeniche, calcari e marne.

I depositi in questione costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, nel contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano degli *aquiclude* di notevole importanza per tutti i corpi idrogeologici limitrofi; non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza, a meno di piccole falde confinate all'interno degli orizzonti più grossolani e permeabili presenti all'interno del complesso. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da impermeabile a bassa. A tale complesso si può pertanto attribuire un coefficiente di permeabilità *k* variabile tra $1 \cdot 10^{-10}$ e $5 \cdot 10^{-7}$ m/s

12.1.1.5 Complesso sabbioso-arenaceo

Al complesso sabbioso-arenaceo (**SBR**) sono riferiti i depositi psammitici, arenacei e conglomeratici delle Sabbie di Mandrigli (**SMD)**, delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (**SCM)** e delle Sabbie e conglomerati di Destra Comune (**SDC)**. Si tratta essenzialmente di Sabbie e sabbie limose a stratificazione da evidente a mal definita, talora incrociata, con locali livelli di sabbie fini discretamente cementate; a luoghi si rinvengono lenti e/o livelli di conglomerati a stratificazione poco evidente, intercalazione di arenarie a cemento calcareo e sottili passaggi di argille limose.

Tali terreni costituiscono acquiferi misti di discreta trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, sia frazionate che a deflusso unitario, generalmente tamponate e/o sostenute dai termini pelitici del substrato. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da bassa a media. Al complesso in questione si può attribuire, quindi, un coefficiente di permeabilità *k* compreso tra $1 \cdot 10^{-6}$ e $1 \cdot 10^{-3}$ m/s.

12.1.2 Complessi dei depositi di copertura

Tale gruppo è rappresentato da due differenti complessi idrogeologici, composti essenzialmente da depositi quaternari di natura alluvionale, marina e detritico-colluviale.

12.1.2.1 Complesso alluvionale e marino

Al complesso alluvionale e marino (**ALM**) sono associati i depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi e sabbioso-limosi dei Depositi marini terrazzati (**gn**), dei Depositi marini attuali e recenti (**g2**), dei Depositi alluvionali terrazzati (**bn**) e dei Depositi alluvionali recenti e attuali (**bb**). Si tratta di ghiaie poligeniche ed eterometriche da sub-arrotondate ad arrotondate, spesso appiattite, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante; sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi a stratificazione indistinta, incrociata o laminata, con locali ghiaie poligeniche ed eterometriche da sub-angolose ad arrotondate, talora appiattite; a luoghi sono presenti passaggi sabbioso-ghiaiosi debolmente cementati, blocchi di natura metamorfica, lenti di conglomerati poligenici e intercalazioni di argille limose e limi argilloso-sabbiosi

I depositi in questione costituiscono acquiferi porosi di buona trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di discreta rilevanza, localmente autonome ma globalmente a deflusso unitario, parzialmente alimentate dalle precipitazioni meteoriche e con frequenti interscambi con i corpi idrici superficiali e limitrofi. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa ad alta. A tale complesso si può pertanto attribuire un coefficiente di permeabilità *k* variabile tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $1 \cdot 10^{-2}$ m/s.

12.1.2.2 Complesso detritico-colluviale

Al complesso detritico-colluviale (**DTC**) sono riferiti i terreni prevalentemente ghiaioso-sabbiosi e limoso-argillosi dei Depositi detritico-colluviali (**b2**). Si tratta di ghiaie poligeniche e fortemente eterometriche, da angolose a sub-angolose, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, generalmente abbondante; limi argilloso-sabbiosi e sabbie limose, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e locali ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaioso-limose.

Tali depositi costituiscono acquiferi porosi di scarsa trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono privi di corpi idrici sotterranei di importanza significativa, a meno di piccole falde a carattere stagionale, direttamente influenzate dal regime delle precipitazioni meteoriche. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa a media. A tale complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k compreso tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $1 \cdot 10^{-3}$ m/s

12.2 Prove di permeabilità

Di seguito si riporta una sintesi delle prove di permeabilità, con indicazione dei valori di permeabilità determinati distinti per i relativi complessi idrogeologici di appartenenza.

sigla	prova	tipologia	profondità *m*	permeabilità *m/s*	identificativo CI
BH05	LF1	Lefranc	11.0 - 12.0	9.00E-08	*Italferr 2012*
BH05	LF2	Lefranc	26.0 - 27.0	8.90E-08	*Italferr 2012*
BH06	LF1	Lefranc	8.5 - 9.5	1.90E-07	*Italferr 2012*
BH06	LF2	Lefranc	23.5 - 24.5	9.10E-08	*Italferr 2012*
SGN-01	LF2	Lefranc	11.5 - 12.0	7.91E-08	*Italferr 2021*
SGN-01	LF3	Lefranc	21.0 - 21.5	1.09E-07	*Italferr 2021*
SGN-06	LF1	Lefranc	42.0 - 43.0	7.87E-08	*Italferr 2021*
SVI-01	LF3	Lefranc	37.0 - 37.5	6.59E-08	*Italferr 2021*
SVI-02	LF2	Lefranc	21.0 - 22.0	1.23E-07	*Italferr 2021*
SVI-02	LF3	Lefranc	36.0 - 37.0	4.47E-09	*Italferr 2021*
SVI-03	LF3	Lefranc	37.0 - 38.0	1.83E-08	*Italferr 2021*
SGN-07	LF3	Lefranc	22.5 - 24.4	3.19E-08	*Italferr 2021*
SGN-08	LF1	Lefranc	4.0 - 5.5	6.27E-07	*Italferr 2021*
SGN-08	LF2	Lefranc	16.5 - 18.0	2.41E-07	*Italferr 2021*
SGN-02	LF1	Lefranc	97.0 - 98.0	9.45E-09	*Italferr 2021*
SGN-02	LF2	Lefranc	109.0 - 110.0	4.92E-09	*Italferr 2021*
SGN-02	LF3	Lefranc	122.5 - 124.0	2.91E-09	*Italferr 2021*
SVI-06	LF1	Lefranc	12.0 - 13.7	3.50E-07	*Italferr 2021*
SVI-06	LF2	Lefranc	19.5 - 20.0	1.97E-08	*Italferr 2021*
SVI-06	LF3	Lefranc	36.0 - 38.6	4.56E-09	*Italferr 2021*

sigla	prova	tipologia	profondità *m*	permeabilità *m/s*	identificativo CI
SVI-07	LF2	Lefranc	22.0 - 23.0	5.16E-08	*Italferr 2021*
SVI-07	LF3	Lefranc	32.0 - 33.0	2.64E-07	*Italferr 2021*
BH01	LF2	Lefranc	23.5 - 24.0	5.70E-06	*Italferr 2012*
SVI-04	LF2	Lefranc	19.3 - 21.4	3.32E-08	*Italferr 2021*
SVI-04	LF3	Lefranc	35.8 - 37.0	4.26E-08	*Italferr 2021*
SGN14	LF1	Lefranc	11.3 - 14.0	2.31E-08	*Italferr 2022*
SGN14	LF2	Lefranc	47.2 - 51.0	9.39E-10	*Italferr 2022*
SGN15	LF2	Lefranc	24.4 - 26.0	3.85E-08	*Italferr 2022*

Tabella 13 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il Complesso argilloso-marnoso (ARM), per l'identificativo CI cfr. 3 - Documenti di riferimento.

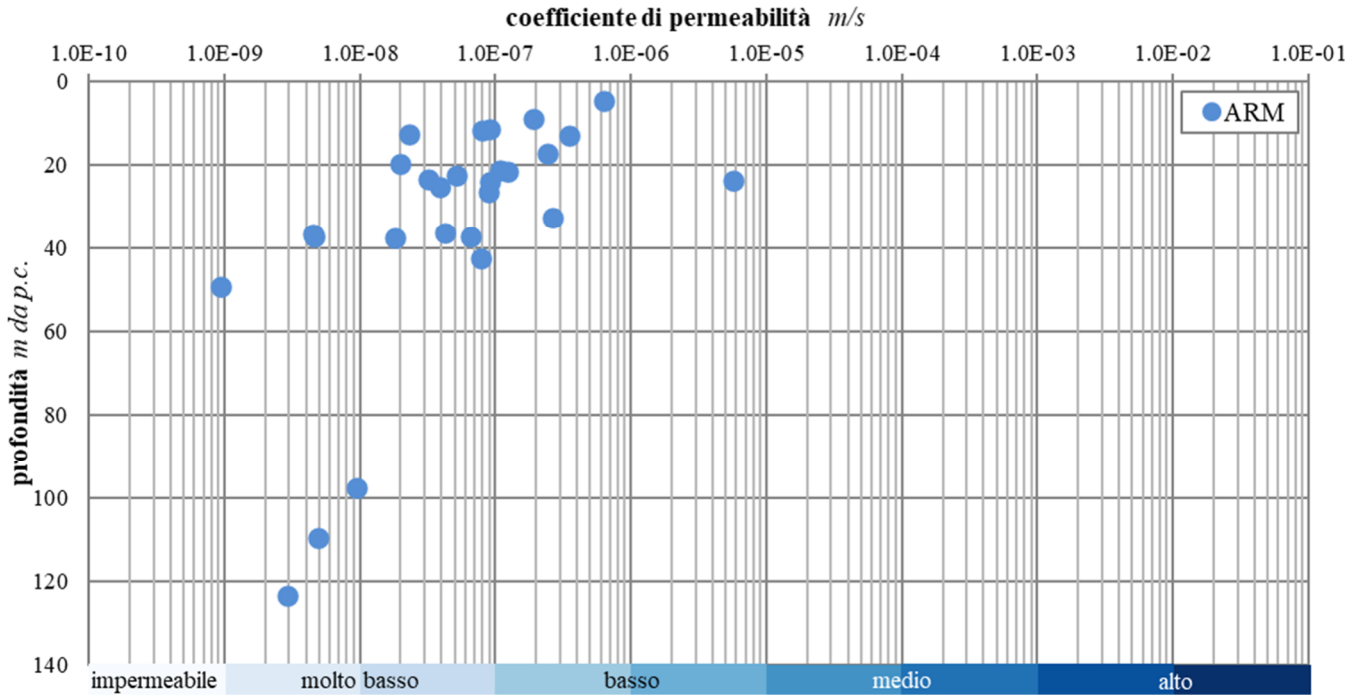


Figura 30 – Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il Complesso argilloso-marnoso (ARM).

sigla	prova	tipologia	profondità *m*	permeabilità *m/s*	identificativo CI
SGN-06	LF2	Lefranc	53.8 - 55.0	1.37E-08	*Italferr 2021*

Tabella 14 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il Complesso conglomeratico (RNG), per l'identificativo CI cfr. 3 - Documenti di riferimento.

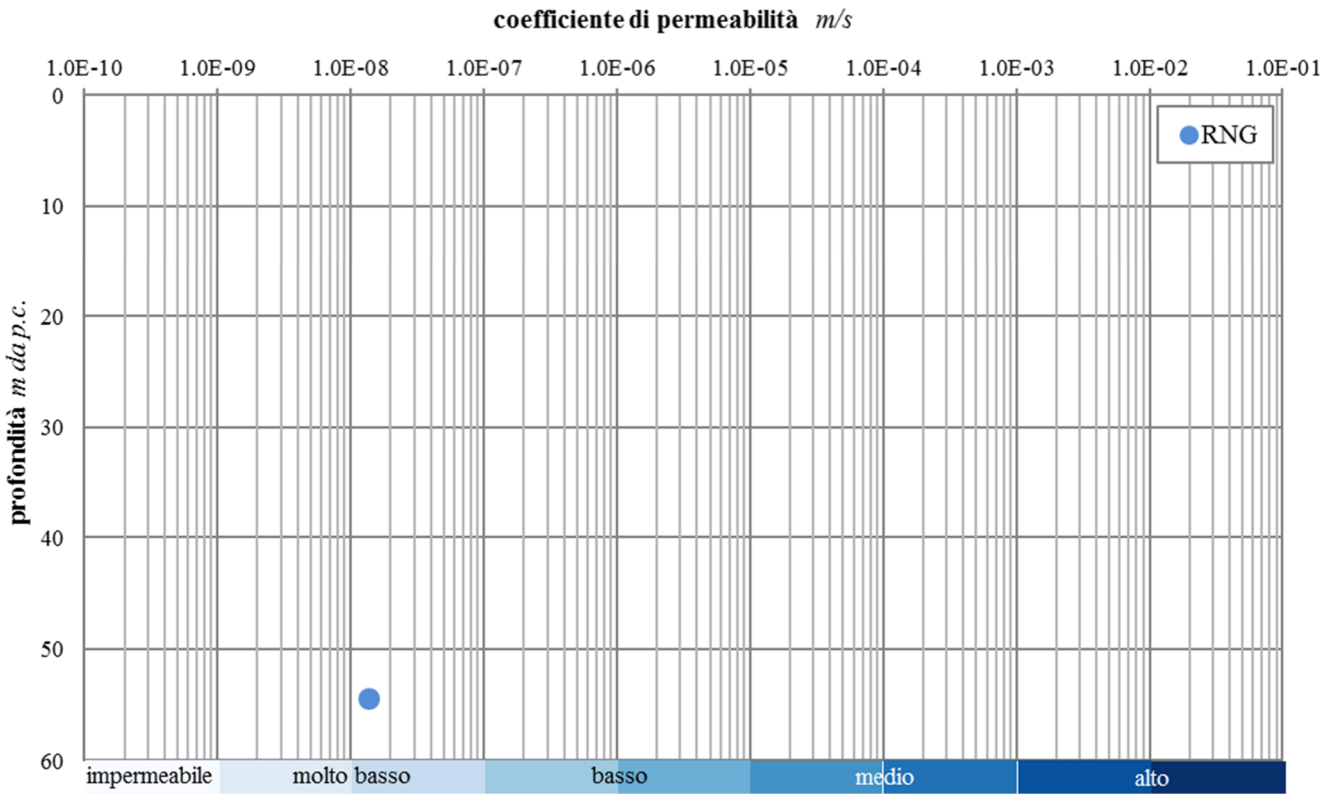


Figura 31 – Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il Complesso conglomeratico (RNG).

sigla	prova	tipologia	profondità *m*	permeabilità *m/s*	identificativo CI
BH03	LF1	Lefranc	32.8 - 33.5	1.10E-05	*Italferr 2012*
BH03	LF2	Lefranc	50.8 - 51.5	6.10E-06	*Italferr 2012*
BH03	LF3	Lefranc	59.3 - 60.0	5.50E-05	*Italferr 2012*
BH04	LF1	Lefranc	56.0 - 57.0	1.00E-05	*Italferr 2012*
SGN-03	LF1	Lefranc	48.0 - 50.5	4.03E-08	*Italferr 2021*
SGN-03	LF2	Lefranc	60.0 - 61.5	8.20E-08	*Italferr 2021*
SGN12	LG1	Lugeon	27.0 - 27.5	1.47E-06	*Italferr 2022*
SGN12	LG2	Lugeon	32.0 - 32.5	1.45E-06	*Italferr 2022*
SGN12	LG3	Lugeon	37.0 - 37.5	1.57E-06	*Italferr 2022*

Tabella 15 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il Complesso metamorfico (MTS), per l'identificativo CI cfr. 3 - Documenti di riferimento.

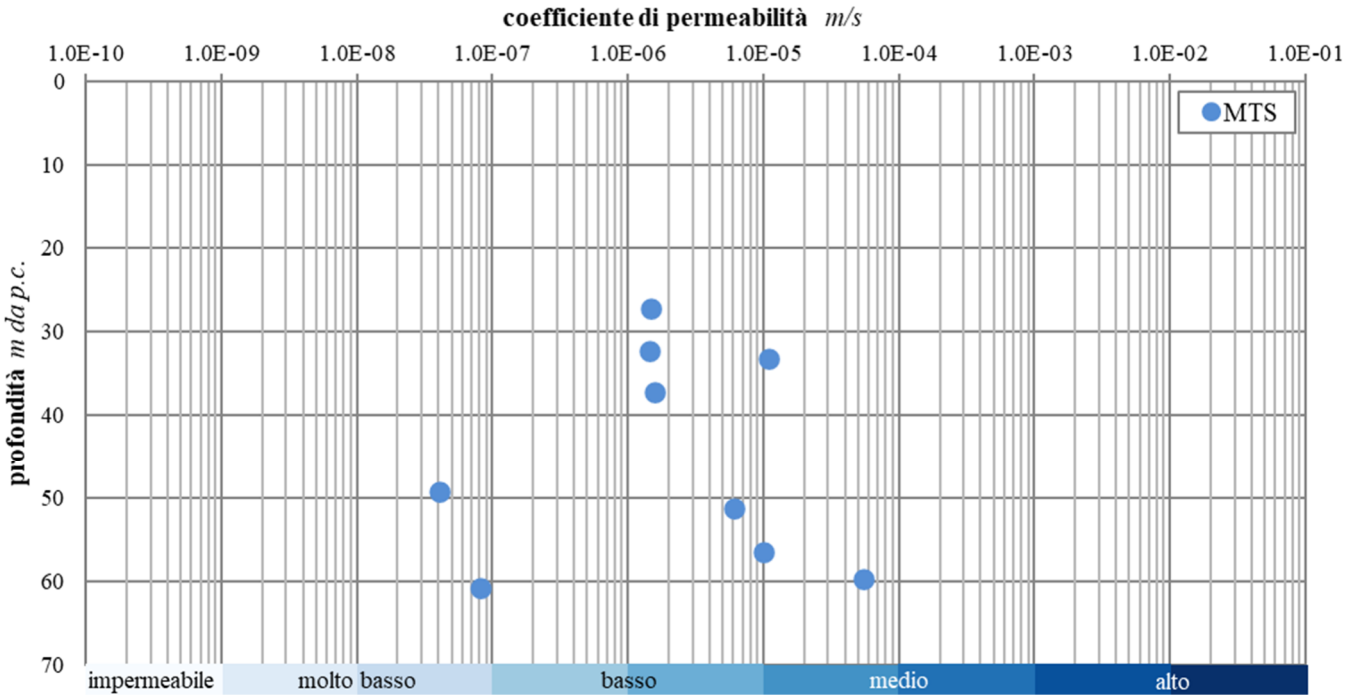


Figura 32 – Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il Complesso metamorfico (MTS).

sigla	prova	tipologia	profondità *m*	permeabilità *m/s*	identificativo CI
S1-PZ	LF1	Lefranc	4.3 - 5.4	1.02E-07	*CI01*
SGN-01	LF1	Lefranc	3.0 - 4.0	2.66E-06	*Italferr 2021*
SVI-01	LF1	Lefranc	11.0 - 12.0	1.88E-06	*Italferr 2021*
SVI-01	LF2	Lefranc	17.5 - 18.0	8.98E-07	*Italferr 2021*
SVI-02	LF1	Lefranc	9.5 - 10.6	7.96E-07	*Italferr 2021*
SVI-03	LF1	Lefranc	10.5 - 12.0	8.22E-07	*Italferr 2021*
SVI-03	LF2	Lefranc	18.4 - 19.6	3.20E-07	*Italferr 2021*
SGN-07	LF1	Lefranc	4.5 - 6.4	2.75E-07	*Italferr 2021*
SGN-07	LF2	Lefranc	11.0 - 12.0	9.70E-08	*Italferr 2021*
SVI-07	LF1	Lefranc	8.2 - 9.2	2.18E-06	*Italferr 2021*
BH01	LF1	Lefranc	8.5 - 9.0	1.60E-06	*Italferr 2012*
BH02	LF1	Lefranc	13.9 - 14.5	7.20E-07	*Italferr 2012*
BH02	LF2	Lefranc	24.4 - 25.0	1.10E-06	*Italferr 2012*
SVI-05	LF1	Lefranc	7.0 - 8.3	1.40E-06	*Italferr 2021*
SVI-05	LF2	Lefranc	19.5 - 21.0	5.10E-07	*Italferr 2021*
SVI-05	LF3	Lefranc	33.0 - 34.5	3.06E-07	*Italferr 2021*

sigla	prova	tipologia	profondità *m*	permeabilità *m/s*	identificativo CI
SVI-04	LF1	Lefranc	10.2 - 11.4	1.16E-06	*Italferr 2021*
SR1	LF1	Lefranc	2.8 - 4.0	6.44E-09	*Italferr 2022*
SR1	LF2	Lefranc	14.8 - 15.9	1.21E-06	*Italferr 2022*
SR2	LF1	Lefranc	2.5 - 3.1	5.31E-08	*Italferr 2022*
SR2	LF2	Lefranc	7.0 - 8.0	6.20E-08	*Italferr 2022*
SGN15	LF1	Lefranc	3.0 - 4.7	8.53E-07	*Italferr 2022*
SR3	LF1	Lefranc	3.0 - 3.6	4.45E-07	*Italferr 2022*
SR3	LF2	Lefranc	6.0 - 7.0	2.69E-08	*Italferr 2022*

Tabella 16 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il Complesso alluvionale e marino (ALM), per l'identificativo CI cfr. 3 - Documenti di riferimento.

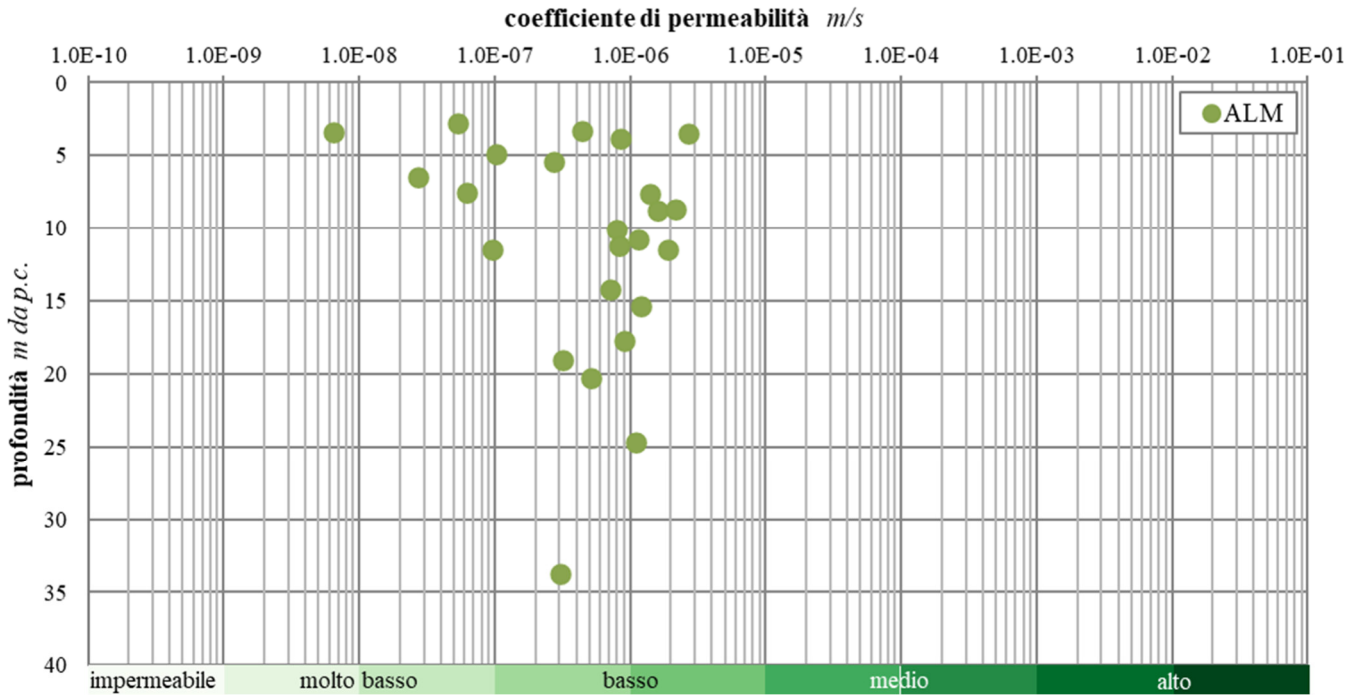


Figura 33 – Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il Complesso alluvionale e marino (ALM).

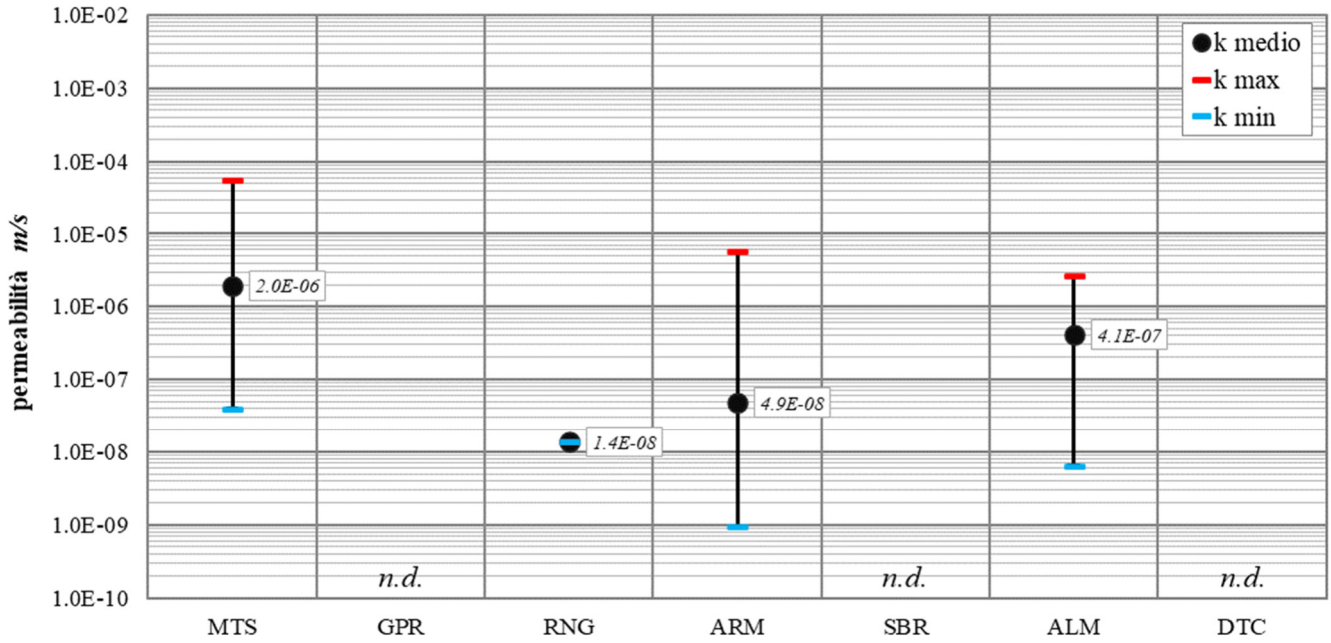


Figura 34 – Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità per i complessi individuati nell'area di studio.

12.3 Monitoraggio piezometrico

Allo scopo di indagare l'effettiva presenza di falde idriche sotterranee ed il relativo andamento della superficie piezometrica, nel corso dello studio sono state eseguite apposite campagne di monitoraggio consistenti nella misura del livello di falda nei tubi piezometrici precedentemente installati nei fori di sondaggio. In particolare, durante le varie campagne indagine eseguite sono stati attrezzati con piezometri n. 17 fori di sondaggio di cui n. 16 a tubo aperto, e n. 1 a tubo aperto più una cella di Casagrande.

Le diverse campagne di monitoraggio del livello della falda sono iniziate a giugno 2012 e proseguiranno nei prossimi mesi. Più in dettaglio il primo monitoraggio dei livelli piezometrici è stato condotto da Italferr nel periodo che va da giugno 2012 a luglio 2012 sulla strumentazione della campagna indagini *Italferr 2012*, mentre una seconda campagna di letture è stata condotta da A.N.A.S. nel luglio 2020 sulla strumentazione della campagna indagini *CI01*. L'ultima serie di misure del livello piezometrico è stata condotta da Italferr a partire dal mese di giugno del 2021 fino a aprile 2022 sulla strumentazione della campagna indagini *Italferr 2021*, mentre le misure sulla strumentazione della campagna indagini *Italferr 2022* sono iniziate ad aprile 2022 e sono terminate a giugno 2022.

Nello specifico, nelle cartografie e nei profili idrogeologici (RC1C 03 R69 N4 GE0002 001, RC1C 03 R69 L5 GE0002 001-3, RC1C 03 R69 F4 GE0002 001-3) sono stati riportati unicamente i valori massimi e minimi della falda registrati nel corso delle diverse fasi di monitoraggio. In tal modo, è stato possibile ricostruire l'andamento della superficie piezometrica nelle condizioni più penalizzanti e definire, per ogni punto, la massima variabilità del livello idrico durante l'intero anno idrologico.

Di seguito si riportano i dati del livello piezometrico registrati nel corso del monitoraggio piezometrico che ha interessato le strumentazioni della campagna indagini eseguita a supporto della presente fase progettuale (*Italferr 2021*, *Italferr 2022*) e delle campagne indagini *CI01* e *Italferr 2012*.

12.3.1 Monitoraggio piezometrico della campagna indagine Italferr 2022

Nella Tabella 17 viene riassunto il monitoraggio piezometrico nei fori di sondaggio della campagna indagini *Italferr 2022*. In particolare, si riportano i principali dati disponibili (sigla, piezometro, data, prof. falda, quota falda e note).

sigla	piezometro	data	prof. falda *m dal p.c.*	quota falda *m s.l.m.*	note
SF1 bis	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 2.0* *finestrato: 2.0 - 17.0* *cieco: 17.0 - 20.0*	05/2022	10.86	27.14	
SF2	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 6.0* *finestrato: 6.0 - 27.0* *cieco: 27.0 - 30.0*	05/2022	8.45	10.55	
SR2	2 celle Casagrande *Cella 1: 9.5* *Cella 2: 18.5*	04/2022	c1: 1.85	c1: 174.15	
		04/2022	c2: 1.50	c2: 174.50	
		05/2022	c1: 2.09	c1: 173.91	
		05/2022	c2: 2.06	c2: 173.94	
		06/2022	c1: 1.96	c1: 174.04	
		06/2022	c2: 2.04	c2: 173.96	
SGN15	1 cella Casagrande *Cella 1: 28.0*	04/2022	18.53	186.47	
		05/2022	18.66	186.34	
		06/2022	18.57	186.43	
SR1	2 celle Casagrande *Cella 1: 4.0* *Cella 2: 16.0*	04/2022	c1: 1.00	c1: 168.00	
		04/2022	c2: 6.00	c2: 163.00	
		05/2022	c1: 3.50	c1: 165.50	
		05/2022	c2: 6.70	c2: 162.30	
		06/2022	c1: 3.96	c1: 165.04	
		06/2022	c2: 6.62	c2: 162.38	
SGN14	2 celle Casagrande *Cella 1: 34.0* *Cella 2: 61.0*	05/2022	c1: 18.10	c1: 206.90	
		05/2022	c2: assente	c2: assente	
		06/2022	c2: assente	c2: assente	
		06/2022	c1: 21.25	c1: 203.75	

sigla	piezometro	data	prof. falda *m dal p.c.*	quota falda *m s.l.m.*	note
SR3	Tubo aperto + 1 cella Casagrande *Cella 1: 22.0* *cieco: 0.0 - 2.0* *finestrato: 2.0 - 8.0*	06/2022	ta:6.73	ta:166.27	
		06/2022	c1:7.24	c1:165.76	

Tabella 17 - Dati di monitoraggio piezometrico condotto sulle strumentazioni installate nei fori di sondaggio della campagna indagine *Italferr 2022*, utilizzati nello studio di ricostruzione della falda; in rosso è evidenziata la misura massima rilevata, mentre in blu la minima.

12.3.2 Monitoraggio piezometrico della campagna indagine Italferr 2021

In Tabella 18 viene riassunto il monitoraggio piezometrico nei fori di sondaggio della campagna indagini *Italferr 2021*. In particolare, si riportano i principali dati disponibili (sigla, piezometro, data, prof. falda, quota falda e note).

sigla	piezometro	data	prof. falda *m dal p.c.*	quota falda *m s.l.m.*	note
SVI-01	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 3.0* *finestrato: 3.0 - 50.0*	05/2021	4.60	164.40	
		07/2021	5.50	163.50	
		01/2022	4.50	164.50	
		04/2022	ND	ND	
SGN-03	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 50.0* *finestrato: 50.0 - 62.0* *cieco: 62.0 - 75.0*	07/2021	3.85	66.15	
		01/2022	4.16	65.84	
		04/2022	3.25	66.75	
		05/2022	3.36	66.64	
SVI-03	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 3.0* *finestrato: 3.0 - 47.0* *cieco: 47.0 - 50.0*	05/2021	3.90	163.10	
		07/2021	3.90	163.10	
		01/2022	3.25	163.75	
		04/2022	3.32	163.68	
		05/2022	3.66	163.34	
SVI-05	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 3.0* *finestrato: 3.0 - 21.5* *cieco: 21.5 - 40.0*	05/2021	4.40	1.60	
		07/2021	4.45	1.55	
		01/2022	4.44	1.56	
		04/2022	4.44	1.56	
		05/2022	4.60	1.40	
SGN-01	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 3.0* *finestrato: 3.0 - 32.0* *cieco: 32.0 - 35.0*	05/2021	2.50	185.50	
		07/2021	2.20	185.80	
		01/2022	2.45	185.55	
		04/2022	2.38	185.62	
		05/2022	2.90	185.10	

sigla	piezometro	data	prof. falda *m dal p.c.*	quota falda *m s.l.m.*	note
SGN-08	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 3.0* *cieco: 27.0 - 30.0* *finestrato: 3.0 - 27.0*	07/2021	8.25	185.75	
		07/2021	7.30	186.70	
		01/2022	1.30	192.70	
		04/2022	4.32	189.68	
		05/2022	6.00	188.00	
SGN-02	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 102.0* *finestrato: 102.0 - 114.0* *cieco: 114.0 - 125.0*	07/2021	79.30	174.70	
		01/2022	81.23	172.77	
		04/2022	69.97	184.03	
		05/2022	72.45	181.55	
SGN-06	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 42.0* *finestrato: 42.0 - 54.0* *cieco: 54.0 - 65.0*	06/2021	24.70	40.30	
		07/2021	20.50	44.50	
		01/2022	47.50	17.50	
		04/2022	47.75	17.25	
		05/2022	47.80	17.20	
SGN-07	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 3.0* *cieco: 27.0 - 30.0* *finestrato: 3.0 - 27.0*	06/2021	5.80	28.20	
		07/2021	5.10	28.90	
		01/2022	6.32	27.68	
		04/2022	5.90	28.10	
		05/2022	5.01	28.99	
SVI-07	Tubo aperto *cieco: 0.0 - 3.0* *finestrato: 3.0 - 21.0* *cieco: 21.0 - 40.0*	05/2021	5.10	-0.10	
		07/2021	4.75	0.25	
		01/2022	5.17	-0.17	
		04/2022	4.61	0.39	
		05/2022	4.86	0.14	

Tabella 18 - Dati di monitoraggio piezometrico condotto sulle strumentazioni installate nei fori di sondaggio della campagna indagine *Italferr 2021*, utilizzati nello studio di ricostruzione della falda; in rosso è evidenziata la misura massima rilevata, mentre in blu la minima.

12.3.3 Monitoraggio piezometrico della campagna indagine CI01

In Tabella 19 viene riassunto il monitoraggio piezometrico nei fori di sondaggio della campagna indagini *CI01*. In particolare, si riportano i principali dati disponibili (sigla, piezometro, data, prof. falda, quota falda e note).

sigla	piezometro	data	prof. falda *m dal p.c.*	quota falda *m s.l.m.*	note
S1-PZ	Tubo aperto *cieco 0.0 - 1.0* *finestrato 1.0 - 13.0* *cieco 13.0 - 19.0* *finestrato 19.0 - 22.0* *cieco 22.0 - 25.0*	07/2020	3.10	168.74	

Tabella 19 - Dati di monitoraggio piezometrico condotto sulle strumentazioni installate nei fori di sondaggio della campagna indagine *CI01*, utilizzati nello studio di ricostruzione della falda; in rosso è evidenziata la misura massima rilevata, mentre in blu la minima.

12.3.4 Monitoraggio piezometrico della campagna indagine Italferr 2012

Nella Tabella 20 viene riassunto il monitoraggio piezometrico nei fori di sondaggio della campagna indagini *Italferr 2012*. In particolare, si riportano i principali dati disponibili (sigla, piezometro, data, prof. falda, quota falda e note).

sigla	piezometro	data	prof. falda *m dal p.c.*	quota falda *m s.l.m.*	note
BH06	Tubo aperto *cieco 0.0 - 3.0* *finestrato 3.0 - 29.5*	06/2012	5.30	183.70	
		07/2012	5.30	183.70	
BH05	Tubo aperto *cieco 0.0 - 3.0* *finestrato 3.0 - 29.5*	06/2012	2.80	197.20	
		07/2012	2.80	197.20	
BH04	Tubo aperto *cieco 0.0 - 6.0* *finestrato 6.0 - 100.0*	07/2012	in pressione	in pressione	
BH03	Tubo aperto + 1 cella Casagrande *cieco 0.0 - 6.0* *finestrato 6.0 - 70.0* *Cella 1 78.0*	07/2012	c1: 3.90	c1: 66.10	
		07/2012	c1: 3.90	c1: 66.10	
		07/2012	TA: 4.00	TA: 66.00	
		07/2012	TA: 4.00	TA: 66.00	
BH02	Tubo aperto *cieco 0.0 - 3.0* *finestrato 3.0 - 30.0*	07/2012	6.10	28.90	
		07/2012	6.10	28.90	
BH01	Tubo aperto *cieco 0.0 - 3.0* *finestrato 3.0 - 29.5*	06/2012	6.20	10.80	
		07/2012	6.20	10.80	

Tabella 20 - Dati di monitoraggio piezometrico condotto sulle strumentazioni installate nei fori di sondaggio della campagna indagine *Italferr 2012*, utilizzati nello studio di ricostruzione della falda; in rosso è evidenziata la misura massima rilevata, mentre in blu la minima.

12.4 Opere di captazione ed emergenze sorgentizie

Allo scopo di indagare l'effettiva presenza di falde idriche sotterrane e il relativo andamento della superficie piezometrica, nel corso dello studio si è provveduto ad acquisire tutte le informazioni disponibili relativamente ai pozzi ed alle sorgenti esistenti nel settore di intervento.

Relativamente ai pozzi, sono stati quindi acquisiti i dati provenienti dal "Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)" e dal "Settore Ambiente e Demanio Idrico della Provincia di Cosenza", riassunti nella tabella seguente.

sigla	WGS84/UTM zona 33N		quota *m s.l.m.*	comune	uso	quota falda *m s.l.m.*	fonte *
	X	Y					
A-P01	589845	4355587	30.0	Paola	Irriguo	-15.0	A
A-P02	589850	4355124	25.0	Paola	Domestico	-7.0	A
A-P03	590335	4354606	120.0	Paola	Domestico	90.0	A
A-P04	597349	4358576	595.0	S. Vincenzo La Costa	Domestico	533.0	A
A-P05	597628	4357284	585.0	S. Vincenzo La Costa	Ricerca acque	575.0	A
A-P06	597845	4357164	551.0	S. Vincenzo La Costa	Industriale	511.0	A
A-P07	599436	4358171	451.0	S. Vincenzo La Costa	Irriguo	391.0	A
A-P08	599527	4358573	383.0	S. Vincenzo La Costa	Irriguo	353.0	A
A-P09	600619	4359234	350.0	S. Vincenzo La Costa	Irriguo	311.0	A
A-P10	600715	4359205	325.0	S. Vincenzo La Costa	Irriguo	210.0	A
A-P11	602347	4358887	240.0	Montalto Uffugo	Irriguo	200.0	A
A-P12	604708	4359504	193.0	Montalto Uffugo	Irriguo	173.0	A
A-P13	604938	4358397	243.0	Rende	Domestico	208.0	A
A-P14	605061	4359910	194.0	Montalto Uffugo	Irriguo	183.0	A
A-P15	605350	4359790	180.0	Montalto Uffugo	Agricolo	140.0	A
A-P16	605513	4360132	200.0	Montalto Uffugo	Domestico	180.0	A
A-P17	605606	4360319	225.0	Montalto Uffugo	Irriguo	185.0	A
A-P18	606136	4360048	169.0	Montalto Uffugo	Irriguo	154.0	A
A-P19	606155	4358691	208.0	Rende	Domestico	181.0	A
A-P20	606225	4358785	200.0	Rende	Domestico	174.0	A
A-P21	606364	4360884	250.0	Montalto Uffugo	Irriguo	230.0	A
A-P22	606490	4358665	175.0	Rende	Domestico	167.0	A
A-P23	606726	4358884	170.0	Rende	Irriguo	155.0	A
A-P24	606798	4358885	170.0	Rende	Industriale	163.0	A
A-P25	606882	4361477	147.0	Montalto Uffugo	Irriguo	132.0	A
A-P26	606882	4361477	149.0	Montalto Uffugo	Irriguo	89.0	A

sigla	WGS84/UTM zona 33N		quota *m s.l.m.*	comune	uso	quota falda *m s.l.m.*	fonte *
	X	Y					
A-P27	606953	4361540	150.0	Montalto Uffugo	Non presente	143.0	A
A-P28	607212	4361821	150.0	Montalto Uffugo	Industriale	130.0	A
A-P29	607411	4359541	153.0	Rende	Domestico	140.0	A
A-P30	607576	4361456	150.0	Montalto Uffugo	Industriale	130.0	A
A-P31	588913	4357487	40.0	Paola	pozzo per acqua	43.0	A
A-P32	588915	4357303	10.0	Paola	Pozzo per scambio termico (presa)	9.0	A
A-P33	588987	4357335	17.0	Paola	Pozzo per scambio termico (presa)	10.0	A
A-P34	589035	4357304	16.0	Paola	Pozzo per scambio termico (presa)	10.0	A
A-P35	589319	4357616	66.0	Paola	pozzo per acqua	25.0	A
A-P36	589558	4357588	90.0	Paola	pozzo per acqua	13.0	A
A-P37	589560	4357402	66.0	Paola	pozzo per acqua	18.0	A
A-P38	590212	4352847	35.0	San Lucido	pozzo per acqua	25.0	A
A-P39	590468	4353467	75.0	Paola	pozzo per acqua	10.0	A
A-P40	590591	4353191	48.0	Paola	pozzo per acqua	17.0	A
A-P41	599002	4358412	42.0	San Vincenzo La Costa	pozzo per acqua	-	A
A-P42	599094	4358011	480.0	San Vincenzo La Costa	pozzo per acqua	28.0	A
A-P43	599131	4357911	480.0	San Vincenzo La Costa	pozzo per acqua	32.5	A
A-P44	606077	4357395	190.0	Rende	pozzo per acqua	21.0	A
A-P45	606404	4359712	165.0	Rende	pozzo per acqua	-	A
A-P46	607095	4358211	167.0	Rende	pozzo per acqua	5.4	A
A-P47	607556	4357724	164.0	Rende	pozzo per acqua	12.5	A
A-P48	607603	4357786	161.0	Rende	pozzo per acqua	12.0	A
A-P49	607683	4357202	170.0	Rende	pozzo per acqua	12.0	A
A-P50	607902	4358685	152.0	Rende	pozzo per acqua	-0.2	A
D-P01	589621	4357342	94.0	Paola	-	-	D
D-P02	590008	4354913	60.5	Paola	-	35.5	D
D-P03	607053	4359678	158.0	Rende	-	-	D
D-P04	607795	4360989	140.0	Rende	-	-	D
D-P05	607800	4360681	145.5	Rende	-	-104.5	D
D-P06	599076	4357982	452.0	S. Vincenzo La Costa	Domestico	50.0	D
**Fonte*	*A --> Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)*						
	D --> Settore Ambiente e Demanio Idrico della Provincia di Cosenza						

Tabella 21 - Sintesi dei dati relativi ai pozzi, con indicazione delle fonti di provenienza.

Per quanto concerne le sorgenti, sono stati acquisiti i dati presenti nelle cartografie IGMI al 25000 e nell'archivio dei "Servizi informativi integrati per la gestione del territorio - Demanio Idrico – Regione Calabria", successivamente integrati attraverso un'apposita campagna di censimento sul terreno.

sigla	WGS84/UTM zona 33N		quota	comune	denominazione	uso	portata	fonte*
	X	Y	*m s.l.m.*				*l/s*	
B-S01	590038	4354368	57.0	Paola	Sorg.te Petrulla	-	-	B
B-S02	590385	4355137	137.0	Paola	-	-	-	B
B-S03	590628	4354546	158.0	Paola	Font. S. Francesco	-	-	B
B-S04	591003	4354718	240.0	Paola	-	-	-	B
B-S05	591119	4354413	222.0	Paola	-	-	-	B
B-S06	591388	4355014	418.0	Paola	-	-	-	B
B-S07	592427	4354913	703.0	Paola	-	-	-	B
B-S08	593765	4355552	1025.0	Paola	-	-	-	B
B-S09	593968	4358354	1053.0	Paola	-	-	-	B
B-S10	594613	4358601	999.0	Montalto Uffugo	-	-	-	B
B-S11	594629	4356496	1083.0	Montalto Uffugo	-	-	-	B
B-S12	595219	4358731	1061.0	Montalto Uffugo	-	-	-	B
B-S14	596290	4355966	825.0	San Fili	-	-	-	B
B-S15	597143	4359277	622.0	Montalto Uffugo	-	-	-	B
B-S16	597186	4358667	649.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S17	597353	4358773	579.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S18	598388	4359063	395.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S19	598989	4358453	431.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S20	599038	4357666	428.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S21	599218	4359476	410.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S22	599679	4357657	368.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S23	599692	4359994	385.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S24	599770	4359526	364.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S25	599897	4357431	340.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S26	599910	4359046	385.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S27	600043	4359590	300.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S28	600236	4360106	326.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S29	600591	4357032	320.0	Isoletta	F.te della fica	-	-	B
B-S30	600739	4357736	292.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S31	600898	4358225	246.0	S. Vincenzo La Costa	F.te Cosco	-	-	B
B-S32	601263	4358611	280.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B

sigla	WGS84/UTM zona 33N		quota *m s.l.m.*	comune	denominazione	uso	portata *l/s*	fonte*
	X	Y						
B-S33	601300	4358947	273.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S34	601427	4359606	262.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S36	601673	4358974	257.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	B
B-S38	602156	4360183	305.0	Montalto Uffugo	-	-	-	B
B-S39	602185	4359275	300.0	Montalto Uffugo	-	-	-	B
B-S40	602185	4359512	308.0	Montalto Uffugo	-	-	-	B
B-S41	602228	4357755	240.0	Rende	-	-	-	B
B-S42	602280	4359416	306.0	Montalto Uffugo	-	-	-	B
B-S44	602321	4357317	262.0	Rende	-	-	-	B
B-S45	603053	4357874	280.0	Isoletta	F.te tre labbra	-	-	B
B-S46	603601	4359901	255.0	Montalto Uffugo	-	-	-	B
B-S47	603694	4360638	254.0	Montalto Uffugo	-	-	-	B
B-S48	604000	4359432	195.0	Montalto Uffugo	Font.na di Rottardo	-	-	B
B-S50	604313	4359406	189.0	Montalto Uffugo	Font.na di Rottardo	-	-	B
B-S51	607237	4360710	156.0	Montalto Uffugo	Font.na Sughero	-	-	B
C-S01	589549	4356133	12.0	Paola	Madonna del Rito	Irriguo	15.00	C
C-S04	591470	4357666	500.0	Paola	Acqua Saiona	Irriguo	1.30	C
C-S05	591780	4357762	540.0	Paola	Mezza Capo	Potabile	19.00	C
C-S09	592114	4357828	590.0	Paola	Gr. Fabbricatore	Irriguo	1.90	C
C-S10	592352	4357984	660.0	Paola	Marcello	Irriguo	1.30	C
C-S11	592378	4357769	680.0	Paola	Trifoglio	Irriguo	1.50	C
C-S12	592521	4357863	690.0	Paola	Gr. Consolo	Irriguo	2.70	C
C-S13	592831	4355894	860.0	Paola	Iannotta	Irriguo	14.00	C
C-S14	593077	4355342	860.0	Paola	Gr. Trinchetto	Potabile	1.90	C
C-S16	593116	4356082	940.0	Paola	Elisabetta I	Potabile	-	C
C-S17	593117	4355989	940.0	Paola	Gr. marrabello	Potabile	3.20	C
C-S18	593195	4355466	875.0	Paola	Domici	Potabile	0.10	C
C-S20	593261	4355991	980.0	Paola	Bulla dell'acqua	Potabile	3.30	C
C-S21	593268	4355436	920.0	Paola	Carosello II	Potabile	1.60	C
C-S28	594893	4357583	1050.0	Montalto Uffugo	Petina I	Potabile	6.00	C
C-S29	595102	4358110	1100.0	Montalto Uffugo	Petina II	ND	3.00	C
C-S30	595336	4356633	1100.0	S. Fili	Gr. Pitticella	Potabile	-	C
C-S33	595616	4357222	1150.0	S. Fili	Gr. San Marco	Potabile	-	C
C-S35	596064	4355840	950.0	S. Fili	Pauzia III	Irriguo	12.30	C

sigla	WGS84/UTM zona 33N		quota *m s.l.m.*	comune	denominazione	uso	portata *l/s*	fonte*
	X	Y						
C-S37	596599	4357080	900.0	S. Vincenzo La Costa	Palumbo	Irriguo	1.50	C
C-S41	599423	4359027	365.0	S. Vincenzo La Costa	Giardini	Irriguo	1.00	C
C-S42	600511	4358116	310.0	S. Vincenzo La Costa	Cosco III	Irriguo	0.70	C
E-S01	591168	4354973	385.0	Paola	-	-	0.20	E
E-S02	592908	4355029	770.0	Paola	-	-	0.20	E
E-S06	597351	4358246	592.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	-	E
E-S03	597789	4357421	551.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	0.80	E
E-S04	598074	4357397	510.0	S. Vincenzo La Costa	-	-	1.10	E
E-S05	598694	4357820	495.5	S. Vincenzo La Costa	-	-	1.10	E

**Fonte*
B--> Cartografia 25k IGMI
C--> Regione Calabria - Servizi informativi integrati per la gestione del territorio - Demanio Idrico
E --> Rilievi diretti

Tabella 22 - Sintesi dei dati relativi alle sorgenti, con indicazione della fonte di provenienza.

12.5 Condizioni di deflusso idrico sotterraneo

Tutti i dati raccolti durante il presente studio, di carattere sia geologico che idrogeologico, hanno permesso di definire le caratteristiche peculiari dell'area e di individuare, per grandi linee, il regime di deflusso idrico sotterraneo proprio dei settori di interesse. Quest'ultimo, in particolare, è direttamente connesso alle caratteristiche di permeabilità dei termini litologici presenti e al locale assetto strutturale e litostratigrafico dell'area.

Buona parte dei corpi idrogeologici individuati rappresentano, nello schema di circolazione idrica dell'area, degli acquiferi di importanza più o meno significativa, a seconda delle locali caratteristiche di permeabilità dei litotipi e della estensione areale e verticale dei depositi. Ad essi si aggiungono, inoltre, alcuni corpi idrogeologici di ridotta permeabilità che, nello specifico contesto di riferimento, possono essere considerati degli *acquiclude* o al più degli *acquitard*, in quanto tamponano lateralmente e verticalmente gli acquiferi sotterranei più importanti portando alla formazione di numerose emergenze sorgentizie di importanza variabile.

Nei settori occidentali dell'area di studio, corrispondenti ai rilievi montuosi dell'*Horst* della Catena Costiera, il principale serbatoio di risorse idriche sotterranee è rappresentato dai litotipi cristallino-metamorfici del basamento paleozoico. Questi termini litologici sono caratterizzati, quindi, da una circolazione idrica fortemente eterogenea ed anisotropa, direttamente influenza dal locale stato di alterazione e/o fessurazione dell'ammasso nonchè dalla presenza di elementi tettonici quali faglie e fratture. I litotipi cristallino-metamorfici del basamento paleozoico sono ricoperti da successioni marine mioceniche di limitato spessore ed estensione, prive di una circolazione idrica sotterranea significativa.

In generale, i litotipi cristallino-metamorfici sono contraddistinti dalla sovrapposizione di un acquifero misto (o poroso) superficiale, costituito dai terreni residuali e di alterazione spinta del substrato, e da un acquifero fessurato intermedio, rappresentato dall'ammasso roccioso fratturato. Quest'ultimo è in genere limitato inferiormente dal substrato roccioso impermeabile, mediante un limite di permeabilità indefinito dovuto alla progressiva diminuzione del grado di fessurazione ed alla chiusura delle fratture beanti. Localmente è comunque possibile la presenza di

falde idriche più profonde, poste in corrispondenza delle zone di deformazione tettonica o delle fasce cataclastiche più spesse associate ai maggiori allineamenti strutturali che tagliano i rilievi montuosi della Catena Costiera.

I sondaggi geognostici condotti durante la presente fase di approfondimento progettuale hanno evidenziato l'assenza di falde idriche sotterranee di particolare rilevanza in corrispondenza dei punti di perforazione all'interno della Galleria Santomarco, anche se è stata comunque osservata una ridotta circolazione idrica in uno dei settori. Nel sondaggio SGN10_gall non sono state rinvenute acque sotterranee, mentre nel sondaggio SGN12_gall, superati i 13.30 m di perforazione, è stata registrata la presenza di un livello idrico in prossimità del boccaforo (il sondaggio è inclinato di circa 18.5° dall'orizzontale).

Nel settore più occidentale dell'*Horst* della Catena Costiera, le indagini geognostiche effettuate (sondaggio SGN-05) hanno evidenziato la presenza di una importante falda in pressione all'interno dei termini gneissico-scistosi del substrato cristallino-metamorfico. Tale falda, sostenuta dai termini pelitico-sabbiosi dal substrato, è contenuta all'interno di una porzione di ammasso intensamente fratturata ed alterata, con uno spessore di alcune decine di metri. Verso l'alto, la falda in pressione è confinata da una porzione di ammasso roccioso poco o moderatamente fratturata, con un grado di permeabilità sensibilmente inferiore a quello dell'ammasso sottostante. Durante le fasi di perforazione del sondaggio SGN-05 la falda è stata intercettata intorno ai 42.5 m dal p.c., in corrispondenza di un livello completamente tettonizzato. Durante il carotaggio la falda in pressione ha mostrato una portata di circa 3 l/s ed è risalita alcuni decimetri al di sopra p.c..

Lungo i margini della Catena Costiera le falde degli acquiferi cristallino-metamorfici sono confinate dai termini pelitico-sabbiosi del substrato miocenico, anche se localmente presentano una comunicazione idraulica diretta con i termini conglomeratici del Tortoniano. Sul lato orientale, verso il *Graben* del Crati, i litotipi cristallino-metamorfici sono delimitati da una serie di faglie di faglie dirette ad alto angolo che costituiscono un limite a flusso imposto di notevole rilevanza. Sul lato occidentale, in prossimità della costa tirrenica, i termini cristallino-metamorfici risultano tettonicamente sovrapposti al substrato marino miocenico secondo un limite a flusso imposto di moderata rilevanza, in quanto gran parte del deflusso idrico sotterraneo avviene in corrispondenza delle coperture quaternarie che caratterizzano l'area.

Le falde sono generalmente a superficie libera e con gradienti piezometrici piuttosto elevati, dovuti essenzialmente al grado di permeabilità medio-bassa degli acquiferi. L'andamento delle falde e i principali assi di drenaggio sono controllati dagli elementi tettonici e dallo stato di fratturazione dell'ammasso, anche se spesso coincidono con la superficie topografica nel caso degli acquiferi misti e porosi più superficiali. Le emergenze idriche superficiali sono molto numerose e direttamente connesse alle condizioni geologiche e geomorfologiche dell'area. In particolare, lungo il margine occidentale della Catena Costiera, le principali emergenze sorgentizie sono poste in corrispondenza delle maggiori aree impluviali e sono dovute, probabilmente, all'affioramento della superficie piezometrica in corrispondenza delle aste torrentizie. Lungo il bordo orientale dei suddetti rilievi montuosi, invece, le numerose sorgenti presenti sono situate essenzialmente alla base dei rilievi cristallino-metamorfici e sono dovute ad una soglia di permeabilità costituita dai terreni pelitico-sabbiosi tardo-cenozoici.

Nei settori centrali dell'area di studio, corrispondenti ai rilievi collinari presenti lungo il margine orientale della Catena Costiera, si rinvengono locali acquiferi di secondaria importanza costituiti dai litotipi arenaceo-conglomeratici delle successioni marine tardo-mioceniche. Tali terreni sono caratterizzati, in generale, da una circolazione idrica generalmente superficiale e piuttosto discontinua, connessa sia alla composizione granulometrica dei depositi che al relativo stato di alterazione e/o fessurazione. Le falde idriche sono per lo più discontinue e di modesta rilevanza, con un andamento plano-altimetrico che segue piuttosto bene l'andamento della superficie topografica. Le emergenze sorgentizie, generalmente scarse e poco rilevanti, sono dovute sia

all'affioramento della superficie piezometrica alla base dei versanti che a soglie di permeabilità connesse con la presenza di terreni pelitici di bassa permeabilità.

Nei settori orientali dell'area di interesse progettuale, grossomodo corrispondenti ai rilievi basso collinari posti in sinistra idrografica del Fiume Crati, il principale serbatoio di risorse idriche sotterranee è rappresentato dai depositi sabbioso-conglomeratici del ciclo sedimentario plio-pleistocenico. Tali terreni costituiscono degli acquiferi misti piuttosto eterogenei ed anisotropi, caratterizzati da una circolazione idrica generalmente continua e a deflusso unitario, ma localmente frazionata per la presenza di orizzonti pelitici di notevole estensione. Le falde idriche sono sia a superficie libera che in pressione, con gradienti piezometrici estremamente variabili e strettamente connessi alle caratteristiche granulometriche e litologiche dei depositi. Le sorgenti sono piuttosto numerose ma generalmente di scarsa importanza, in quanto gran parte delle acque sotterranee va ad alimentare l'acquifero poroso della piana alluvionale del Fiume Crati. Tali emergenze risultano particolarmente diffuse nei settori più occidentali del Bacino del Crati e sono dovute, quindi, sia all'affioramento della superficie piezometrica alla base dei rilievi che a soglie di permeabilità connesse con la presenza di depositi pelitici plio-pleistocenici.

Gli acquiferi sotterranei più importanti di tutta l'area di studio sono rappresentati, senza dubbio, dai depositi alluvionali e marini presenti sia lungo la costa tirrenica che in corrispondenza dei principali corsi d'acqua dell'area, come il Fiume Crati ed il Torrente Settimo. Questi depositi costituiscono degli acquiferi porosi particolarmente eterogenei ed anisotropi, caratterizzati da un deflusso idrico generalmente unitario e continuo. In tali acquiferi il deflusso idrico sotterraneo risulta direttamente condizionato dalla presenza di corsi d'acqua superficiali a carattere perenne o stagionale, che portano alla creazione di una estese falde di sub-alveo che defluiscono seguendo grossomodo l'andamento plano-altimetrico della superficie topografica.

Generalmente, le falde dei depositi alluvionali e marini presentano dei gradienti idraulici piuttosto bassi e sono quasi sempre caratterizzati da una superficie libera posta a pochi metri di profondità dal piano campagna. La ridotta profondità della superficie piezometrica e la presenza di locali contrasti di permeabilità favoriscono la formazione di sporadiche emergenze sorgentizie. Tali emergenze sono generalmente corrispondenti ad un limite a potenziale imposto rappresentato dai principali corpi idrici superficiali dell'area. Localmente, comunque, si può assistere ad una temporanea inversione dei rapporti tra falde sotterranee e corpi idrici superficiali, essenzialmente in relazione alle variazioni del livello piezometrico durante l'anno idrologico.

Infine, i depositi di copertura detritico-colluviali presenti in tutta l'area di studio non mostrano la presenza di corpi idrici di una certa rilevanza e, quindi, la circolazione idrica avviene principalmente in senso verticale, tramite il passaggio delle acque piovane dalla superficie topografica alle falde più profonde degli acquiferi sottostanti. Solo localmente sono presenti piccole falde a carattere stagionale, direttamente influenzate dal regime delle precipitazioni meteoriche.

13 SISMICITÀ DELL'AREA

La Calabria è la regione italiana in cui si sono verificati i terremoti di maggiore intensità ed energia (Galli & Bosi 2002), come dimostrato dalla successione di ben 19 eventi con M≥6 avvenuti, a partire dal 91 a.C., lungo una fascia di 180 km che va dallo Stretto di Messina alla valle del F. Crati. Tali terremoti sono ovviamente da mettere in relazione con una serie di strutture attive, spesso molto estese, che attraversano tutto l'arco calabro per profondità mediamente comprese tra 2 e 15 km.

Diversi studi specialistici, realizzati nel corso degli ultimi due decenni, hanno permesso di definire in modo appropriato le caratteristiche sismogenetiche dell'intero territorio nazionale e, quindi, del settore oggetto di studi (Vittori et al. 1997; Valensise & Pantosti 1999; Galadini et al. 2000; Brozzetti et al. 2017).

Il grado di distruzione raggiunto in occasione degli eventi del 1783 e del 1908 è, in assoluto, uno dei più elevati in tutta l'area mediterranea. La quasi totalità dei terremoti calabresi noti è avvenuta però solo a partire dal XVII secolo, con un'importante sequenza sismica che dal 1638 al 1908 ha devastato prevalentemente la parte tirrenica della penisola, da nord a sud. Recenti ricerche d'archivio hanno evidenziato, inoltre, l'esistenza di una sismicità sotterranea anche di elevata magnitudo (M=6), avvenuta sia prima che dopo il XVII secolo e non paragonabile a quella relativa ai terremoti catastrofici della sequenza 1638-1908 (6.7≤M≤7.5).

La gran parte delle strutture sismogenetiche più importanti della Calabria si sono attivate negli ultimi 400 anni e, quindi, il loro tempo di ritorno è superiore al periodo coperto dalle fonti storiche. In tale ottica, la ricerca di ulteriori terremoti distruttivi viene condotta tramite la caratterizzazione paleo-sismica sia delle faglie responsabili degli eventi noti che delle strutture storicamente silenti e supposte attive.

La prima struttura della regione su cui sono state condotte analisi paleo-sismologiche è stata quella del Monte Pollino, considerata silente. A questa sono quindi seguite quella di Cittanova, responsabile del primo terremoto della catastrofica sequenza del 1783 (05/02/1783, Mw=6.9), e quella dei Laghi (Sila Grande), responsabile dell'ultimo *main shock* dell'altrettanto catastrofica sequenza del 1638 (09/06/1638, Mw=6.7). Per quest'ultima faglia, in particolare, sono stati ipotizzati una serie di paleo-terremoti di energia paragonabile a quella dell'evento del 1638, l'ultimo dei quali avvenuto nel primo millennio d.C..

Per quanto riguarda le cause, la frequenza e l'intensità dei terremoti che hanno più volte interessato la Calabria negli ultimi secoli, diversi Autori hanno attribuito tali elementi ai processi geodinamici in atto nella regione. Attualmente sono state individuate e parametrizzate, tramite analisi paleo-sismologica, solo alcune delle sorgenti sismogenetiche degli eventi di maggiore energia, mentre altre restano sconosciute o incerte, come nel caso delle strutture della stretta di Catanzaro responsabili del terremoto del 28 marzo 1783.

Anche la distribuzione degli epicentri localizzati dal 1986 mostra una netta separazione tra la porzione settentrionale, sede di numerose scosse strumentali, e quella meridionale, che appare al momento quiescente. Tra le scosse di maggiore energia registrate in questo periodo, si possono contare venticinque terremoti con magnitudo maggiore di 3.0, anche se solamente due superano la magnitudo 3.5. In particolare, sono da ricordare i due terremoti del 20 febbraio 1980, rispettivamente di magnitudo 4.3 e 4.0, che produssero danni del VII MCS nel territorio di Rende e nell'immediato circondario di Cosenza.

In realtà gli eventi di maggiore energia negli ultimi 20 anni sembrano localizzati in prevalenza al margine orientale della zona, in continuità con la sismicità dell'altopiano silano, mentre sono rari gli epicentri localizzati in coincidenza dell'emersione delle maggiori faglie regionali sul bordo occidentale della valle del Crati.

La sismicità della zona mostra un andamento piuttosto regolare nel tempo, anche se di basso livello, mentre gli eventi maggiori sono espressi come scosse singole o, comunque, con un numero sempre limitato di repliche. La distribuzione delle scosse con la profondità mostra un notevole addensamento di ipocentri tra i 10 ed i 30 km, come avviene per la sismicità della fascia silana.

I consistenti rilasci di energia che si osservano fino a 60 km sono connessi, verosimilmente, con la flessura e la subduzione della piastra ionica sotto la microplacca calabra. A profondità maggiori di 30 km, infatti, sono stati osservati diversi terremoti con meccanismo focale compressivo (Moretti & Guerra 1997).

La cinematica recente è controllata da almeno 3 segmenti di faglia maggiori, attivi dopo il Pleistocene e con evidenze di riattivazione in occasione del terremoto del 27 marzo 1638 (Imax =11). I diversi segmenti sono in realtà separati, alla latitudine di Cosenza, da una faglia di trasferimento diretta E-W e presentano caratteristiche morfologiche e strutturali piuttosto diverse.

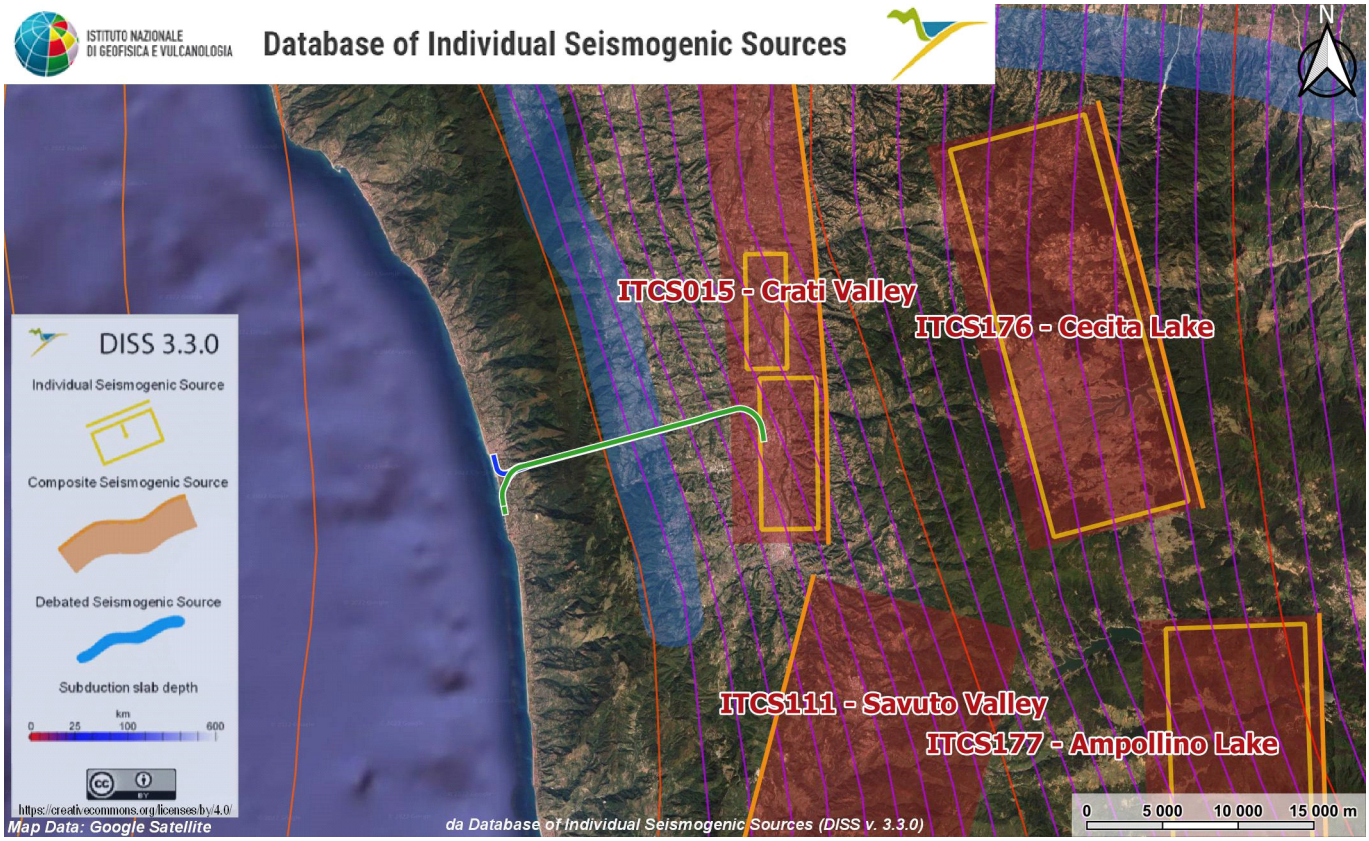


Figura 35 – Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti con M>5.5 nell'area di studio, in scala 1:500000, (da DISS Working group 2022, *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS), versione 3.3.0., http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml), con individuazione della tratta ferroviaria (blu-verde).

La consultazione del database DISS (vers.3.3.0., 2022), mostra (Figura 35) che il territorio di studio ricade nella zona di subduzione ITSD001 *Calabrian Arc* (Tabella 23, Faccenna et al. 2005; Van Dijk et al. 2000; Finetti 2005; Chiarabba et al. 2008*;* Bordoni & Valensise 1998). Mentre, relativamente alle potenziali sorgenti sismogenetiche con magnitudo maggiore di 5.5, mostra come il settore orientale del tracciato oggetto di studio (Figura 35) sia direttamente interessato dalla sorgente sismogenetica composita ITCS015 *Crati Valley* (Tabella 24, profondità

stimata 1.0 ÷ 10.0 km, magnitudo massima 6.0, *Slip rate* 0.4 ÷ 1.0 mm/anno). Tale sorgente sismogenetica include le sorgenti individuali ITIS097 *Luzzi* (profondità stimata 1.0 ÷ 6.7 km, magnitudo massima 5.8, *Slip rate* 0.4 ÷ 1.0 mm/anno) a nord e la sorgente sismogenetica individuale ITIS098 *Castiglione Cosentino* (Tabella 25, profondità stimata 1.0 ÷ 7.5 km, magnitudo massima 5.9, *Slip rate* 0.4 ÷ 1.0 mm/anno) a sud. Quest'ultima sorgente sismogenetica individuale intercetta il tracciato d'interesse progettuale nella porzione più orientale. Inoltre, nel settore centrale dell'area di studio è presente la dalla sorgente sismogenetica in corso di dibattito ITDS030 *Catena Costiera* proposta da (Tortorici et al. 1995), basata su evidenze geologiche e geomorfologiche.

Parameter			Quality	Evidence
Min Seismogenic depth	*km*	10.0	EJ	Inferred from tectonic and seismological considerations.
Max Seismogenic depth	*km*	50.0	EJ	Inferred from tectonic and seismological considerations.
Dip direction	-	NW	LD	Based on geophysical data from various authors.
Convergence azimuth	*deg*	275÷310	LD	Based on geodetic data from various authors.
Convergence rate min - max	*mm/y*	1.0÷5.0	LD	Based on geodetic data from various authors.
Max Magnitude	*Mw*	7.1	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.

Tabella 23 – Quadro riassuntivo della zona di subduzione ITSD001 *Calabrian Arc*. Legenda LD=literature data, EJ=expert judgement.

Parameter			Quality	Evidence
Min depth	*km*	1.0	EJ	Inferred from geological and seismological observations.
Max depth	*km*	10.0	EJ	Inferred from geological and seismological observations.
Strike min - max	*deg*	160÷200	EJ	Inferred from geological observations.
Dip min - max	*deg*	40÷70	EJ	Inferred from geological observations.
Rake min - max	*deg*	260÷280	EJ	Inferred from geological and seismological observations.
Slip Rate min - max	*mm/y*	0.4÷1.0	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude	*Mw*	6.0	OD	Based on the strongest earthquake occurred in the region.

Tabella 24 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composita ITCS015 *Crati Valley*. Legenda OD=original data, EJ=expert judgement.

Parameter			Quality	Evidence
Min depth	*km*	1.0	EJ	Based on geological and seismological considerations.
Max depth	*km*	7.5	AR	Derived from dip, width and min depth.
Strike	*deg*	180	OD	Based om geological data.
Dip	*deg*	60	EJ	Based on geological considerations.
Rake	*deg*	270	EJ	Based on geological and seismological considerations.
Slip Rate min - max	*mm/y*	0.4÷1.0	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude	*Mw*	5.9	LD	Value adopted from the historical earthquake catalogue CPTI04.

Tabella 25 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica individuale ITIS098 *Castiglione Cosentino*. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.

Per quanto riguarda l'attuale Zonazione sismogenetica del territorio nazionale ZS9 (Meletti & Valensise 2004), il tracciato oggetto di studio, ad esclusione della porzione più orientale, ricade nella **Zona 929** "*Calabria Tirrenica*"

(Figura 36), una delle aree a più elevata sismicità d'Italia. Sulla base degli studi sismologici più aggiornati, in questa zona sono attesi terremoti con profondità medio-elevata (P = 8-12 km) e di elevata magnitudo (M_{max} = 7.29), riconducibili a meccanismi di fagliazione prevalentemente normali (Meletti & Valensise 2004).

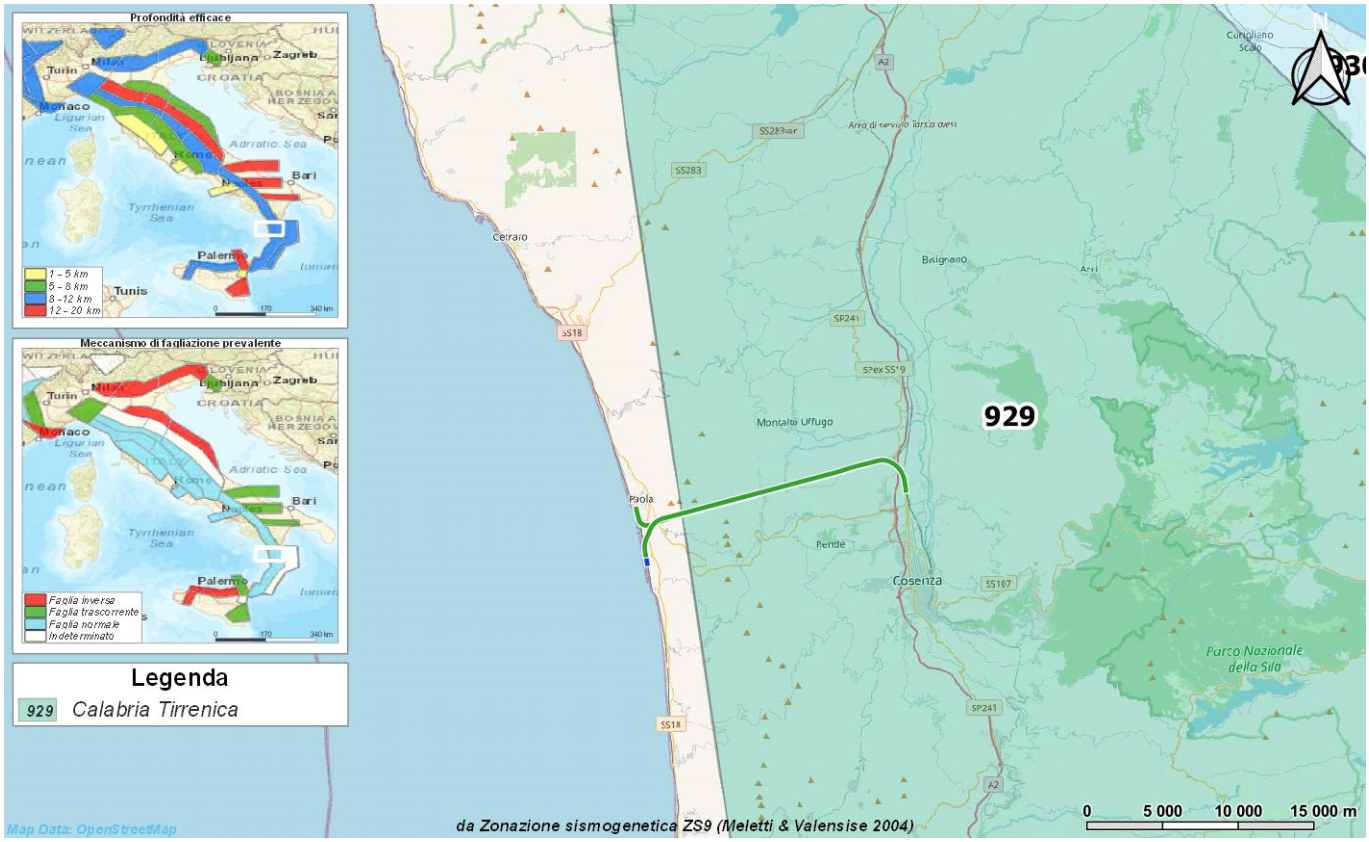


Figura 36 – Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 dell'area di studio, riprodotto in scala 1:500000, con individuazione delle opere in progetto (blu-verde).

13.1 Sismicità storica

Nonostante il catalogo sismico copra un intervallo tempo di oltre 2000 anni, molti degli eventi registrati nell'area di studio sono concentrati nell'arco di tre secoli, tra il 1638 e il 1908, anche per via della maggiore accuratezza e della completezza dei documenti storici rinvenuti. L'ultimo terremoto di grande intensità, infatti, è stato quello del 1908, la cui Magnitudo è stata valutata pari a 7.1. Nella Tabella 26 sono riportati i parametri dei maggiori eventi sismici documentati in Calabria.

data	ora	area epicentrale	I_0	I_{max}	M_e
27/03/1638	21:00	Lametino	11.0	11.0	6.9
08/06/1638	08:00	Crotonese	10.0	10.0	6.6
05/11/1659	06:00	Serra San Bruno	10.0	10.0	6.4
08/03/1832	15:00	Crotonese	10.0	10.0	6.5
12/10/1835	13:00	Cosentino	9.0	10.0	5.9

data	ora	area epicentrale	I_0	I_{max}	M_e
24/04/1836	06:15	Rossano	9.0	10.0	6.3
16/11/1894	17:52	Bagnara Calabra	9.0	9.0	6.2
08/09/1905	01:43	Golfo Di S. Eufemia	10.0	10.5	6.8
28/12/1908	04:20	Stretto Di Messina	11.0	11.0	7.1

Tabella 26 - Parametri sismici relativi ai terremoti storici della Calabria, dal 1638 al 1908 (http://www.INGV.it).

Nel Bacino del Crati, dove gli eventi più forti hanno una magnitudo compresa tra 6 e 6.5, i tempi di ritorno sembrano essere minori, intorno ai 700-800 anni (Figura 37). Alcuni studi recenti (Scionti et al. 2004) hanno evidenziato in quest'area l'esistenza di una sismicità non ancora pienamente documentata e responsabile di terremoti di magnitudo circa uguale a 6.

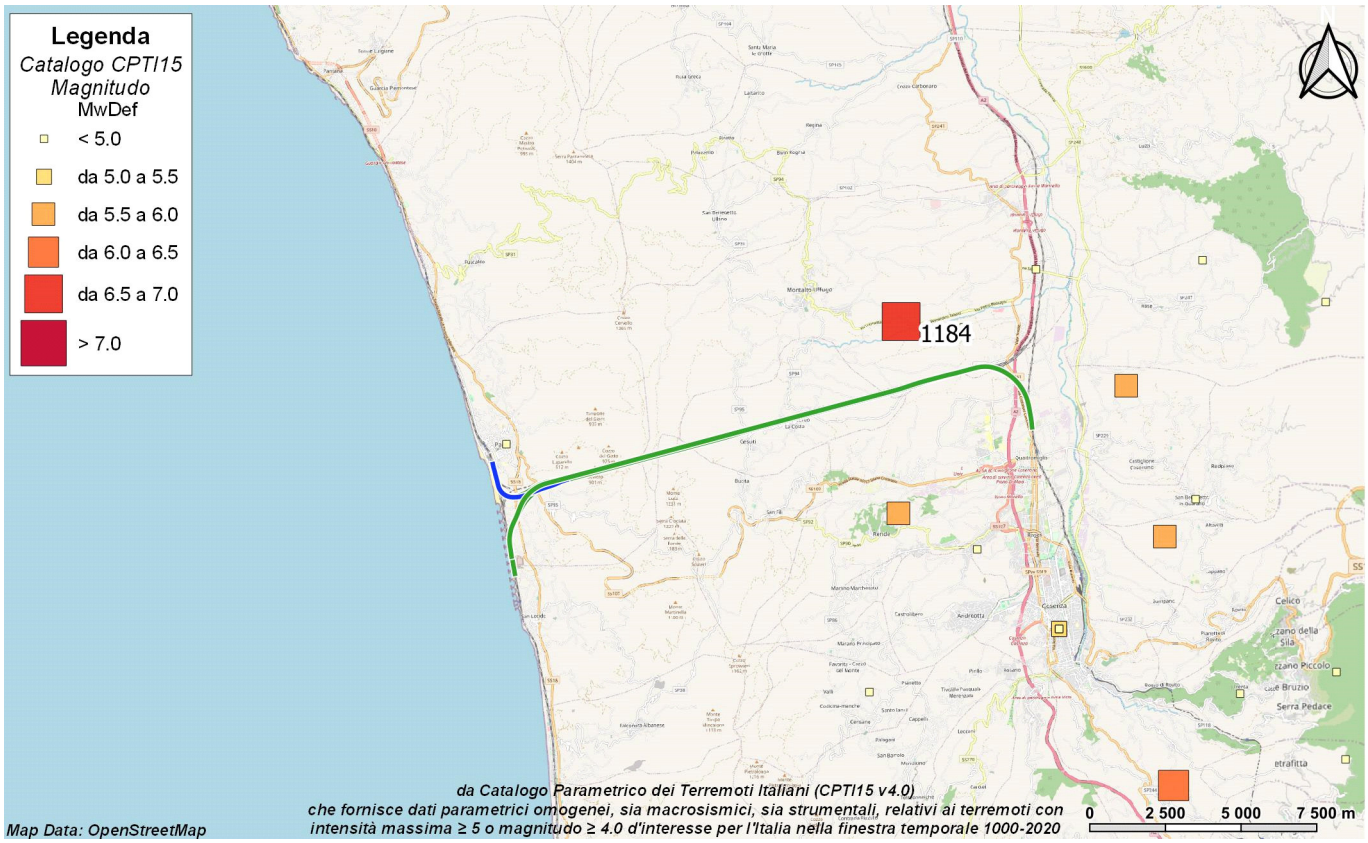


Figura 37 – Epicentri e magnitudo dei principali terremoti storici che hanno interessato la Calabria nord-occidentale, in scala 1:250000, con indicazione della tratta in oggetto (blu-verde).

Di seguito sono elencati gli eventi sismici riportati nel Database Macrosismico Italiano pubblicato dall'INGV (versione DBMI15 v4.0, Rovida et al. 2022) al fine di documentare la storia sismica del centro abitato di Montalto Uffugo, Paola, Rende, San Lucido, San Fili, e San Vincenzo la Costa, tutti ricadenti nella provincia di Cosenza (http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/).

Storia sismica di Montalto Uffugo

[39.405, 16.158]

Numero eventi: 21

Effetti	In occasione del terremoto del:											
I	**N**	**Year**	**Mo**	**Da**	**Ho**	**Mi**	**Se**	**EpicentralArea**	**DepDef**	**IoDef**	**MwDef**	**ErMwDef**
8-9	453	1638	3	27	15	5		Calabria centrale		11	7.09	0.1
7-8	896	1783	3	28	18	55		Calabria centrale		11	7.03	0.1
7-8	1235	1854	2	12	17	50		Cosentino		10	6.34	0.1
6	1342	1870	10	4	16	55		Cosentino		9-10	6.24	0.13
7-8	1514	1886	3	6				Cosentino		7-8	5.57	0.33
5	1538	1887	12	3	3	45		Calabria settentrionale		8	5.55	0.12
7	1883	1905	9	8	1	43		Calabria centrale		10-11	6.95	0.09
6-7	1972	1908	12	28	4	20	27	Stretto di Messina		11	7.1	0.18
6	2118	1915	1	18	23	30		Cosentino		6-7	4.97	0.31
3	2787	1958	7	13	20	48		Sila Piccola		5-6	4.56	0.27
6	3229	1980	2	20	2	34	1	Cosentino		6-7	4.42	0.1
3	3544	1988	1	8	13	5	46.75	Pollino	5.2	7	4.7	0.1
3	3558	1988	4	13	21	28	27.56	Golfo di Taranto	2.7	6-7	4.86	0.07
5-6	3625	1990	5	5	7	21	29.61	Potentino	10		5.77	0.1
2	3716	1993	8	10	1	14	11.45	Golfo di Taranto	0.1	4-5	4.45	0.14
3	3804	1996	4	27	0	38	26.81	Sila Greca	13.7	6-7	4.77	0.07
3	3814	1996	8	6	22	20	53.33	Valle del Crati	1.8	4-5	3.08	0.12
4-5	4043	2000	8	3	9	47	21.28	Valle del Crati	11.7	5-6	4.02	0.11
3-4	4111	2001	10	18	11	2	46.25	Valle del Crati	5.8	5	4.28	0.07
NF	4234	2004	5	5	13	39	42.93	Isole Eolie	228.6		5.42	0.07
NF	4292	2006	4	17	2	44	6.43	Costa calabra settentrionale	10	4-5	4.76	0.07

Tabella 27 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Montalto Uffugo (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); N numero di registrazione del terremoto in ordine cronologico; EpicentralArea area epicentrale o area con i maggiori effetti macrosismici; DepDef profondità predefinita MCS); Mw magnitudo momento; ErMw errore associato alla magnitudo momento.

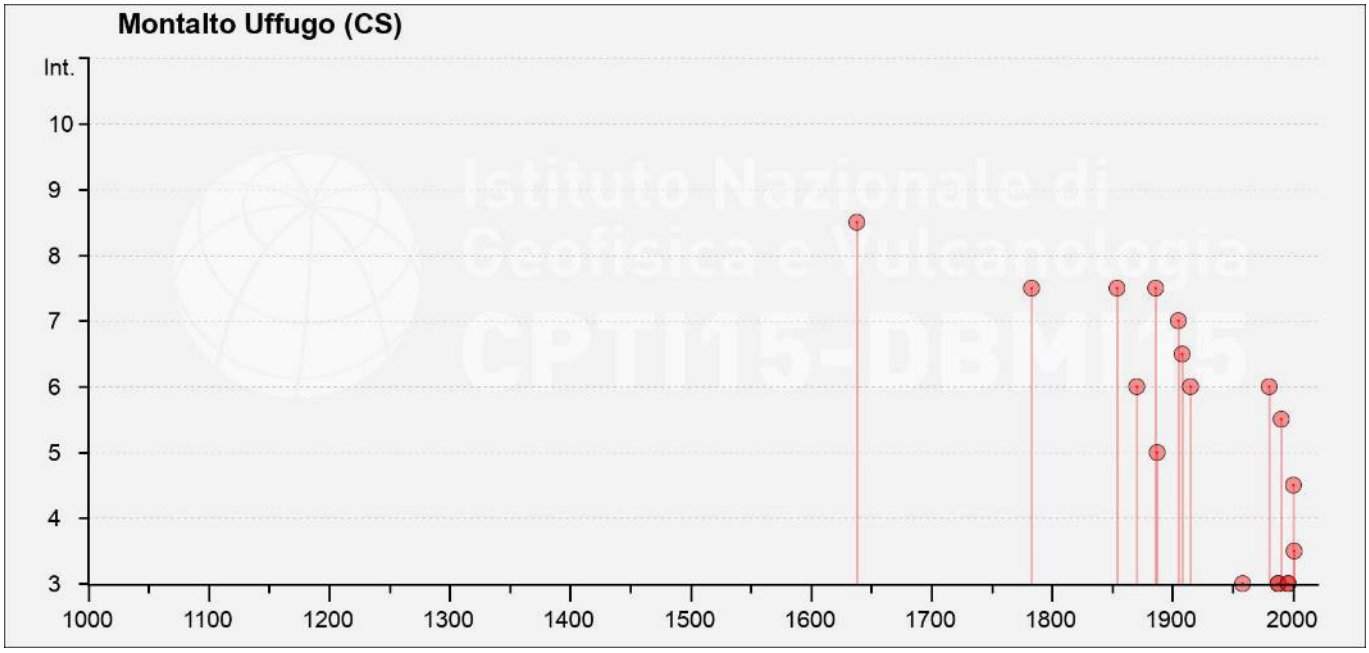


Figura 38 – Grafico illustrante la storia sismica di Montalto Uffugo. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

Storia sismica di Paola

[39.360, 16.041]

Numero eventi: 37

Effetti	In occasione del terremoto del:											
I	**N**	**Year**	**Mo**	**Da**	**Ho**	**Mi**	**Se**	**EpicentralArea**	**DepDef**	**IoDef**	**MwDef**	**ErMwDef**
7-8	453	1638	3	27	15	5		Calabria centrale		11	7.09	0.1
4-5	488	1659	11	5	22	15		Calabria centrale		10	6.57	0.1
6	892	1783	2	5	12			Calabria meridionale		11	7.1	0.1
6	894	1783	2	7	13	10		Calabria centrale		10-11	6.74	0.1
7-8	896	1783	3	28	18	55		Calabria centrale		11	7.03	0.1
4	1077	1828	3	12				Calabria meridionale		7	5.1	0.46
5	1106	1832	3	8	18	30		Crotonese		10	6.65	0.1
6	1135	1835	10	12	22	35		Cosentino		9	5.89	0.28
6	1235	1854	2	12	17	50		Cosentino		10	6.34	0.1
5	1268	1857	12	16	21	15		Basilicata		11	7.12	0.1
5	1342	1870	10	4	16	55		Cosentino		9-10	6.24	0.13
5	1353	1872	10	8	13	25		Cosentino		5	4.72	0.52
5	1446	1881	4	23	4	12		Paola		5	4.16	0.46

Effetti	In occasione del terremoto del:											
7	1538	1887	12	3	3	45		Calabria settentrionale		8	5.55	0.12
7	1883	1905	9	8	1	43		Calabria centrale		10-11	6.95	0.09
4	1931	1907	10	23	20	28	19	Aspromonte		8-9	5.96	0.08
5-6	1972	1908	12	28	4	20	27	Stretto di Messina		11	7.1	0.18
F	2015	1910	6	7	2	4		Irpinia-Basilicata		8	5.76	0.08
7	2079	1913	6	28	8	53	2	Calabria settentrionale		8	5.64	0.08
F	2118	1915	1	18	23	30		Cosentino		6-7	4.97	0.31
5-6	2373	1928	3	7	10	55		Calabria centro-meridionale		7-8	5.87	0.12
4	2422	1930	7	23	0	8		Irpinia		10	6.67	0.08
4	2703	1953	2	25	0	7	46	Vibonese		5-6	4.88	0.2
5	3178	1977	8	15	21	10	32.51	Calabria centrale	57.6		5.21	0.1
NF	3194	1978	4	15	23	33	48.15	Golfo di Patti	17.9	8	6.03	0.1
5-6	3229	1980	2	20	2	34	1	Cosentino		6-7	4.42	0.1
5	3256	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata		10	6.81	0.1
NF	3625	1990	5	5	7	21	29.61	Potentino	10		5.77	0.1
4-5	3673	1991	12	15	5	52	19.85	Cosentino	0.1	5-6	4.26	0.1
NF	3729	1994	1	5	13	24	11.37	Tirreno meridionale	290.5		5.82	0.1
2-3	3804	1996	4	27	0	38	26.81	Sila Greca	13.7	6-7	4.77	0.07
NF	3814	1996	8	6	22	20	53.33	Valle del Crati	1.8	4-5	3.08	0.12
NF	3840	1997	7	8	8	13	42.92	Valle del Crati	26	5	4.04	0.08
4-5	4043	2000	8	3	9	47	21.28	Valle del Crati	11.7	5-6	4.02	0.11
NF	4111	2001	10	18	11	2	46.25	Valle del Crati	5.8	5	4.28	0.07
NF	4234	2004	5	5	13	39	42.93	Isole Eolie	228.6		5.42	0.07
NF	4269	2005	4	23	19	11	41.69	Costa calabra settentrionale	19.1	4	4.15	0.07

Tabella 28 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Paola (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); N numero di registrazione del terremoto in ordine cronologico; EpicentralArea area epicentrale o area con i maggiori effetti macrosismici; DepDef profondità predefinita MCS); Mw magnitudo momento; ErMw errore associato alla magnitudo momento.

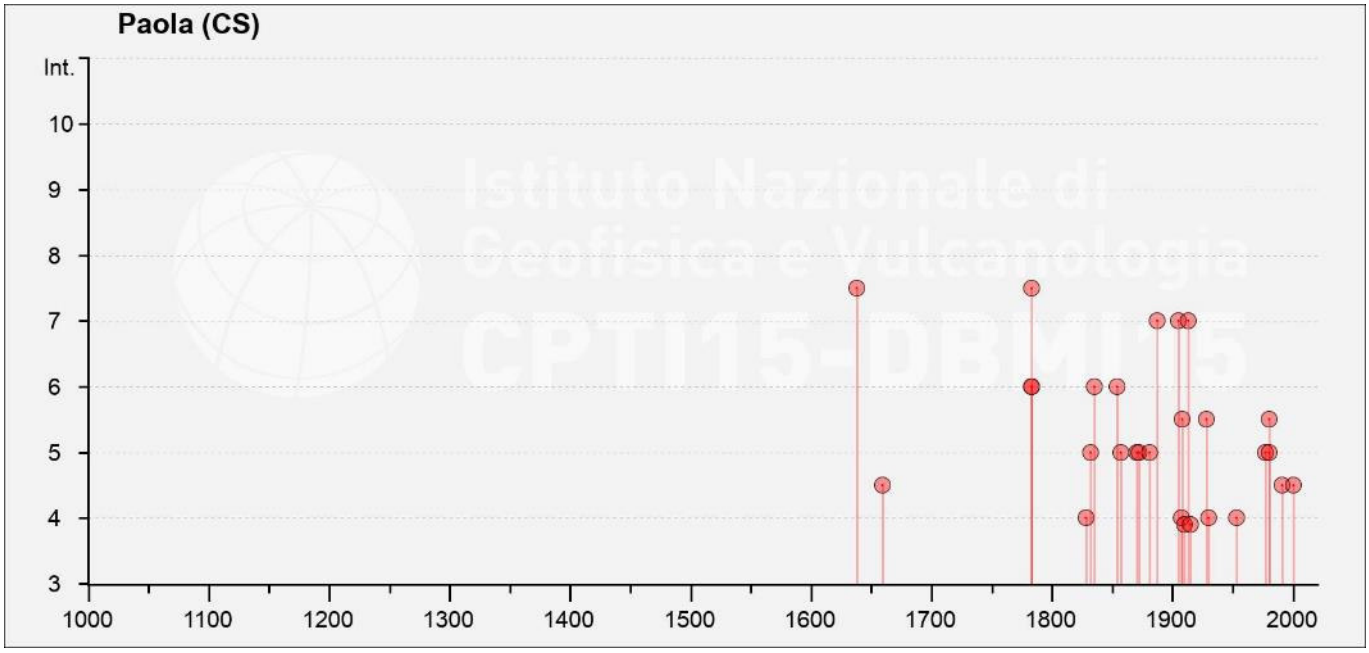


Figura 39 – Grafico illustrante la storia sismica di Paola. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

Storia sismica di Rende

[39.331, 16.183]

Numero eventi: 22

Effetti	In occasione del terremoto del:											
I	**N**	**Year**	**Mo**	**Da**	**Ho**	**Mi**	**Se**	**EpicentralArea**	**DepDef**	**IoDef**	**MwDef**	**ErMwDef**
9	453	1638	3	27	15	5		Calabria centrale		11	7.09	0.1
7-8	896	1783	3	28	18	55		Calabria centrale		11	7.03	0.1
8	1135	1835	10	12	22	35		Cosentino		9	5.89	0.28
9	1235	1854	2	12	17	50		Cosentino		10	6.34	0.1
7-8	1514	1886	3	6				Cosentino		7-8	5.57	0.33
6	1538	1887	12	3	3	45		Calabria settentrionale		8	5.55	0.12
7-8	1883	1905	9	8	1	43		Calabria centrale		10-11	6.95	0.09
5	1972	1908	12	28	4	20	27	Stretto di Messina		11	7.1	0.18
4	2622	1947	5	11	6	32	15	Calabria centrale		8	5.7	0.08
NF	2787	1958	7	13	20	48		Sila Piccola		5-6	4.56	0.27
3	2790	1958	10	27	10	9		Catanzarese		5-6	4.59	0.21
6-7	3229	1980	2	20	2	34	1	Cosentino		6-7	4.42	0.1
F	3239	1980	5	28	19	51	20.04	Tirreno meridionale	18.9	5-6	5.66	0.1

Effetti	In occasione del terremoto del:											
5	3256	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata		10	6.81	0.1
4	3544	1988	1	8	13	5	46.75	Pollino	5.2	7	4.7	0.1
3-4	3558	1988	4	13	21	28	27.56	Golfo di Taranto	2.7	6-7	4.86	0.07
3	3625	1990	5	5	7	21	29.61	Potentino	10		5.77	0.1
3	3716	1993	8	10	1	14	11.45	Golfo di Taranto	0.1	4-5	4.45	0.14
3	3804	1996	4	27	0	38	26.81	Sila Greca	13.7	6-7	4.77	0.07
4-5	3840	1997	7	8	8	13	42.92	Valle del Crati	26	5	4.04	0.08
4	4111	2001	10	18	11	2	46.25	Valle del Crati	5.8	5	4.28	0.07
3	4234	2004	5	5	13	39	42.93	Isole Eolie	228.6		5.42	0.07

Tabella 29 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Rende (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); N numero di registrazione del terremoto in ordine cronologico; EpicentralArea area epicentrale o area con i maggiori effetti macrosismici; DepDef profondità predefinita MCS); Mw magnitudo momento; ErMw errore associato alla magnitudo momento.

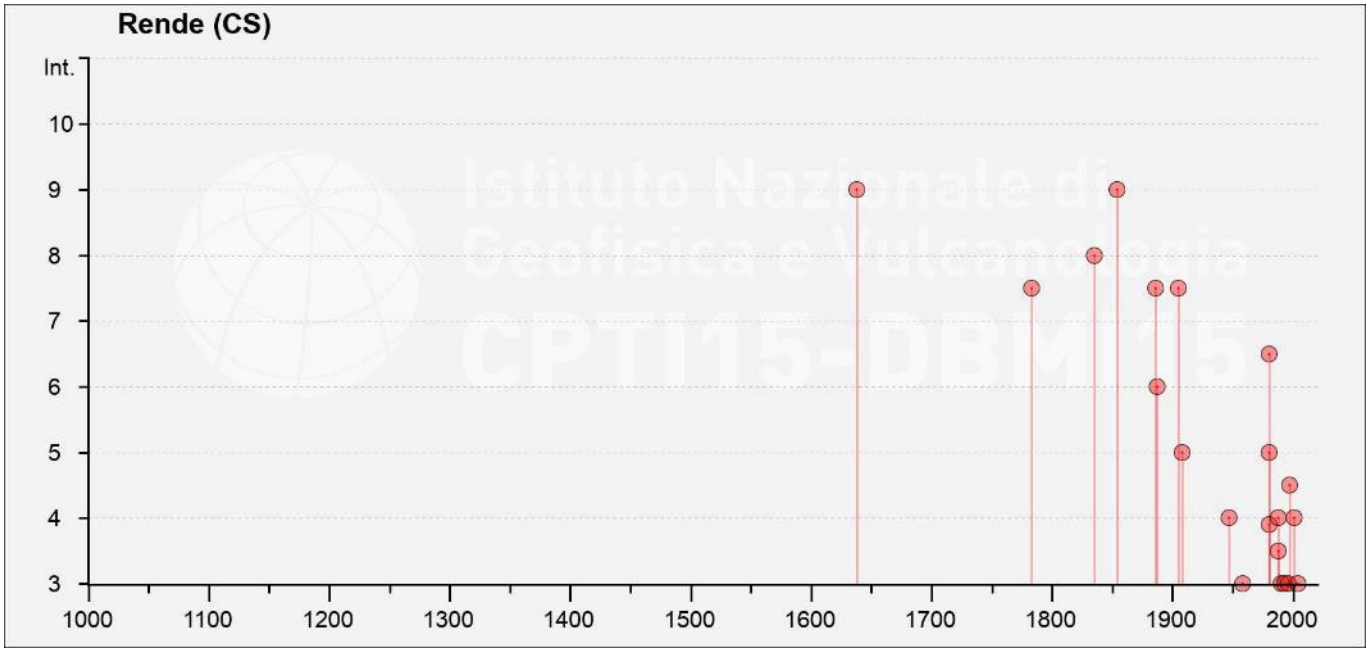


Figura 40 – Grafico illustrante la storia sismica di Rende. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

Storia sismica di San Fili

[39.338, 16.144]

Numero eventi: 8

Effetti	In occasione del terremoto del:											
I	**N**	**Year**	**Mo**	**Da**	**Ho**	**Mi**	**Se**	**EpicentralArea**	**DepDef**	**IoDef**	**MwDef**	**ErMwDef**
8	453	1638	3	27	15	5		Calabria centrale		11	7.09	0.1
7	896	1783	3	28	18	55		Calabria centrale		11	7.03	0.1
8	1235	1854	2	12	17	50		Cosentino		10	6.34	0.1
7-8	1883	1905	9	8	1	43		Calabria centrale		10-11	6.95	0.09
6	1972	1908	12	28	4	20	27	Stretto di Messina		11	7.1	0.18
5-6	3229	1980	2	20	2	34	1	Cosentino		6-7	4.42	0.1
5	3256	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata		10	6.81	0.1
3	3840	1997	7	8	8	13	42.92	Valle del Crati	26	5	4.04	0.08

Tabella 30 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di San Fili (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); N numero di registrazione del terremoto in ordine cronologico; EpicentralArea area epicentrale o area con i maggiori effetti macrosismici; DepDef profondità predefinita MCS); Mw magnitudo momento; ErMw errore associato alla magnitudo momento.

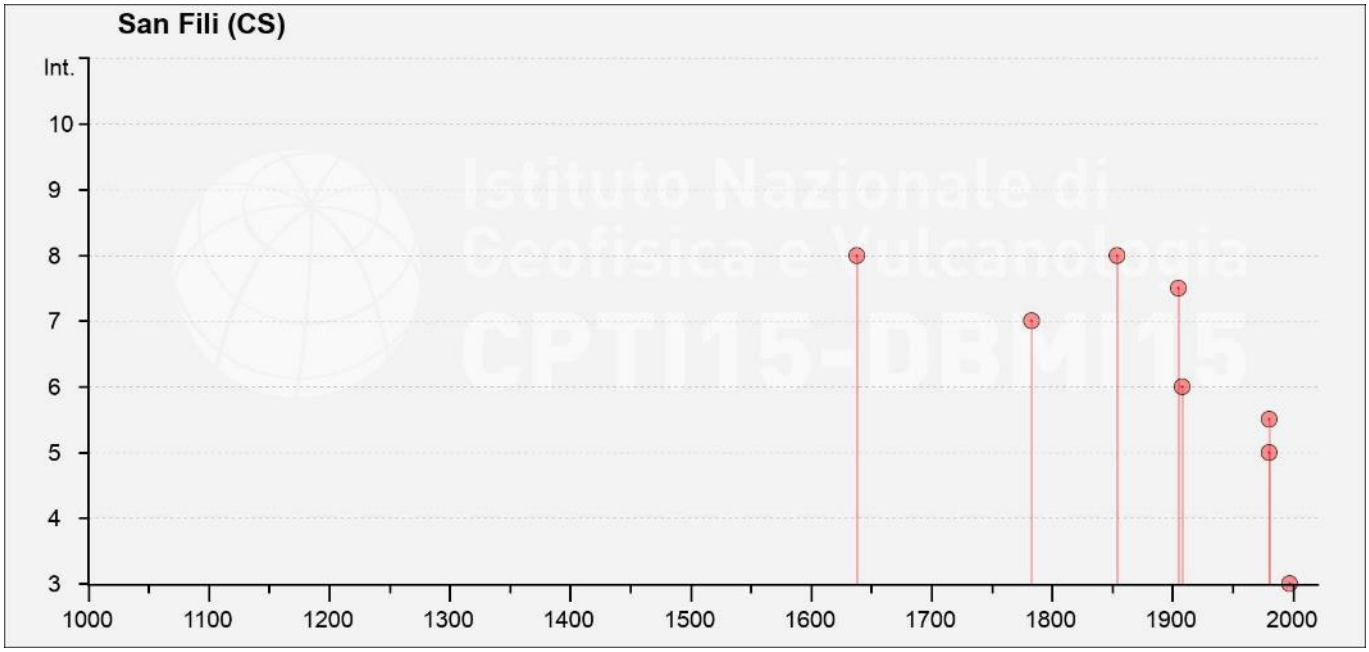


Figura 41 – Grafico illustrante la storia sismica di San Fili. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

Storia sismica di San Lucido

[39.307, 16.049]

Numero eventi: 13

Effetti	**In occasione del terremoto del:**											
I	**N**	**Year**	**Mo**	**Da**	**Ho**	**Mi**	**Se**	**EpicentralArea**	**DepDef**	**IoDef**	**MwDef**	**ErMwDef**
9	27	1184	5	24				Valle del Crati		9	6.75	0.27
8	453	1638	3	27	15	5		Calabria centrale		11	7.09	0.1
6	892	1783	2	5	12			Calabria meridionale		11	7.1	0.1
7	896	1783	3	28	18	55		Calabria centrale		11	7.03	0.1
6-7	1235	1854	2	12	17	50		Cosentino		10	6.34	0.1
6-7	1538	1887	12	3	3	45		Calabria settentrionale		8	5.55	0.12
7-8	1883	1905	9	8	1	43		Calabria centrale		10-11	6.95	0.09
6-7	1972	1908	12	28	4	20	27	Stretto di Messina		11	7.1	0.18
7	2079	1913	6	28	8	53	2	Calabria settentrionale		8	5.64	0.08
NF	2087	1913	10	4	18	26		Molise		7-8	5.35	0.07
5-6	3229	1980	2	20	2	34	1	Cosentino		6-7	4.42	0.1
4-5	3673	1991	12	15	5	52	19.85	Cosentino	0.1	5-6	4.26	0.1
NF	4298	2006	6	22	19	34	58.34	Costa calabra settentrionale	10		4.7	0.07

Tabella 31 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di San Lucido (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); N numero di registrazione del terremoto in ordine cronologico; EpicentralArea area epicentrale o area con i maggiori effetti macrosismici; DepDef profondità predefinita MCS); Mw magnitudo momento; ErMw errore associato alla magnitudo momento.

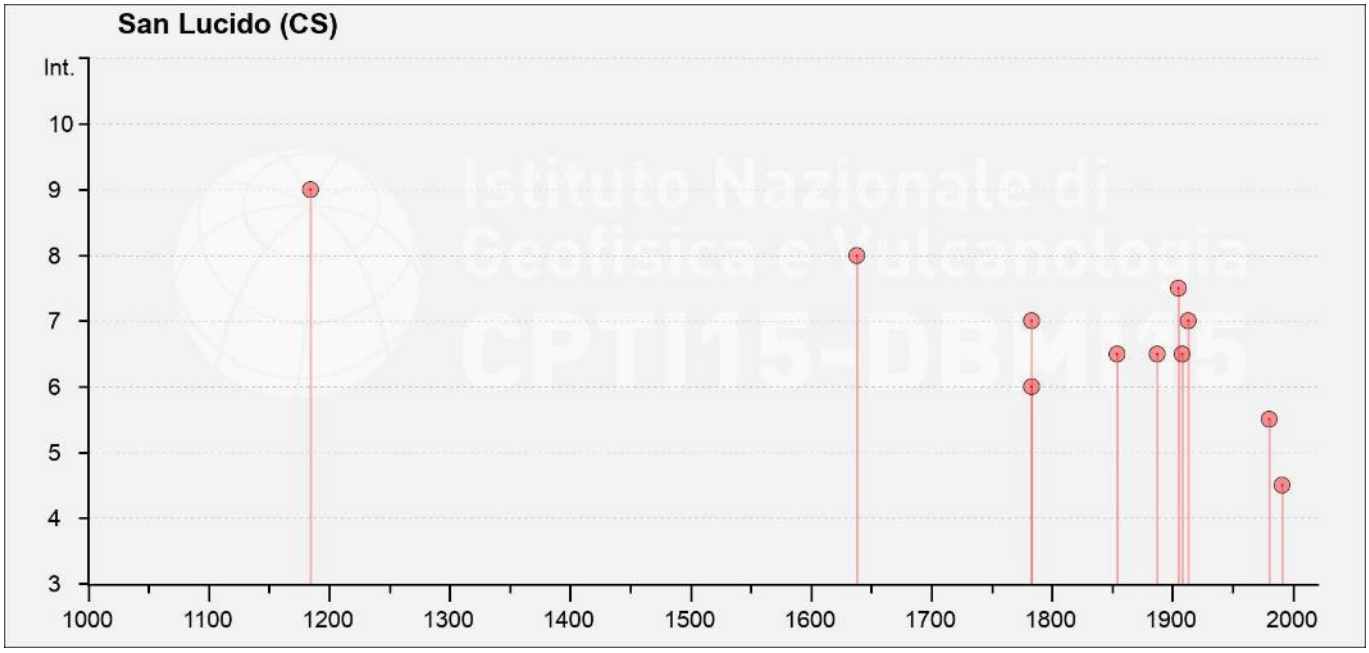


Figura 42 – Grafico illustrante la storia sismica di San Lucido. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

Storia sismica di San Vincenzo la Costa

[39.364, 16.151]

Numero eventi: 8

Effetti	In occasione del terremoto del:											
I	**N**	**Year**	**Mo**	**Da**	**Ho**	**Mi**	**Se**	**EpicentralArea**	**DepDef**	**IoDef**	**MwDef**	**ErMwDef**
8	1235	1854	2	12	17	50		Cosentino		10	6.34	0.1
NF	1720	1897	12	6	3	15		San Giovanni in Fiore		4	3.9	0.47
7-8	1883	1905	9	8	1	43		Calabria centrale		10-11	6.95	0.09
5	3558	1988	4	13	21	28	27.56	Golfo di Taranto	2.7	6-7	4.86	0.07
4	3625	1990	5	5	7	21	29.61	Potentino	10		5.77	0.1
3	3650	1991	3	30	3	4	58.52	Valle del Crati	8.4	5	4.01	0.11
3	3814	1996	8	6	22	20	53.33	Valle del Crati	1.8	4-5	3.08	0.12
NF	4269	2005	4	23	19	11	41.69	Costa calabra settentrionale	19.1	4	4.15	0.07

Tabella 32 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di San Vincenzo la Costa (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); N numero di registrazione del terremoto in ordine cronologico; EpicentralArea area epicentrale o area con i maggiori effetti macrosismici; DepDef profondità predefinita MCS); Mw magnitudo momento; ErMw errore associato alla magnitudo momento.

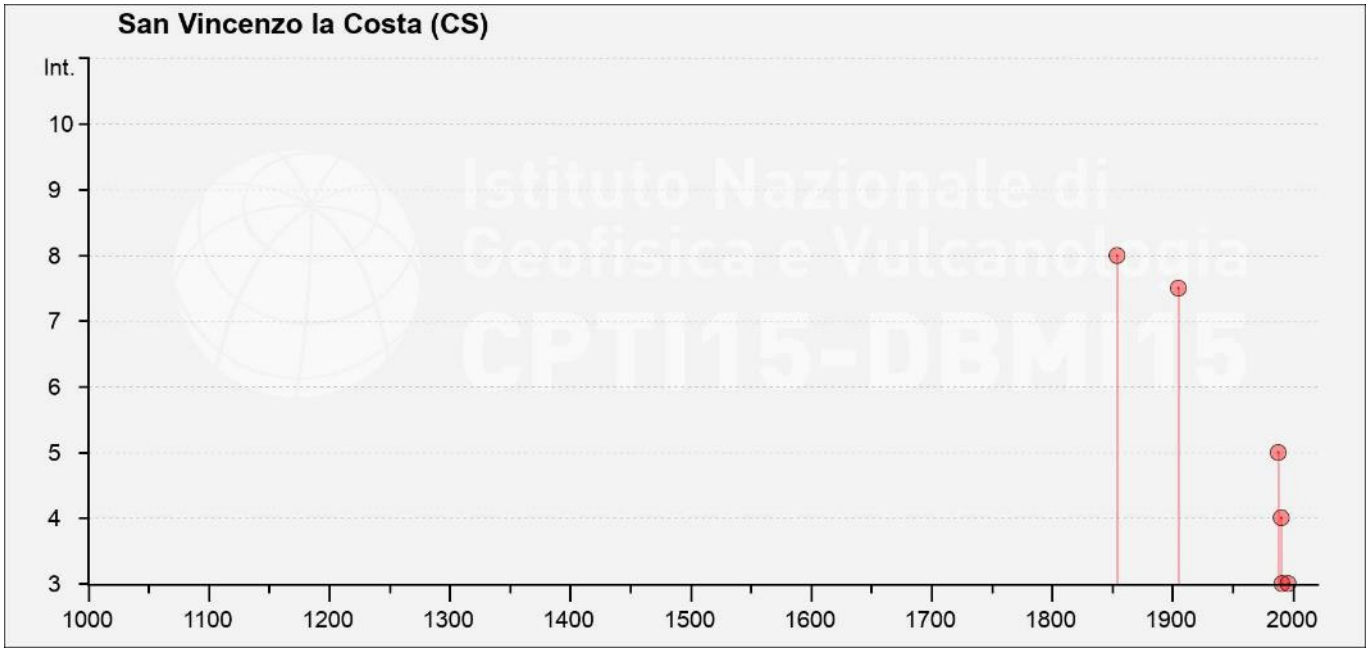


Figura 43 – Grafico illustrante la storia sismica di San Vincenzo la Costa. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

13.2 Sismicità attuale

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 (e successive modifiche ed integrazioni) – "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di Normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" disciplinava la classificazione sismica dei comuni d'Italia. Secondo tale normativa e secondo quanto riportato dalla DGR Calabria n. 47 del 10/02/2004, il comune di Paola ricadeva in **Zona sismica 2** con livello di pericolosità medio, ovvero aree che potrebbero essere interessate da eventi sismici abbastanza forti ($0.15 < ag \leq 0.25$), mentre i territori dei comuni di Montalto Uffugo, Rende, San Fili, San Lucido e San Vincenzo la Costa, ricadevano in **Zona sismica 1** con livello di pericolosità elevato, ovvero aree che potrebbero essere interessate da eventi sismici abbastanza forti ($ag > 0.25$).

In seguito a tale classificazione, effettuata per ognuno dei comuni d'Italia, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede l'adozione delle stime di pericolosità sismica contenute nel Progetto S1 dell'INGV-DPC. Detto studio è stato condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale (Figura 44), uno strumento scientificamente valido ed avanzato, nonché utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.

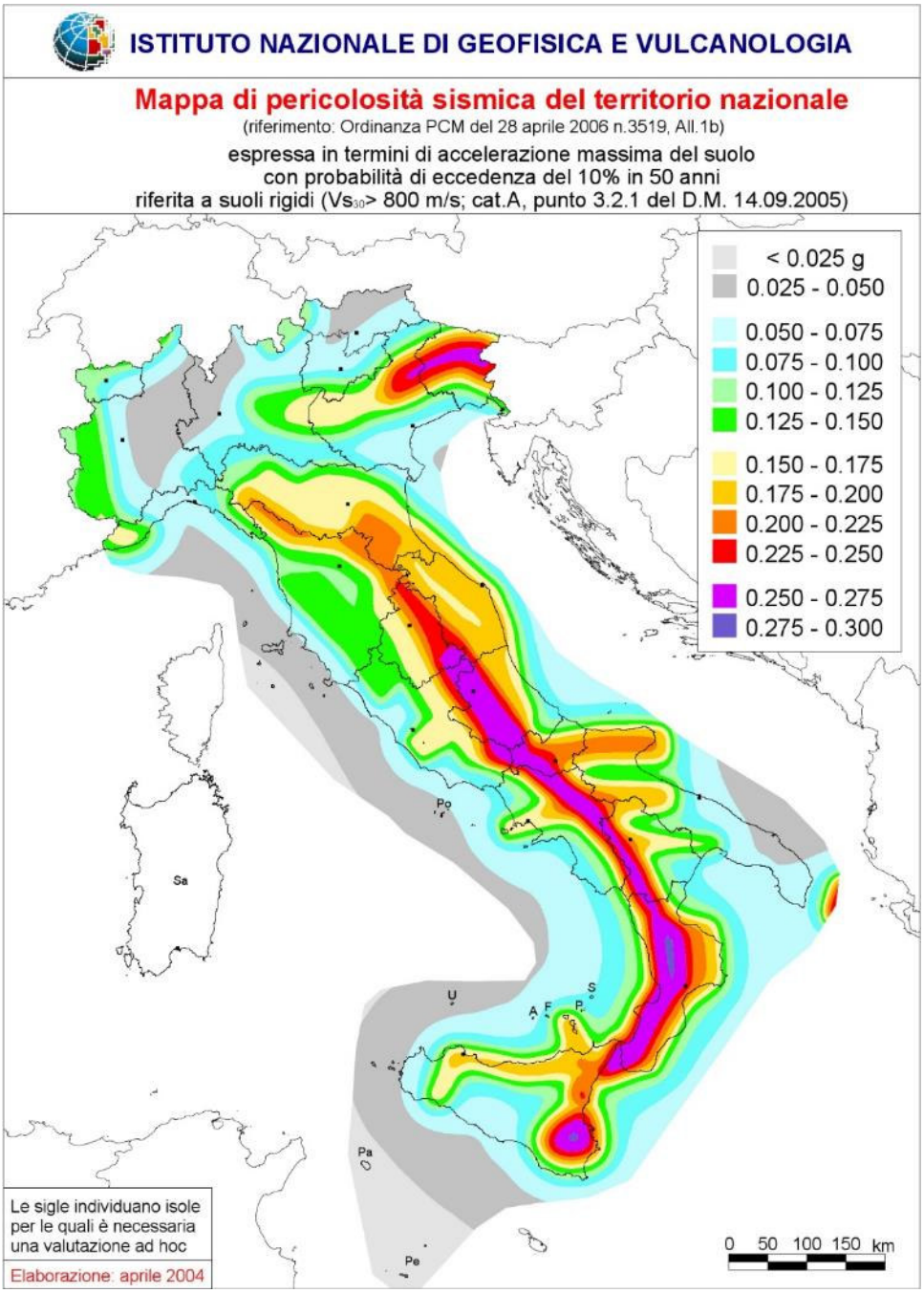


Figura 44 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (http://esse1.mi.ingv.it/d2.html).

In particolare, con tale provvedimento è stato superato il concetto di una classificazione sismica legata al singolo territorio comunale e si è posta nuova attenzione sul concetto di una pericolosità sismica uniforme a livello nazionale, stimata sulla base di quattro fondamentali zone sismiche. La vecchia classificazione sismica produceva, soventemente, situazioni in cui un comune classificato sismico era fisicamente confinante con un comune non

classificato e, pertanto, si assisteva ad un brusco cambiamento nei parametri sismici che avveniva in un breve arco di territorio.

Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono continue e graduali. Successivamente verrà mantenuta, infatti, la classificazione secondo la quale il territorio nazione è suddivisibile in quattro differenti classi sismiche, ma a scopo esclusivamente amministrativo.

All'attuale stato delle conoscenze e del progresso scientifico è possibile, attraverso l'applicazione *WebGIS*, consultare in maniera interattiva le mappe di pericolosità sismica (Figura 45). In particolare, per la zona interessata dalla tratta ferroviaria progettuale, i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) sono compresi all'incirca nell'intervallo 0.150-0.275 a_g (accelerazione massima del suolo).

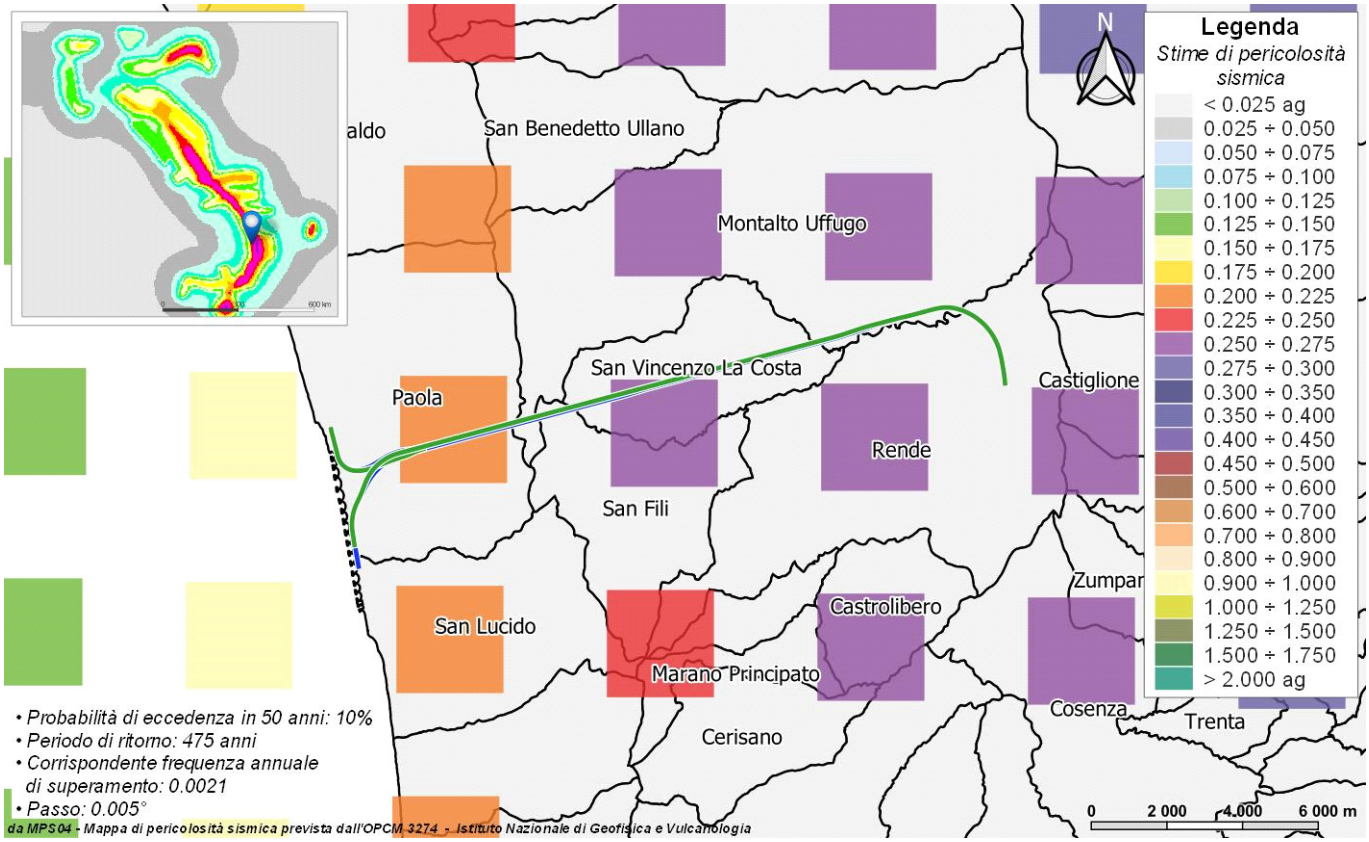


Figura 45 – Mappa di pericolosità sismica per l'area di interesse, in scala 1:200000; i colori della legenda indicano le diverse accelerazioni del suolo (http://esse1-gis.mi.ingv.it).

Inoltre, il *database* del progetto ITHACA (*ITaly HAzard from CApable faults*) mostra, nell'area progettuale, l'esistenza di molte faglie capaci (Figura 46), definite come lineamenti tettonici attivi che potenzialmente possono creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche.

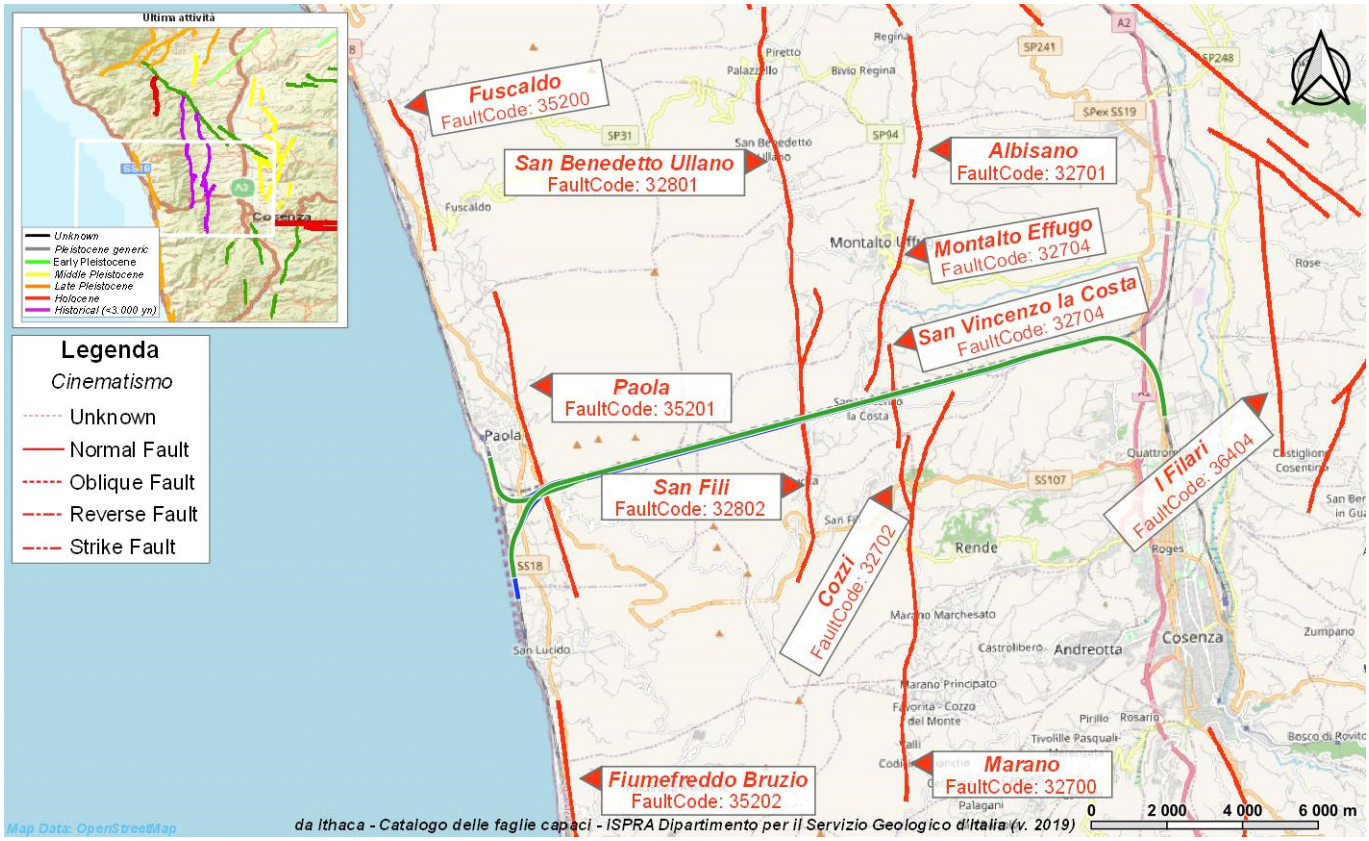


Figura 46 – Stralcio cartografico dell'area di interesse, riprodotto in scala 1:200000, con indicazione schematica della tratta in progetto (verde-blu), e delle faglie capaci (in rosso).

L'area di studio è interessata da diversi sistemi di strutture recenti e attive composti da numerose faglie normali. Nella zona occidentale dell'area di studio, il principale sistema di strutture recenti e attive è il sistema **Fuscaldo – Falerna**. Mentre, nel settore centrale dell'area d'interesse, sono presenti due ravvicinati ma distinti sistemi di strutture recenti e attive. Si tratta del sistema **San Marco Argentano - San Fili** (Monaco & Tortorici 1995) e sistema **Torano Castello – Rende** (Monaco & Tortorici 1995; Tortorici et al. 1995; Sorriso-Valvo & Tansi 1996). A poco più di 3 km ad est del tracciato oggetto di studio, è presente un ulteriore sistema faglie denominato **Tarsia – Zumpano** composto da diversi segmenti di faglia sempre con cinematica normale (Lanzafame & Tortorici 1981; Guerra 1999).

Il sistema **Fuscaldo – Falerna** è formato da faglie che bordano il blocco calabro verso W, degradano verso sud nell'area marina del Bacino di Paola, fino ad arrivare nella Piana di Sant'Eufemia. Il rigetto è complessivamente dell'ordine dei 400 m e nell'area emersa le superfici di faglia interessano visibilmente i terrazzi tirreniani e pre-tirreniani (Carobene et al. 1986; Carobene & Dai Pra 1990). Questo sistema è formato da 8 lineamenti tettonici di cui 3 presenti nell'area di studio progettuale, posizionati nella parte occidentale del tracciato (Figura 46). Si tratta di faglie normali con orientazione N-S e NNW-SSE, aventi andamento sub-parallelo al margine meridionale della Catena Costiera. La Faglia Paola (*FaultCode*: 35201) taglia perpendicolarmente il tracciato di progetto nella sua porzione più occidentale, questa struttura si estende per circa 8.5 km, con direzione NNW-SSE e immersione verso W ed è caratterizzata da un cinematismo normale (Tabella 33). Inoltre, sono presenti altre due strutture non direttamente interferenti con le opere in progetto. Si tratta della Faglia Fuscaldo (*FaultCode*: 35200) che si trova a

circa 6 km a N-NW dal tracciato di progetto, è una struttura che si estende per circa 4 km, con una direzione N–S e immersione verso W ed è caratterizzata da una cinematica normale e della Faglia Fiumefreddo Bruzio (*FaultCode*: 35202) situata a circa 3.5 km a S dell'opera di progetto, si estende per circa 16 km, con direzione N-S e immersione verso W e possiede cinematica normale.

I sistemi di faglie attive e capaci di **San Marco Argentano – San Fili** e di **Montalto Uffago – Rende**, attraversano la parte centrale del tracciato oggetto di studio. Le due strutture sismogenetiche sono costituite da faglie normali orientate N-S, queste determinano una struttura a gradinata degradante verso E (Lanzafame & Tortorici 1981; Monaco & Tortorici 1995; Brozzetti et al. 2017). I due sistemi bordano il versante orientale della Catena Costiera, verso ovest caratterizzano il confine orientale del Bacino del Crati con una geometria en-échelon.

In particolare, il sintema **San Marco Argentano – San Fili** mostra una direzione NNW- SSE, formato da 3 lineamenti tettonici presente nell'area di studio progettuale con due strutture tettoniche denominate Faglia San Fili e Faglia San Benedetto Ullano cinematica normale con componente destra. La Faglia San Fili (*FaultCode:* 32802) intercetta la zona centrale del tracciato oggetto di studio (Figura 46) e presenta una estensione di circa 8 km con direzione NNW-SSE, tale faglia risulta caratterizzata da una immersione verso E (Tabella 34). Mentre, la Faglia di San Benedetto Ullano (*FaultCode:* 32801) è situata a circa 1.3 km a N dal tracciato oggetto di studio (Figura 46), si estende per circa 10 km con una direzione NNW-SSE e presenta una immersione verso E.

Il Sistema di faglie **Torano Castello – Rende** ha una direzione NNW-SSE, formata da 6 lineamenti tettonici con cinematica normale con componente destra, di cui 5 presenti nei pressi dell'area di interesse progettuale. La Faglia San Vincenzo la Costa (*FaultCode:* 32703) intercetta la zona centro-orientale del tracciato oggetto di studio (Figura 46), si estende per circa 3 km con una direzione NNW-SSE e immersione verso E (Tabella 36). La Faglia Montalto Effugo (*FaultCode:* 32704) è ubicata nella zona centro-orientale dell'area di studio a circa 310 m a N dal tracciato di progetto, si estende per circa 5 km, con una direzione NNW-SSE e immersione ESE (Tabella 35). La Faglia di Marano (*FaultCode:* 32700) è ubicata nella zona centro-orientale della zona di studio a circa 320 m a N dal tracciato di progetto, si estende per circa 11 km, con una direzione N-S e immersione ESE. Questa faglia è caratterizzata da una componente destra ed uno slip rate dell'ordine di 1 mm/a. Infine, la Faglia Cozzi (*FaultCode:* 32702) è ubicata nella zona centro-orientale della zona di studio a circa 1.2 km a S dalle opere in progetto, si estende per circa 2 km, con una direzione N-S e immersione E (Tabella 37). La Faglia Albisano (*FaultCode:* 32701) è ubicata a oltre 5 km a nord del tracciato di progetto, si estende per circa 3.5 km con direzione N-S.

Il Sistema di faglie **Tarsia – Zumpano** ha una direzione NNW-SSE e NNE-SW, composta da 12 faglie con cinematica normale di cui 1 ubicata a soli 3 km a est del tracciato di studio. La faglia più vicina è la Faglia I Filari (*FaultCode:* 36404) si sviluppa per circa 7.8 km con direzione NNW-SSE (Figura 46).

Per completezza nelle Tabella 33÷Tabella 38 si riportano le caratteristiche delle faglie direttamente interferenti con le opere in progetto.

	Faglia Paola
General identification	
Fault Code	35201
Fault Name	Paola
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	Fuscaldo - Falerna
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	170
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	W
Fault Length (km)	8.4
Mapping Scale	1:50000
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Late Pleistocene
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of middle-late Pleistocene deposits and/or land forms
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Low reliability
Study Quality	LOW
Notes	

	Faglia Paola
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 33 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=35201.

	Faglia San Fili
General identification	
Fault Code	32802
Fault Name	San Fili
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	SAN MARCO ARGENTANO-SAN FILI
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	340
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	E
Fault Length (km)	8
Mapping Scale	1:25000
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal Oblique DX
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Historical (<3,000)
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	

	Faglia San Fili
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 34 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=32802.

	Faglia Montalto Effugo
General identification	
Fault Code	32704
Fault Name	Montalto Effugo
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	TORANO CASTELLO-RENDE
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	360
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	ESE
Fault Length (km)	5.3
Mapping Scale	1:25000
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal Oblique DX
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Historical (<3,000)
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	

	Faglia Montalto Effugo
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 35 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=32704.

	Faglia San Vincenzo la Costa
General identification	
Fault Code	32703
Fault Name	San Vincenzo la Costa
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	TORANO CASTELLO-RENDE
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	360
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	E
Fault Length (km)	2.8
Mapping Scale	1:25000
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal Oblique DX
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Historical (<3,000)

	Faglia San Vincenzo la Costa
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 36 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=32703.

	Faglia Cozzi
General identification	
Fault Code	32702
Fault Name	Cozzi
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	TORANO CASTELLO-RENDE
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	360
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	E
Fault Length (km)	2.1
Mapping Scale	01:00

	Faglia Cozzi
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal Oblique DX
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Historical (<3,000)
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 37 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=32702.

	Faglia Marano
General identification	
Fault Code	32700
Fault Name	Marano
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	TORANO CASTELLO-RENDE
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment

	Faglia Marano
Average Strike (°)	360
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	E
Fault Length (km)	11.1
Mapping Scale	1:25000
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal Oblique DX
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Historical (<3,000)
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
Lithology	crystalline basement
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	1
Max Credible Rupture Length (km)	700
Max Credible Slip (m)	700,000.00
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 38 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=32700.

13.3 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica di un territorio è funzione di un complesso insieme di parametri naturali e rappresenta la probabilità che un evento sismico di data intensità si manifesti in una certa area in un determinato intervallo di tempo. Diverso è, invece, il concetto di rischio sismico che è il risultato catastrofico dell'evento naturale sul sistema antropico. Affinché si abbia rischio è necessario, pertanto, che uno o più degli elementi antropici esposti

(vite umane, attività, beni) possieda un carattere di vulnerabilità tale da determinarne la perdita parziale o totale. La vulnerabilità, in tale accezione, è l'entità della perdita attesa derivante dal manifestarsi di un evento di data intensità nell'area in esame. Non potendo intervenire sulla pericolosità, che dipende esclusivamente da dinamiche naturali, si può intervenire sulla vulnerabilità degli elementi esposti al rischio e, quindi, sul rischio totale.

Oltre alla conoscenza della probabilità di accadimento di un evento sismico, delle caratteristiche della sorgente sismogenetica e delle modalità di propagazione della perturbazione, è necessario analizzare le caratteristiche locali del sito di studio. Queste, infatti, condizionano la reazione del terreno all'*input* sismico in termini di variazione del contenuto in frequenza del segnale, amplificazione/smorzamento dell'onda e perdita o modificazione delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità.

All'indomani della riclassificazione sismica del territorio nazionale scaturita dal progetto S1 dell'INGV-DPC, si dispone di parametri sismici di riferimento aggiornati e di maggior dettaglio rispetto alla classificazione macrosismica nazionale cui faceva riferimento il D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 (Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche). La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica" dell'Italia, che costituisce oggi la base di riferimento per la valutazione delle azioni sismiche di progetto sul sito in esame secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008).

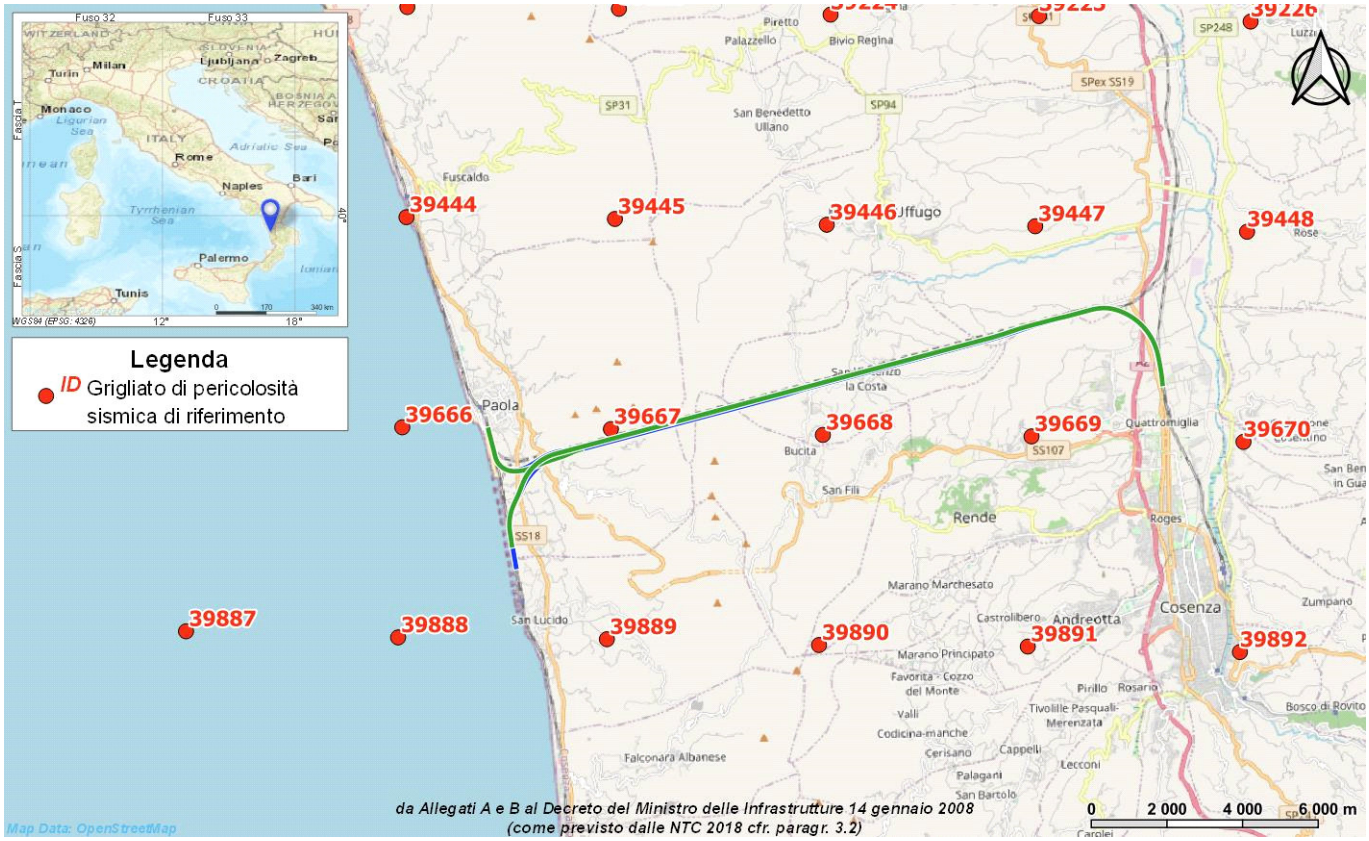


Figura 47 – Griglia di riferimento per il settore oggetto di studio, riprodotto in scala 1:200000, con individuazione del lotto in esame (blu-verde) e dei punti del grigliato scelti (in rosso).

Con riferimento al D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, sono stati determinati i parametri sismici di progetto per la realizzazione delle opere previste. In particolare, sulla base delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e dei dati relativi al progetto S1 dell'INGV-DPC (Figura 47), sono stati determinati i valori reticolari dei parametri di riferimento relativamente ad un suolo rigido, per un tempo di ritorno Tr pari a 475. Per i valori di ag, Fo e Tc*, necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (come previsto dalle NTC 2018 cfr. paragr. 3.2). I parametri forniti possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale.

ID	longitudine	latitudine	a_g	F_0	T_c
39445	16.076	39.405	0.23	2.44	0.38
39446	16.141	39.403	0.26	2.43	0.37
39447	16.205	39.402	0.27	2.43	0.37
39448	16.270	39.400	0.28	2.43	0.37
39666	16.010	39.356	0.18	2.45	0.42
39667	16.074	39.355	0.22	2.44	0.38
39668	16.139	39.353	0.26	2.43	0.37
39669	16.203	39.352	0.27	2.43	0.37
39670	16.268	39.350	0.28	2.43	0.37
39888	16.008	39.306	0.17	2.47	0.43
39889	16.072	39.305	0.21	2.45	0.38
39890	16.137	39.303	0.25	2.43	0.37

Tabella 39 - Parametri di riferimento del moto sismico su suolo rigido per un periodo di ritorno Tr pari a 475 anni, le coordinate sono espresse in gradi decimali (EPSG:4230).

13.4 Categoria di sottosuolo

I parametri forniti, in funzione di quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale. La normativa citata prevede, relativamente alla caratterizzazione sismica di un sito (D.M. 17/01/2018 – G.U. Serie Generale n. 42 del 20-2-2018), la determinazione dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s) per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m è definita dal parametro$V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Sulla scorta dei dati a disposizione, tale determinazione è stata effettuata attraverso indagini di tipo geofisico, quali prove *down-hole* e prospezioni sismiche MASW, che forniscono indicazioni dirette relativamente al valore di $V_{S,eq}$. Si riportano nel seguito le categorie di sottosuolo previste dalla normativa vigente:

- **A**: *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;
- **B**: *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;
- **C**: *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s;
- **D**: *depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento del-le proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s;
- **E**: *terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Nell'ambito del presente studio, le categorie di sottosuolo per l'area di intervento sono state definite in funzione delle n. 4 prove MASW e delle n. 19 prove Down-Hole disponibili o appositamente realizzate. In Tabella 40 si riporta una sintesi delle prove effettuate, contenente i valori di $V_{S,eq}$ determinati, la categoria di sottosuolo corrispondente e una sintesi dell'assetto litostratigrafico in corrispondenza della prova.

identificativo CI	sigla	tipologia	prof./lungh. *m*	Vs,eq *m/s*	H *m*	categoria di sottosuolo	unità geologiche
Italferr 2021	MASW 1	MASW	48	369	30	B	h/bn/ATS
Italferr 2021	MASW 2	MASW	48	300	30	C	h/bn
Italferr 2021	MASW 3	MASW	48	369	30	B	h/g2/gn/
Italferr 2021	MASW 4	MASW	72	388	30	B	g2/gn/ALD
Italferr 2021	SVI-02	Down-Hole	50	373	30	B	bb/bn/ATS
Italferr 2021	SVI-04	Down-Hole	50	425	30	B	g2/gn/ALD
Italferr 2021	SVI-06	Down-Hole	50	448	30	B	b2/gn/ALD
CI02	S1_0+670	Down-Hole	35	428	30	B	h/bb/g2/gn
CI02	S1_199+703	Down-Hole	35	597	30	B	h/g2/gn/ALD
CI02	S1_197+258	Down-Hole	35	517	30	B	g2/gn
CI02	S1_198+805	Down-Hole	35	524	30	B	g2/gn/ALD
CI02	S1_199+089	Down-Hole	35	391	23	B	h/g2/gn/ALD
CI02	S1_197+975	Down-Hole	35	425	30	B	h/g2/gn
CI02	S1_0+601	Down-Hole	40	585	30	B	bb/gn/ALD
CI02	S1_197+699	Down-Hole	35	523	30	B	h/g2/gn/ALD
CI02	S1_1+357	Down-Hole	35	348	30	C	g2/gn
CI02	S1_201+116	Down-Hole	30	345	30	C	bb/g2/gn/ALD
CI02	S1_200+784	Down-Hole	30	377	30	B	g2/gn/ALD
CI02	S1_200+072	Down-Hole	30	382	30	B	g2/gn/ALD

identificativo CI	sigla	tipologia	prof./lungh. *m*	Vs,eq *m/s*	H *m*	categoria di sottosuolo	unità geologiche
CI02	S1_197+149	Down-Hole	30	422	30	B	g2/gn
CI02	S1_200+587	Down-Hole	30	445	30	B	h/g2/gn
CI02	S1_198+208	Down-Hole	30	332	30	C	bb/g2/gn
CI01	S2-DH	Down-Hole	30	418	30	B	bb/bn

Tabella 40 - Sintesi dei risultati delle prove sismiche realizzate nell'ambito delle differenti campagne indagini.

In relazione con quanto emerso dalle analisi geofisiche a disposizione si suggerisce l'adozione di una **Categoria di sottosuolo B** (R*occe tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*) o **C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti)*.

14 CRITICITÀ GEOLOGICHE

A conclusione delle presenti note, vengono di seguito sintetizzati i principali elementi di potenziale criticità per le opere in progetto, che risultano direttamente connessi con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche che contraddistinguono l'area di studio.

14.1 Criticità geologico-tecniche

Dal punto di vista geologico, i principali elementi di criticità per le opere in progetto sono connessi con il locale assetto stratigrafico-strutturale dell'area, le caratteristiche dei termini litologici affioranti e con la sismicità attuale della Calabria. Per questo secondo aspetto, in particolare, si rimanda a quanto riportato nel Capitolo 13 "Sismicità dell'area", dove sono descritte in maniera dettagliata tutte le caratteristiche sismogenetiche dell'area ed i principali elementi di pericolosità dal punto di vista sismico.

Per quanto concerne l'assetto litostratigrafico locale, i principali elementi di criticità geologica sono connessi con la presenza di depositi di copertura fortemente eterogenei, sia dal punto di vista litologico che per quanto concerne le caratteristiche fisico-meccaniche. Nei settori di piana alluvionale e costiera, pertanto, sono presenti locali orizzonti di depositi marini, alluvionali e transizionali con caratteristiche geotecniche mediocri o addirittura scadenti. Tale condizione risulta più evidente nel settore orientale dell'area di studio, nel *Graben* del Crati, dove è stata osservata una prevalenza dei termini litologici più fini.

In particolare, gli orizzonti argilloso-limosi intercalati alle porzioni granulometriche più grossolane dei suddetti terreni sono caratterizzati da una resistenza al taglio variabile, ma generalmente modesta, e da una elevata compressibilità, sia elastica che edometrica. I livelli sabbioso-limosi presenti all'interno dei depositi di copertura, invece, presentano una discreta resistenza al taglio ed una modesta compressibilità elastica. I litotipi più grossolani, di natura conglomeratica e ghiaioso-sabbiosa, invece, rappresentano gran parte dei depositi quaternari terrazzati (alluvionali e marini) e sono caratterizzati buone caratteristiche fisico-meccaniche.

Inoltre, è opportuno segnalare la diffusa presenza di coltri di copertura di genesi pedologica e detritico-colluviale. Tali terreni, infatti, presentano un comportamento meccanico generalmente scadente, fortemente eterogeneo e di certa inaffidabilità geotecnica, tale da consigliarne la bonifica preventiva ai fini dell'individuazione del piano di posa delle strutture fondali e dei rilevati ferroviari.

Per quanto detto, i suddetti depositi non garantiscono alcun tipo di tenuta lungo i fronti di scavo, neanche nel breve periodo e soprattutto se esposti agli agenti atmosferici. Nel caso di opere realizzate in settori di affioramento di spesse coltri di copertura detritico-colluviali, quindi, dovranno essere previste delle specifiche analisi di carattere geotecnico volte alla definizione delle effettive condizioni di stabilità di eventuali tagli o scarpate, in particolare in corrispondenza delle zone di imbocco delle opere in sotterraneo.

Per quanto riguarda la galleria, i principali elementi di criticità sono connessi con la presenza di ammassi rocciosi e depositi clastici fortemente alterati e fessurati, essenzialmente per cause tettoniche. I numerosi elementi strutturali presenti nell'area, infatti, hanno determinato un elevato grado di tettonizzazione dei litotipi presenti, con la formazione di sistemi di giunti pervasivi che interessano gli ammassi rocciosi fino in profondità. Localmente, gli ammassi possono presentarsi completamente tettonizzati e destrutturati, fino ad assumere i connotati di una roccia cataclastica o milonitica.

In particolare, in corrispondenza dei principali elementi tettonici dell'area di studio, come le faglie bordiere dell'*Horst* della Catena Costiera, si rinvengono spesse zone di taglio generalmente associate a cataclasite. In tali settori, quindi, i litotipi del basamento cristallino-metamorfico si presentano estremamente fessurati e/o destrutturati e assumono, generalmente, l'aspetto di terreni detritici di natura ghiaioso-sabbiosa, caratterizzati da un comportamento meccanico mediocre o localmente scadente. Le principali fasce tettonizzate si rinvengono lungo i margini della Catena Costiera, in corrispondenza delle faglie dirette, faglie inverse e dei sovrascorrimenti che bordano tale struttura (tra il km 10+654 e il km 11+098, tra il km 18+226 e il km 19+206 della linea e tra il km 1+228 e il km 1+819 dell'interconnessione). Ulteriori zone di taglio sono presenti in corrispondenza dei *thrust* intraformazionali che interessano i termini metamorfici (tra il km 13+022 e il km 13+337 della linea) e lungo le faglie dirette che dislocano i principali blocchi strutturali (tra il km 9+111 e il km 9+717, il km 12+290 e il km 12+427, tra il km 14+120 e il 14+300 e tra il km 16+170 e il km 16+259 della linea).

Inoltre, in corrispondenza del tracciato ferroviario in galleria, sono presenti terreni da moderatamente a molto spingenti e/o rigonfianti, come evidenziato dai dati geologici provenienti dalle fasi di scavo e costruzione della Galleria Santomarco esistente. Tali terreni si rinvengono sia nel *Graben* del Crati che lungo l'*Horst* della Catena Costiera. In quest'ultimo settore, i litotipi spingenti sono costituiti dai termini metamorfici delle Filladi di San Giovanni (**FSG**) presenti nel settore centrale del rilievo montuoso (tra il km 12+364 e il km 14+236). La zona più critica è quella che comprende la fascia tettonizzata associata ad un esteso *thrust* intraformazionale, che si estende per oltre 300 m a ridosso di tale elemento tettonico (tra il km 13+022 e il km 13+337 della linea). Un ulteriore settore di potenziale criticità è quello compreso tra la suddetta zona cataclastica e la faglia diretta che disloca gli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (tra il km 13+337 e il km 14+120), dove si rinvengono rocce fortemente fratturate e degradate.

Nel *Graben* del Crati, i terreni spingenti sono rappresentati dalle argille fogliettate e dagli scisti argillitici (**ATSa**) intercalati all'interno della successione delle Argille limose del Torrente Settimo come un corpo olistostromico (tra il km 6+519 e il km 6+984 della linea), dai termini argilloso limosi della successione delle Argille limose del Torrente Settimo (**ATS**) tra il km 6+043 e il km 6+519, e dai termini prevalentemente pelitici delle Argille marnose del Torrente Lavandaio (**ALD**) presenti al nucleo di una estesa struttura sinclinalica (tra il km 9+518 e il km 10+654 della linea). Come evidenziato dai dati geologici provenienti dalle fasi di scavo e costruzione della Galleria Santomarco esistente, in quest'ultimo caso tale criticità potrebbe essere associata (o comunque favorita) dallo stato tenso-deformativo dell'ammasso che risulta posto a breve distanza dall'esteso sistema di faglie dirette che borda l'*Horst* della Catena Costiera.

Nel settore più orientale dell'area di studio, in corrispondenza del tratto di galleria con le coperture più basse, durante la realizzazione dell'opera esistente sono state registrate diverse instabilità dei fronti di scavo. In particolare, oltre a rilasci di terreno dal fronte, durante si sono verificati alcuni fornelli e la formazione di un cratere a giorno, che hanno costituito una notevole problematica per le fasi di lavorazione. Tali fenomeni hanno interessato prevalentemente i terreni sabbiosi intercalati all'interno della successione pliocenica, riferibili all'unità delle Sabbie conglomerati di Cozzo della Mola (**SCM**) e le intercalazioni sabbioso-limose all'interno della successione delle Argille limose del Torrente Settimo (**ATS**). A causa dell'assetto geologico dell'area, delle ridotte coperture in calotta e della presenza di una falda freatica piuttosto estesa, in tutto il tratto più orientale della galleria in progetto (tra il km 4+275 e il km 5+147) è possibile la formazione di ulteriori sfornellamenti. Per tale motivo, sarà necessario prevedere tutti i possibili accorgimenti volti a minimizzare la possibilità di formazione di questi fenomeni e garantire la stabilità dei fronti di scavo.

Infine, l'ultimo elemento di potenziale criticità geologica per le opere in progetto è rappresentato dai numerosi allineamenti strutturali e tettonici che interessano buona parte dei termini litologici presenti lungo il tracciato di

progetto. Tali elementi sono rappresentati, come detto, da *thrust*, faglie inverse e faglie dirette ad alto angolo, localmente responsabili della giustapposizione di litotipi con caratteristiche litotecniche profondamente differenti e spesso associate ad ampie fasce di deformazione tettonica o di cataclasite/milonite.

In particolare, sulla base di tutte le informazioni bibliografiche disponibili, è stato possibile individuare nell'area di studio diversi sistemi di faglie attive, da considerare quindi come potenziali sorgenti sismogenetiche. Il *database* del progetto ITHACA (*ITaly HAzard from CApable faults*) mostra infatti l'esistenza di molte faglie capaci, definite come lineamenti tettonici attivi che potenzialmente possono creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche.

L'area di studio è interessata da diversi sistemi di strutture recenti e attive composti da numerose faglie normali. Nella zona occidentale dell'area di studio, il principale sistema di strutture recenti e attive è il sistema **Fuscaldo – Falerna**. Mentre, nel settore centrale dell'area d'interesse, sono presenti due ravvicinati ma distinti sistemi di strutture recenti e attive. Si tratta del sistema **San Marco Argentano - San Fili** (Monaco & Tortorici 1995) e sistema **Torano Castello – Rende** (Monaco & Tortorici 1995; Tortorici et al. 1995; Sorriso-Valvo & Tansi 1996). A poco più di 3 km ad est del tracciato oggetto di studio, è presente un ulteriore sistema faglie denominato **Tarsia – Zumpano** composto da diversi segmenti di faglia sempre con cinematica normale (Lanzafame & Tortorici 1981; Guerra 1999).

Il sistema **Fuscaldo – Falerna** è formato da faglie che bordano il blocco calabro verso W, degradano verso sud nell'area marina del Bacino di Paola, fino ad arrivare nella Piana di Sant'Eufemia. Il rigetto è complessivamente dell'ordine dei 400 m e nell'area emersa le superfici di faglia interessano visibilmente i terrazzi tirreniani e pre-tirreniani (Carobene et al. 1986; Carobene & Dai Pra 1990). Questo sistema è formato da 8 lineamenti tettonici di cui 3 presenti nell'area di studio progettuale, posizionati nella parte occidentale del tracciato (Figura 46). Si tratta di faglie normali con orientazione N-S e NNW-SSE, aventi andamento sub-parallelo al margine meridionale della Catena Costiera. La Faglia Paola (*FaultCode*: 35201) taglia perpendicolarmente il tracciato di progetto nella sua porzione più occidentale, questa struttura si estende per circa 8.5 km, con direzione NNW-SSE e immersione verso W ed è caratterizzata da un cinematismo normale (Tabella 33). Inoltre, sono presenti altre due strutture non direttamente interferenti con le opere in progetto. Si tratta della Faglia Fuscaldo (*FaultCode*: 35200) che si trova a circa 6 km a N-NW dal tracciato di progetto, è una struttura che si estende per circa 4 km, con una direzione N–S e immersione verso W ed è caratterizzata da una cinematica normale e della Faglia Fiumefreddo Bruzio (*FaultCode*: 35202) situata a circa 3.5 km a S dell'opera di progetto, si estende per circa 16 km, con direzione N-S e immersione verso W e possiede cinematica normale.

I sistemi di faglie attive e capaci di **San Marco Argentano – San Fili** e di **Montalto Uffago – Rende**, attraversano la parte centrale del tracciato oggetto di studio. Le due strutture sismogenetiche sono costituite da faglie normali orientate N-S, queste determinano una struttura a gradinata degradante verso E (Lanzafame & Tortorici 1981; Monaco & Tortorici 1995; Brozzetti et al. 2017). I due sistemi bordano il versante orientale della Catena Costiera, verso ovest caratterizzano il confine orientale del Bacino del Crati con una geometria en-échelon.

In particolare, il sintema **San Marco Argentano – San Fili** mostra una direzione NNW- SSE, formato da 3 lineamenti tettonici presente nell'area di studio progettuale con due strutture tettoniche denominate Faglia San Fili e Faglia San Benedetto Ullano cinematica normale con componente destra. La Faglia San Fili (*FaultCode:* 32802) intercetta la zona centrale del tracciato oggetto di studio (Figura 46) e presenta una estensione di circa 8 km con direzione NNW-SSE, tale faglia risulta caratterizzata da una immersione verso E (Tabella 34). Mentre, la Faglia di San Benedetto Ullano (*FaultCode:* 32801) è situata a circa 1.3 km a N dal tracciato oggetto di studio (Figura 46), si estende per circa 10 km con una direzione NNW-SSE e presenta una immersione verso E.

Il Sistema di faglie **Torano Castello – Rende** ha una direzione NNW-SSE, formata da 6 lineamenti tettonici con cinematica normale con componente destra, di cui 5 presenti nei pressi dell'area di interesse progettuale. La Faglia San Vincenzo la Costa (*FaultCode:* 32703) intercetta la zona centro-orientale del tracciato oggetto di studio (Figura 46), si estende per circa 3 km con una direzione NNW-SSE e immersione verso E (Tabella 36). La Faglia Montalto Effugo (*FaultCode:* 32704) è ubicata nella zona centro-orientale dell'area di studio a circa 310 m a N dal tracciato di progetto, si estende per circa 5 km, con una direzione NNW-SSE e immersione ESE (Tabella 35). La Faglia di Marano (*FaultCode:* 32700) è ubicata nella zona centro-orientale della zona di studio a circa 320 m a N dal tracciato di progetto, si estende per circa 11 km, con una direzione N-S e immersione ESE. Questa faglia è caratterizzata da una componente destra ed uno slip rate dell'ordine di 1 mm/a. Infine, la Faglia Cozzi (*FaultCode:* 32702) è ubicata nella zona centro-orientale della zona di studio a circa 1.2 km a S dalle opere in progetto, si estende per circa 2 km, con una direzione N-S e immersione E (Tabella 37). La Faglia Albisano (*FaultCode:* 32701) è ubicata a oltre 5 km a nord del tracciato di progetto, si estende per circa 3.5 km con direzione N-S.

Il Sistema di faglie **Tarsia – Zumpano** ha una direzione NNW-SSE e NNE-SW, composta da 12 faglie con cinematica normale di cui 1 ubicata a soli 3 km a est del tracciato di studio. La faglia più vicina è la Faglia I Filari (*FaultCode:* 36404) si sviluppa per circa 7.8 km con direzione NNW-SSE (Figura 46).

Le faglie attive e capaci descritte nel progetto ITHACA (*ITaly HAzard from CApable faults*) ricalcano alcuni degli elementi tettonici riportati nelle carte e nei profili geologici prodotti per il presente studio. Nel seguito viene fornita una possibile correlazione tra gli elementi cartografati negli elaborati di progetto e le faglie attive e capaci del progetto ITHACA:

- la **Faglia Paola** (*FaultCode*: 35201) corrisponde alla maggiore faglia diretta presente lungo il margine occidentale della Catena Costiera, intercettata dalla galleria in progetto all'altezza del km 18+356;
- la **Faglia San Fili** (*FaultCode:* 32802) corrisponde alla faglia diretta presente lungo il margine orientale della Catena Costiera, intercettata dalla galleria di progetto all'altezza del km 11+012, o al più a tutto il sistema di faglie distensive che bordano i rilievi montuosi, presenti tra il km 10+689 e il km 11+012;
- la **Faglia Montalto Effugo** (*FaultCode:* 32704) non si sviluppa fino all'opera in progetto, ma per geometria ed estensione potrebbe corrispondere ad uno (o a tutti) degli elementi distensivi presenti tra il km 9+192 e il km 10+037;
- la **Faglia San Vincenzo la Costa** (*FaultCode:* 32703) corrisponde alla faglia diretta che borda verso Est l'*horst* di termini cristallino-metamorfici, intercettata dalla galleria in progetto all'altezza del km 8+458.

Si porta a conoscenza del fatto che attualmente è in corso di esecuzione uno studio di approfondimento, con l'aiuto della Protezione Civile, allo scopo di verificare se le suddette faglie possiedono tutti gli elementi geologico-strutturali per poter essere catalogate come faglie capaci. Le risultanze di tale studio saranno evidenziate nella successiva fase progettuale di PFTE per gara.

Per completezza nelle Tabella 41÷Tabella 46 si riportano le caratteristiche delle faglie direttamente interferenti con le opere in progetto.

	Faglia Paola
General identification	
Fault Code	35201
Fault Name	Paola
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	Fuscaldo - Falerna
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	170
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	W
Fault Length (km)	8.4
Mapping Scale	1:50000
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Late Pleistocene
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of middle-late Pleistocene deposits and/or land forms
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Low reliability
Study Quality	LOW
Notes	

	Faglia Paola
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 41 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=35201.

	Faglia San Fili
General identification	
Fault Code	32802
Fault Name	San Fili
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	SAN MARCO ARGENTANO-SAN FILI
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	340
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	E
Fault Length (km)	8
Mapping Scale	1:25000
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal Oblique DX
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Historical (<3,000)
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	

	Faglia San Fili
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 42 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=32802.

	Faglia Montalto Effugo
General identification	
Fault Code	32704
Fault Name	Montalto Effugo
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	TORANO CASTELLO-RENDE
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	360
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	ESE
Fault Length (km)	5.3
Mapping Scale	1:25000
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal Oblique DX
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Historical (<3,000)
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	

	Faglia Montalto Effugo
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 43 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=32704.

	Faglia San Vincenzo la Costa
General identification	
Fault Code	32703
Fault Name	San Vincenzo la Costa
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	TORANO CASTELLO-RENDE
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	360
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	E
Fault Length (km)	2.8
Mapping Scale	1:25000
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal Oblique DX
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Historical (<3,000)

	Faglia San Vincenzo la Costa
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 44 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=32703.

	Faglia Cozzi
General identification	
Fault Code	32702
Fault Name	Cozzi
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	TORANO CASTELLO-RENDE
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	360
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	E
Fault Length (km)	2.1
Mapping Scale	01:00

	Faglia Cozzi
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal Oblique DX
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Historical (<3,000)
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 45 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=32702.

	Faglia Marano
General identification	
Fault Code	32700
Fault Name	Marano
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	TORANO CASTELLO-RENDE
Synopsis	
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment

	Faglia Marano
Average Strike (°)	360
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	E
Fault Length (km)	11.1
Mapping Scale	1:25000
Fault Depth (km)	
Kinematics	Normal Oblique DX
Activity	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Historical (<3,000)
Applied Tecnique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
Lithology	crystalline basement
Slip parameters	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	1
Max Credible Rupture Length (km)	700
Max Credible Slip (m)	700,000.00
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (mw)	
Max Known Intensity (mcs)	
Known Seismic Events	
Final remarks	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 46 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=32700.

14.2 Criticità geomorfologiche

Sotto il profilo geomorfologico, l'intera area di studio è caratterizzata dalla presenza di un elevato numero di movimenti di versante (frane *s.s.* e soliflussi/*creep*) ed estesi fenomeni di erosione superficiale, essenzialmente connessi all'assetto geologico-strutturale dell'area e all'evoluzione geomorfologica di questo settore di catena. Ad

essi si aggiungono numerosi elementi geomorfologici connessi con l'attività antropica, col deflusso delle acque correnti superficiali e con l'azione marina, oltre a forme e processi di genesi strutturale e poligenica.

Nei settori di affioramento dei depositi marini post-orogenici, i fenomeni franosi sono per lo più classificabili come colamenti, scivolamenti e frane complesse in terra (*sensu* Varnes 1978 e Hungr et al. 2014). Lo stato è generalmente attivo o quiescente, raramente stabilizzato (*sensu* WP/WLI 1993), mentre la distribuzione di attività è per lo più retrogressiva o multidirezionale, raramente costante. Le velocità dei fenomeni sono mediamente piuttosto basse (*sensu* WP/WLI 1995), mentre le superfici di rottura si attestano, nella maggioranza dei casi, a profondità comprese tra 2 e 6 m circa dal p.c.. Ad essi si aggiungono estesi fenomeni di deformazione viscosa delle coltri (*creep* e/o soliflusso) con ridotti tassi di deformazione.

Nelle aree di affioramento dei termini cristallino-metamorfici del basamento paleozoico, invece, i fenomeni franosi sono generalmente classificabili come crolli *s.l.*, scivolamenti e frane complesse in roccia (*sensu* Varnes 1978 e Hungr et al. 2014). Lo stato è variabile dall'attivo allo stabilizzato (*sensu* WP/WLI 1993), mentre la distribuzione di attività è per lo più costante, e solo raramente retrogressiva o multidirezionale. Le velocità dei fenomeni sono mediamente piuttosto elevate (*sensu* WP/WLI 1995), soprattutto per le frane di crollo *s.l.*, mentre le profondità delle superfici di rottura risultano estremamente variabili in relazione al locale assetto geologico-strutturale.

In corrispondenza dei rilievi collinari situati tra la catena costiera e la costa tirrenica, i Depositi marini terrazzati (**gn**) e le relative coperture (**b2**) sono localmente interessati da fenomeni di frana complessa o scivolamento in terra (*sensu* Varnes 1978 e Hungr et al. 2014). Lo stato di attività varia dal quiescente allo stabilizzato (*sensu* WP/WLI 1993), mentre la distribuzione di attività è per lo più retrogressiva o multidirezionale, raramente costante. Le velocità dei fenomeni sono mediamente piuttosto basse (*sensu* WP/WLI 1995).

Infine, in corrispondenza dei rilievi più occidentali della Catena Costiera, sono presenti fenomeni di Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV), fondamentalmente riconducibili a dei *sackung* (*sensu* Zischinsky 1966; Hutchinson 1988; Discenza & Esposito 2021). Tali fenomeni sono caratterizzati da velocità di deformazione in genere estremamente lente e, in linea di massima, interessano gli ammassi rocciosi metamorfici per spessori di diverse decine o centinaia di metri.

Le opere in sotterraneo interessano alcuni settori caratterizzati da un elevato numero di movimenti franosi, come ad esempio il margine occidentale del *Graben* del Crati. La galleria in progetto presenta quasi ovunque notevoli coperture, nell'ordine di alcune centinaia di metri, e pertanto non risulta interferente con i movimenti franosi individuati in superficie. Nelle zone a minore copertura, invece, non sono presenti frane o fenomeni di dissesto e, quindi, non sussistono condizioni di potenziale criticità per l'opera.

I settori di imbocco della galleria e della relativa interconnessione ricadono anch'essi in settori stabili e privi di elementi geomorfologici di potenziale criticità. In particolare, l'imbocco lato Cosenza si colloca in un settore di piana alluvionale, in prossimità di un terrazzo elevato di pochi metri sul fondovalle attuale, ed è pertanto privo di qualunque forma erosiva o dissesto. L'imbocco lato Paola, invece, ricade a valle del terrazzo marino più basso, in corrispondenza di coperture eluvio-colluviali stabili e prive di movimenti franosi.

L'imbocco dell'interconnessione ricade in corrispondenza della piana costiera tirrenica, a breve distanza dal terrazzo marino più basso. L'area risulta stabile e priva di movimenti franosi o fenomeni erosivi di una certa rilevanza. Le scarpate in degradazione che interessano il margine del terrazzo in prossimità della linea esistente risultano piuttosto lontane dall'imbocco in progetto e, pertanto, non interferenti con lo stesso. L'unico elemento geomorfologico di una certa rilevanza è la conoide alluvionale formatasi in corrispondenza dello sbocco di un canalone nella piana costiera recente. Tale conoide è comunque attualmente quiescente e priva di una evidente

evoluzione geomorfologica, anche grazie alle opere di regimazione del canale. Inoltre, il rilevato ferroviario esistente taglia la parte bassa della conoide, dividendo il settore di potenziale alimentazione dall'imbocco dell'interconnessione.

Per quanto concerne le opere all'aperto, tutti i settori di territorio interessati presentano un assetto geomorfologico regolare e sub-pianeggiante, privo di movimenti franosi e fenomeni di erosione potenzialmente interferenti con il tracciato di progetto. Alle le conoidi alluvionali e gli alvei localmente intercettati dalle opere risultano inattivi o comunque privi di una evidente evoluzione geomorfologica. Solo in prossimità del tratto all'aperto vicino all'imbocco lato Paola della galleria principale (tra il km 19+850 e il km 20+300) sono presenti due movimenti franosi quiescenti di modeste dimensioni. Questi fenomeni interessano il margine del terrazzo marino più basso e sono posti a distanze variabili tra i 50 ed i 130 m circa.

Relativamente alla nuova viabilità NV07, la parte centrale del tracciato attraversa una frana allungata in direzione circa ENE-WSW. Il dissesto è stato analizzato attraverso rilievi di campo, analisi fotointerpretative multitemporali e indagini di sito, quali sondaggi geognostici (SF1, SF1 bis, SF2 e SF2 bis) e prospezioni geofisiche (L1 e L2). Si tratta di uno scivolamento in terra quiescente, con distribuzione costante e cinematica lenta o molto lenta. Il fenomeno presenta uno spessore massimo di circa 8-10 m e, come evidenziato dalle indagini di sito, interessa i Depositi marini terrazzati (**gn**) e la porzione più superficiale ed alterata delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**). La frana presenta una lunghezza di circa 150 m e una larghezza di circa 280 m, interessando un'area di quasi 35000 m^2.

A monte del tracciato in progetto è visibile una estesa zona di alimentazione con concavità verso valle, seguita da un esteso terrazzo di frana connesso al movimento rotazionale nella parte alta del pendio. Il piede di frana presenta una forma convessa e si estende fino ai settori di fondovalle, più a valle del tracciato. L'accumulo di frana è tagliato da numerose scarpate antropiche con altezza variabile tra 2 e 5 m. Ulteriori scarpate antropiche caratterizzano l'intero versante senza mai intercettare il tracciato in progetto. Non sono presenti indizi di riattivazioni recenti del movimento franoso, mentre si notano sporadiche lesioni e cedimenti lungo la sede stradale esistente (immediatamente a valle della nicchia) e i muri a gravità (nella parte bassa del pendio).

Dal punto di vista idrogeologico si segnala la presenza di un'emergenza sorgentizia a monte della strada statale, parzialmente captata da un canale antropico ad uso irriguo. Nel seguito si riporta una scheda di sintesi con le principali caratteristiche geologiche e geomorfologiche del movimento franoso presente lungo il tracciato della viabilità NV07.

CODICE DISSESTO e data rilevamento	RC1C03R_ dissesto_1 - 27/05/2022
COMMESSA	Raddoppio Cosenza - Paola /S. Lucido
LOCALITÀ	Siviglia
Linea ferroviaria	Cosenza - Paola / S. Lucido
Progressiva progetto	Viabilità NV07

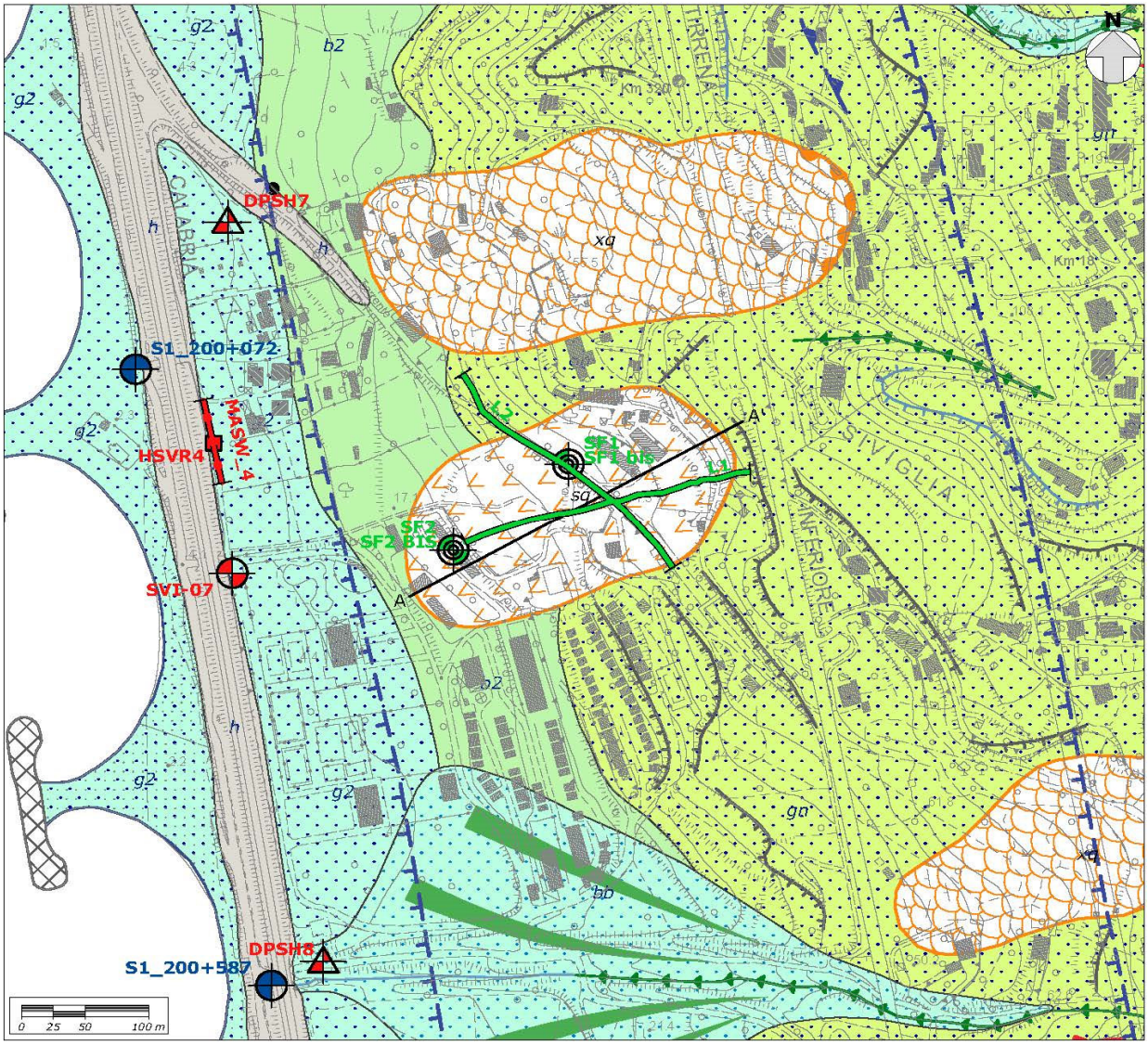
Tipologia di dissesto	*Scivolamento in terra*
Fonte	*Rilevamento di campo, fotointerpretazione, analisi morfologiche, analisi dati geognostici, IFFI*
Pericolosità PAI (se presente)	*Non presente*
Codice IFFI (se presente)	*0780152100 (Complessa - Quiescente) - areale più esteso della frana in esame*
Stato di attività da cartografia /rilevato	*Quiescente*

Dati morfometrici			
Larghezza (m)	*152*	*Inclinazione versante (°)*	*10*
Lunghezza (m)	*278*	*Quota superiore del coronamento*	*65 m s.l.m.*
Area (m^2)	*34772*	*Esposizione del versante*	*WSW*
Profondità stimata (m)	*8-10* *Lo spessore della frana è stato ricostruito sulla scorta di analisi morfologiche, dati geologici, stratigrafie di sondaggio e indagini geofisiche*		

Opera di progetto interferente - Opere esistenti	*Viabilità*
Sondaggi geognostici	*SF1 (2022), SF1bis (2022), SF2 (2022), SF2bis (2022) - sismica a rifrazione*
Strumentazione	*inclinometri, piezometri*
Monitoraggio	*attivo (inclinometrico e piezometrico)*
Note	*La frana è classificabile come uno scivolamento in terra, con stato quiescente e distribuzione costante. L'area di alimentazione, con forma concava e piuttosto evidente, è caratterizzata da un esteso terrazzo di frana connesso al movimento rotazionale della parte alta del pendio. Il piede di frana presenta una forma convessa e si estende fino ai settori di fondovalle. L'accumulo di frana è tagliato da numerose scarpate antropiche con altezza variabile tra 2 e 5 m. Non sono presenti indizi di riattivazioni recenti, mentre si notano sporadiche lesioni e cedimenti lungo la sede stradale esistente (immediatamente a valle della nicchia) e i muri a gravità (nella parte bassa del pendio). In prossimità della zona di alimentazione è presente un canale antropico utilizzato per l'irrigazione, che capta le acque di un'emergenza sorgentizia presente a monte della strada statale.*

CODICE DISSESTO e data rilevamento	RC1C03R_ dissesto_1 - 27/05/2022
COMMESSA	Raddoppio Cosenza - Paola /S. Lucido
LOCALITÀ	Siviglia
Linea ferroviaria	Cosenza - Paola / S. Lucido
Progressiva progetto	Viabilità NV07

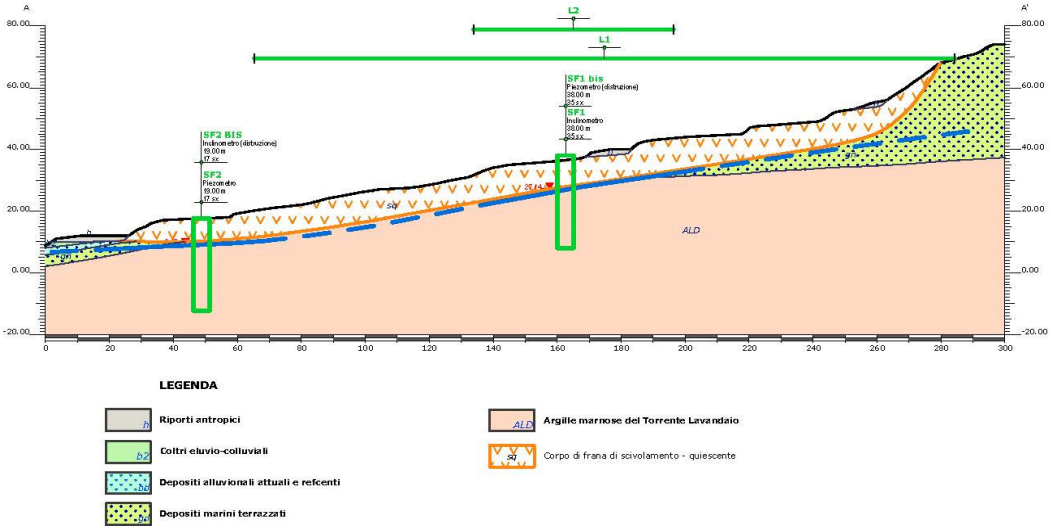
Stralcio cartografico



Stralcio cartografico dell'area in frana con indicazione della sezione geologica ricostruita

CODICE DISSESTO e data rilevamento	RC1C03R_ dissesto_1 - 27/05/2022
COMMESSA	Raddoppio Cosenza - Paola /S. Lucido
LOCALITÀ	Siviglia
Linea ferroviaria	Cosenza - Paola / S. Lucido
Progressiva progetto	Viabilità NV07

Sezione geologica



Sezione geologica ricostruita in corrispondenza del settore in dissesto

Vista panoramica della nicchia di distacco e del terrazzo di frana nella zona di alimentazione

CODICE DISSESTO e data rilevamento	RC1C03R_ dissesto_1 - 27/05/2022
COMMESSA	Raddoppio Cosenza - Paola /S. Lucido
LOCALITÀ	Siviglia
Linea ferroviaria	Cosenza - Paola / S. Lucido
Progressiva progetto	Viabilità NV07

Vista panoramica della frana ripresa dai settori di valle, in prossimità della linea ferroviaria esistente

CODICE DISSESTO e data rilevamento	RC1C03R_ dissesto_1 - 27/05/2022
COMMESSA	Raddoppio Cosenza - Paola /S. Lucido
LOCALITÀ	Siviglia
Linea ferroviaria	Cosenza - Paola / S. Lucido
Progressiva progetto	Viabilità NV07

Prodotti interferometrici ENVISAT ascending (da MATTM – Geoportale nazionale)

Prodotti interferometrici ERS descending (da MATTM – Geoportale nazionale)

14.2.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico Regione Calabria

Quanto detto trova parziale riscontro nelle cartografie tematiche del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI UoM Calabria e UoM Lao 2015 aggiornamento 2020), che riporta areali di pericolosità idrogeologica connessi con la stabilità di versante nell'area di studio.

In particolare, il settore di intervento compreso tra le km 0+000 e 9+000 e tra le km 11+200 e 20+727, non presenta interferenza con alcuna area di pericolosità geomorfologica censita nelle cartografie del PAI (Figura 49÷Figura 53, e Figura 56÷Figura 65). Mentre, nel settore centro orientale (Figura 54 e Figura 55) le cartografie ufficiali riportano la presenza di diversi areali di pericolosità molto elevata **P4** e media **P2**. Tali fenomeni lambiscono o intercettano in superficie il tracciato ferroviario tra le km 9+000 e 11+000. In questo tratto le opere sono rappresentate da una galleria naturale.

In particolare, tra le km 9+000 e 9+500 i fenomeni presenti sono legati a frane complesse attive (pericolosità elevata) e quiescenti (pericolosità media). Inoltre, all'altezza del km 10+200 è presente un areale classificato come Zona a franosità profonda (pericolosità media). Infine, all'altezza del km 11+000 circa è presente un ulteriore areale legato a Zone a franosità superficiale (pericolosità media). Ad ogni modo dati gli spessori al di sopra della calotta della galleria superiori ai 300 m tali fenomeni non presentano interferenza diretta o potenziale con le opere in progetto.

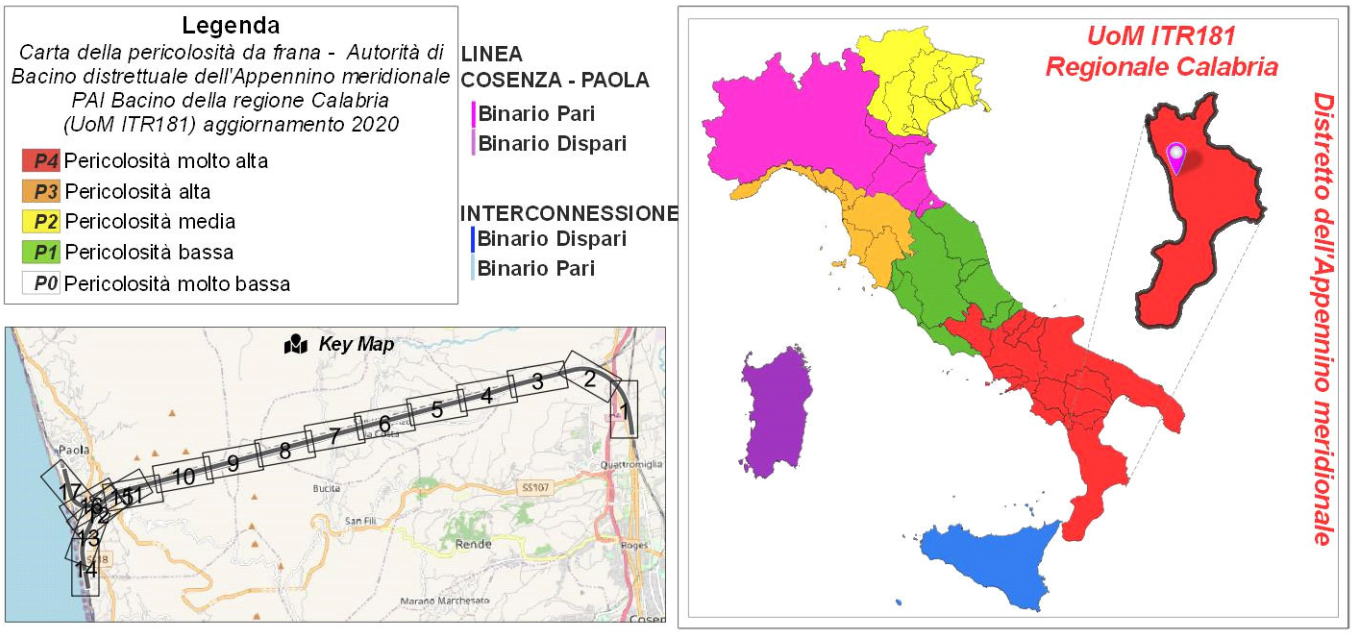


Figura 48 – Legenda delle cartografie dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale bacino regionale della Calabria con tavola di inquadramento degli stralci seguenti relativi alla "Carta della pericolosità da frana" (PAI UoM Calabria e UoM Lao 2015).

Figura 49 –Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 0+000 ÷ 1+900, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

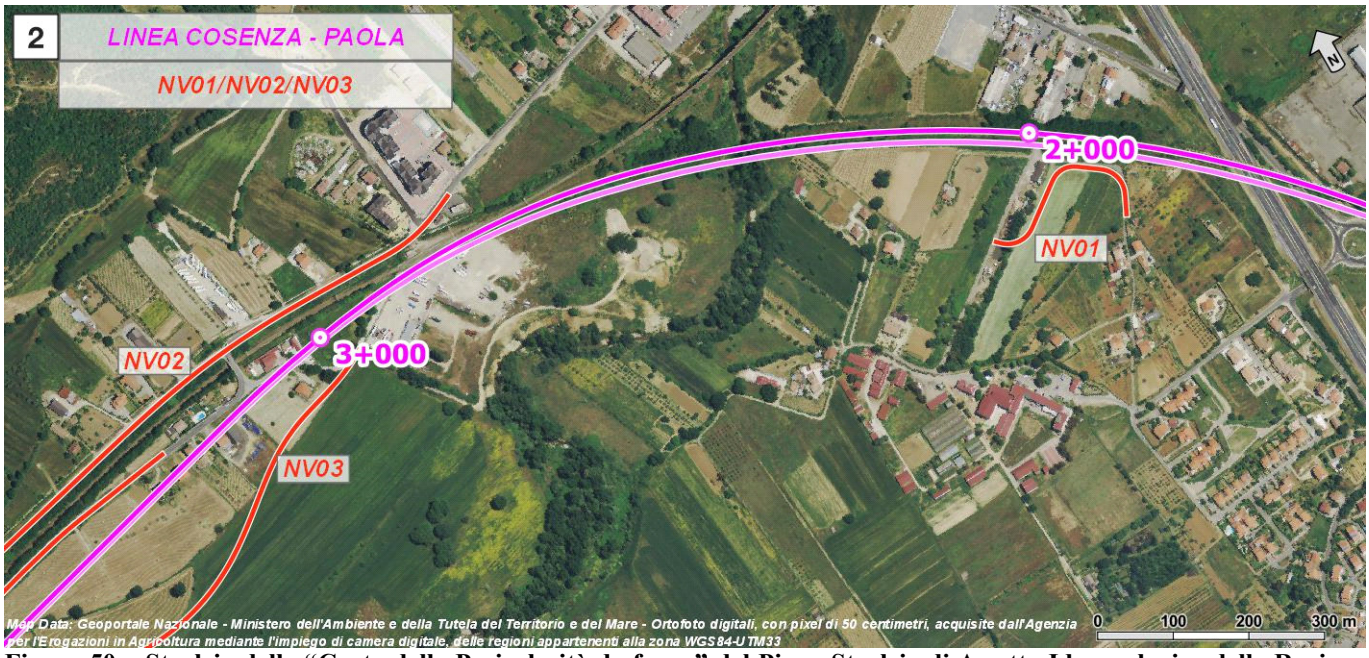


Figura 50 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 1+900 ÷ 3+600, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

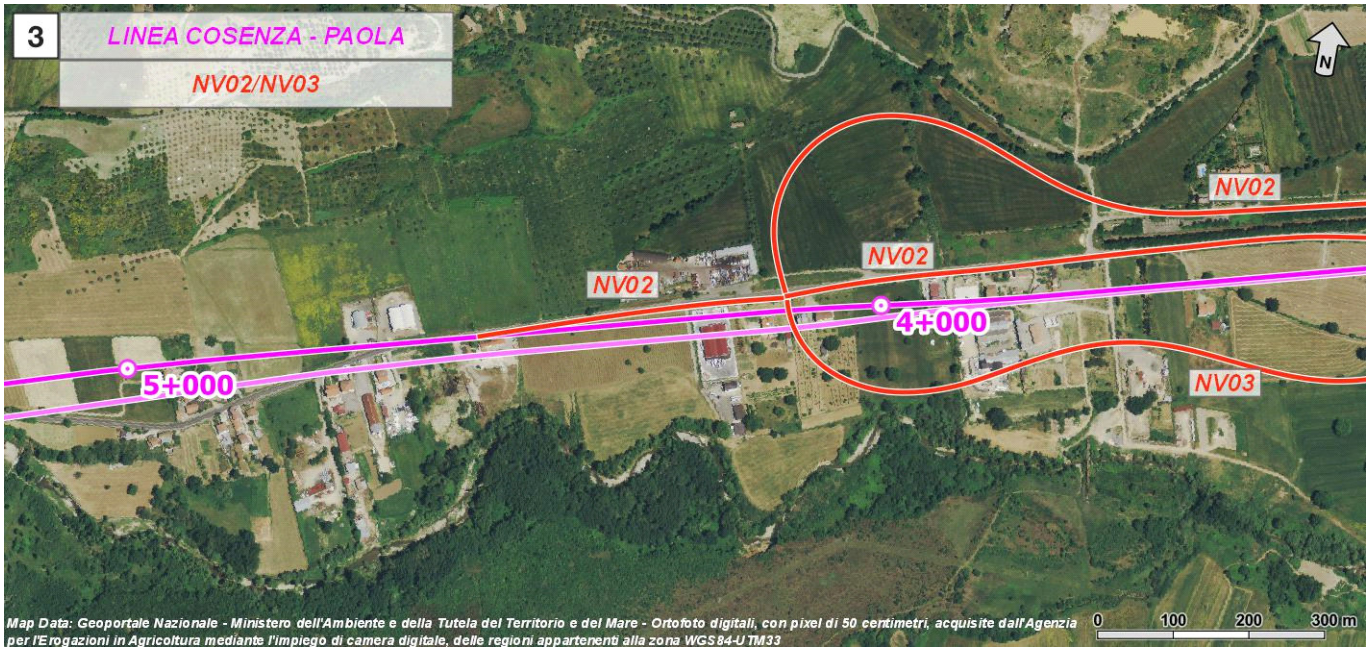


Figura 51 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 3+600 ÷ 5+100, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

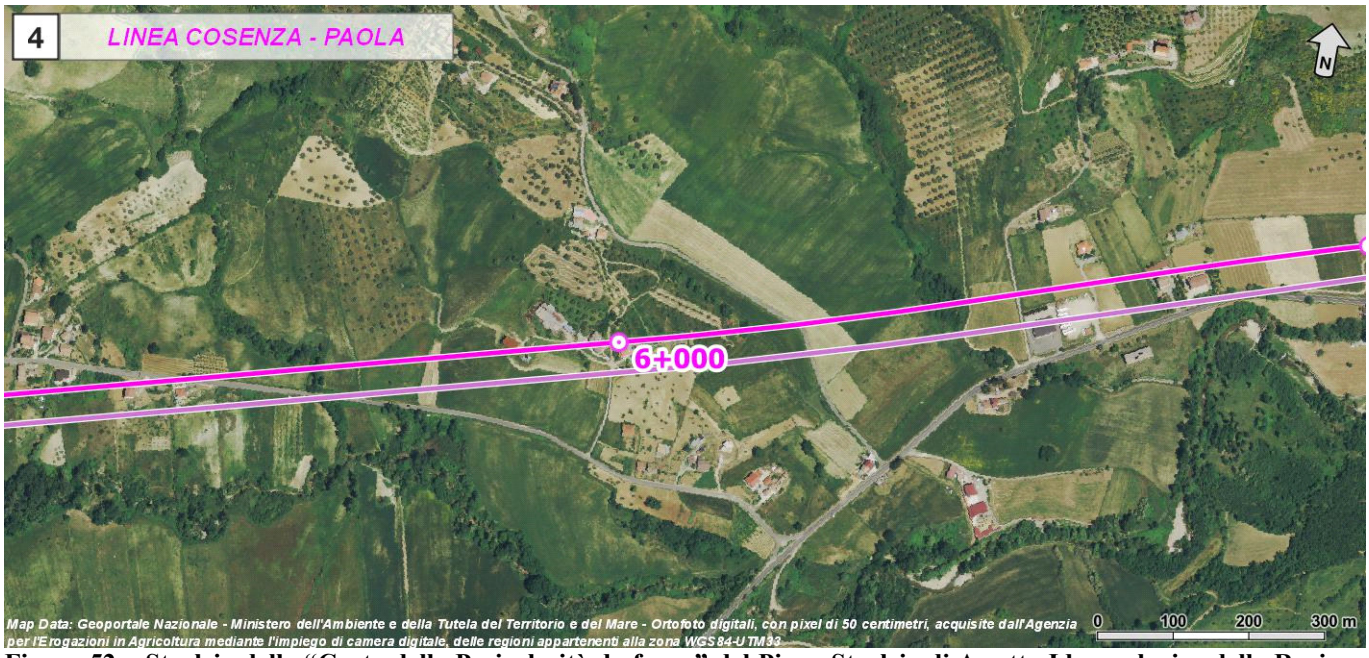


Figura 52 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 5+100 ÷ 6+900, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

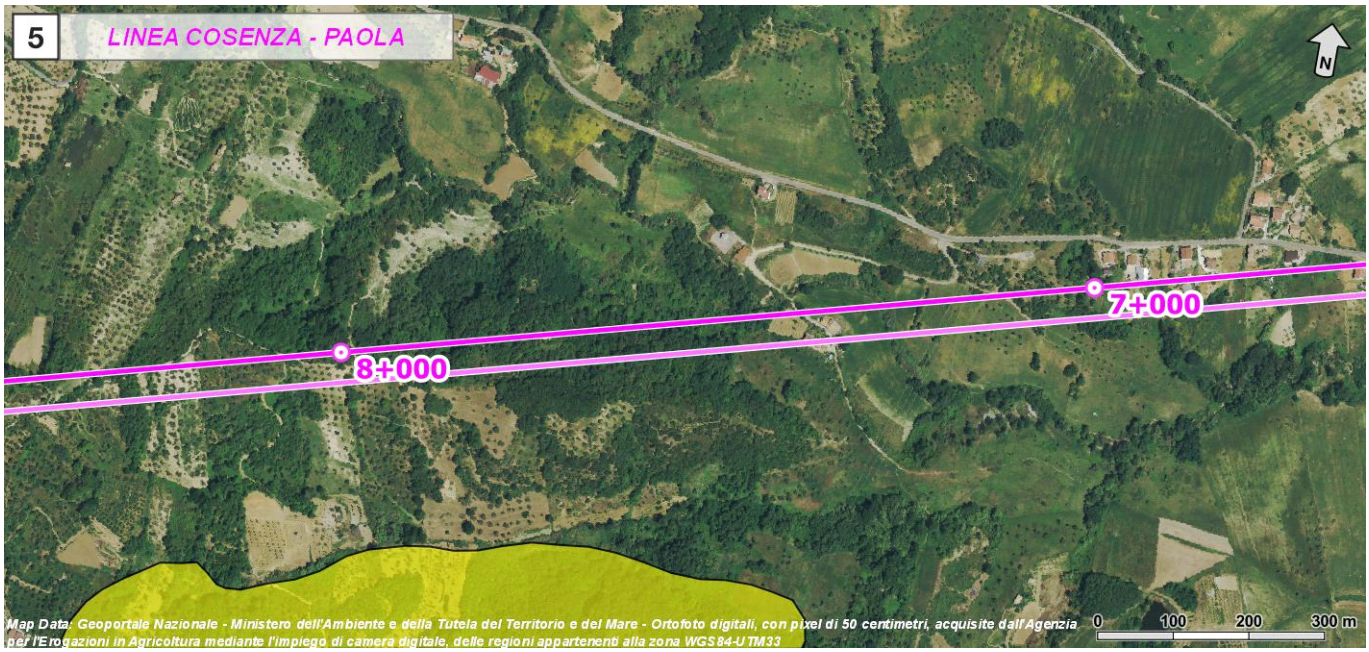


Figura 53 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 6+900 ÷ 8+500, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

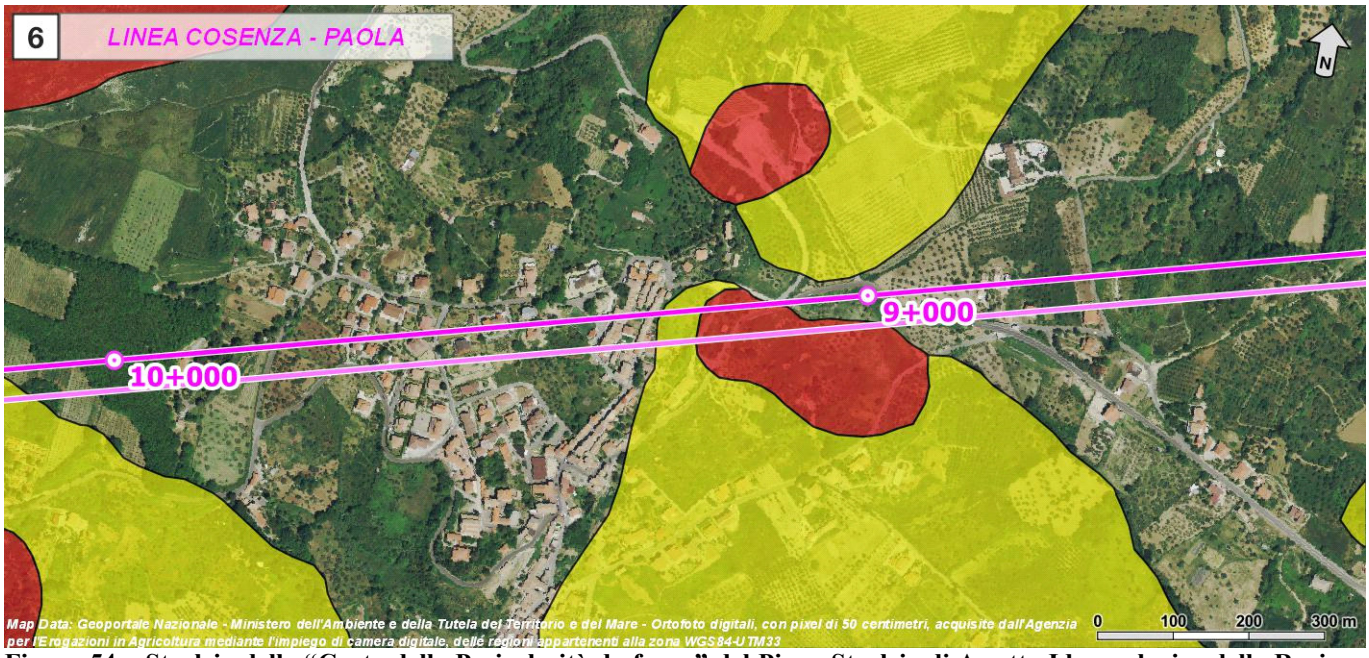


Figura 54 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 8+500 ÷ 10+000, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

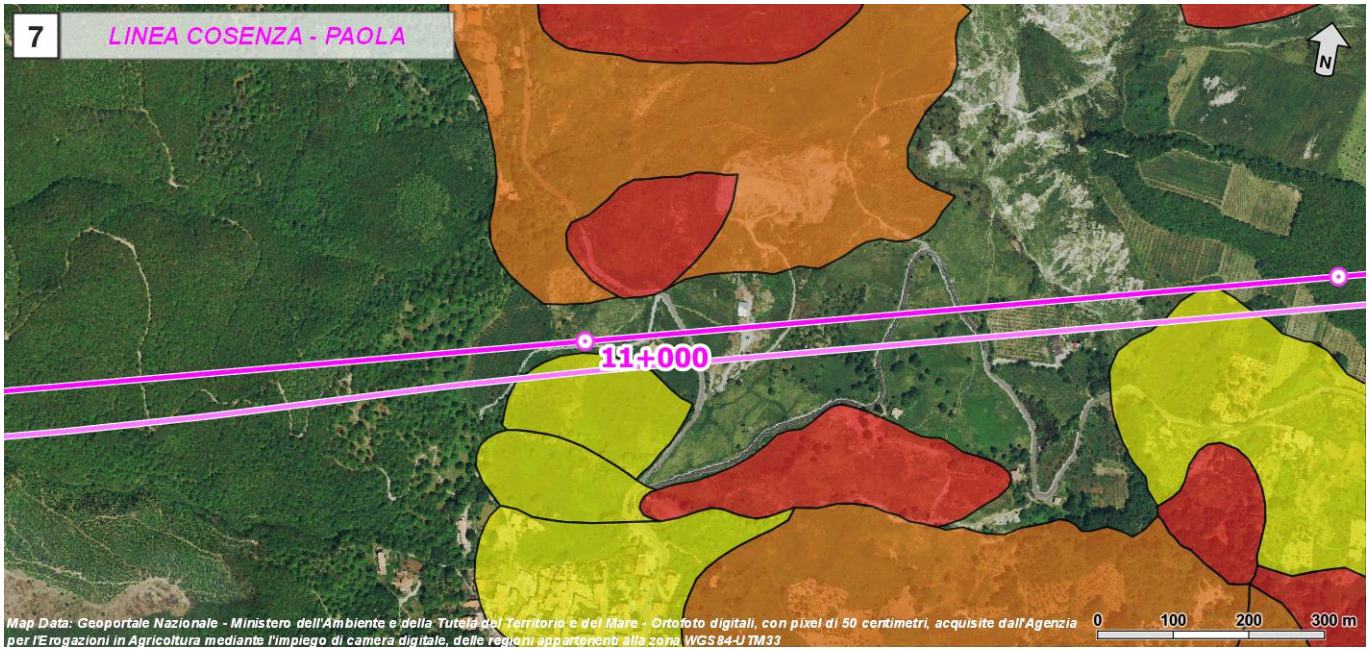


Figura 55 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 10+000 ÷ 11+700, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

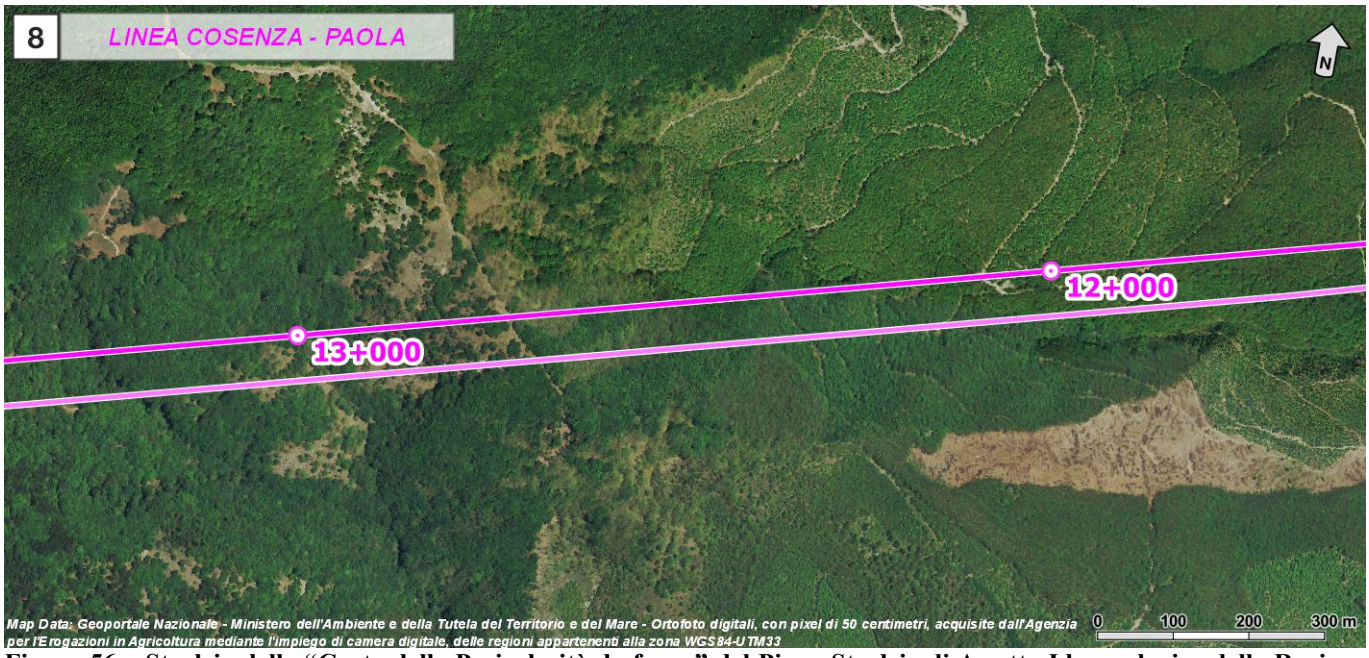


Figura 56 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 11+700 ÷ 13+500, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

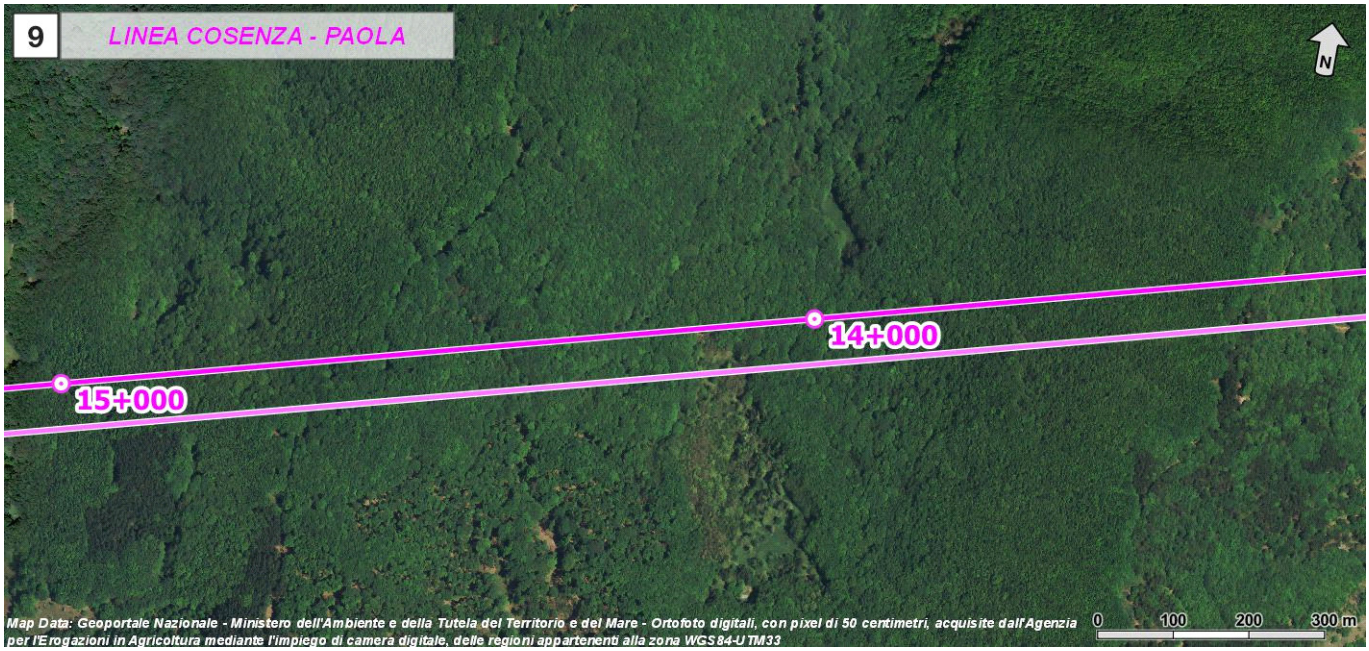


Figura 57 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 13+500 ÷ 15+000, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

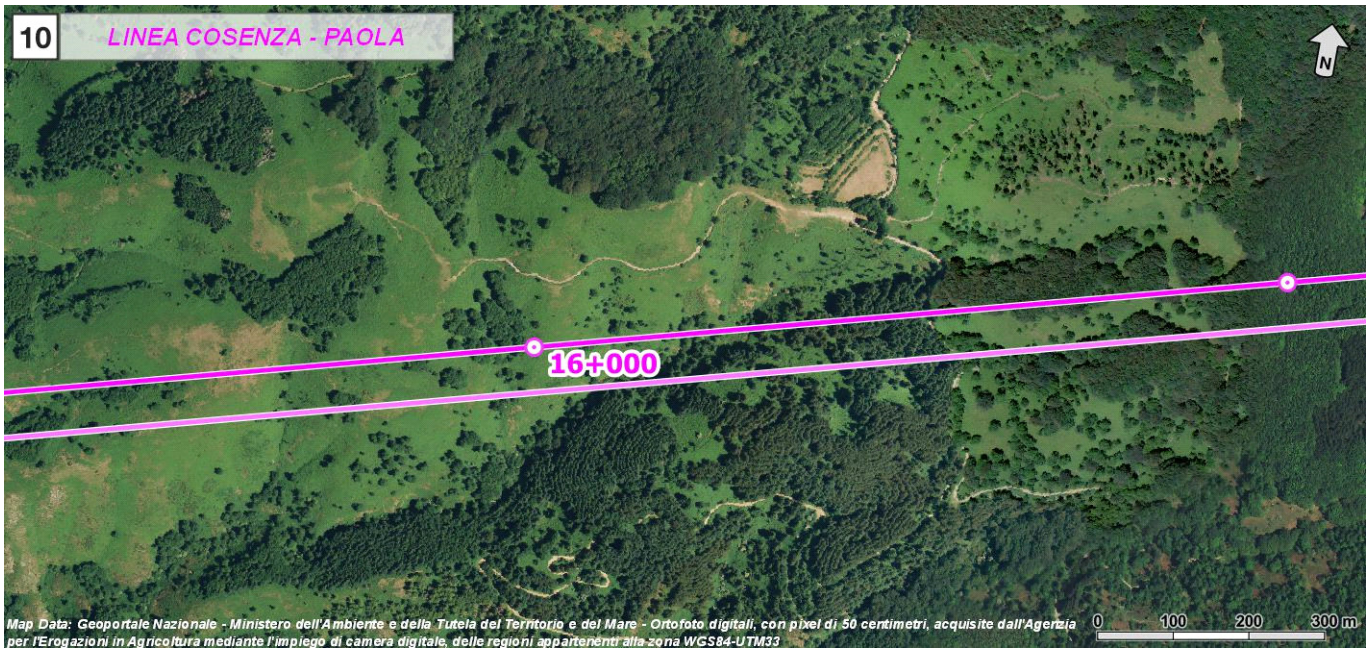


Figura 58 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 15+000 ÷ 16+700, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

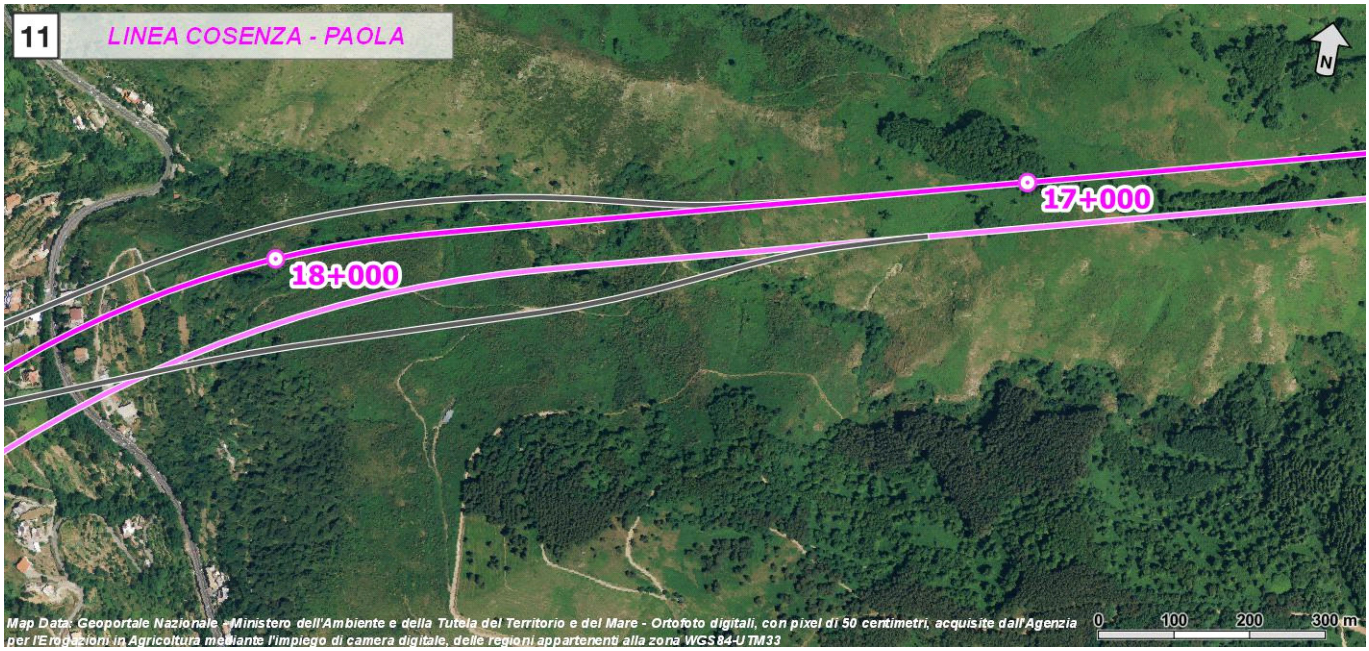


Figura 59 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 16+700 ÷ 18+300, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

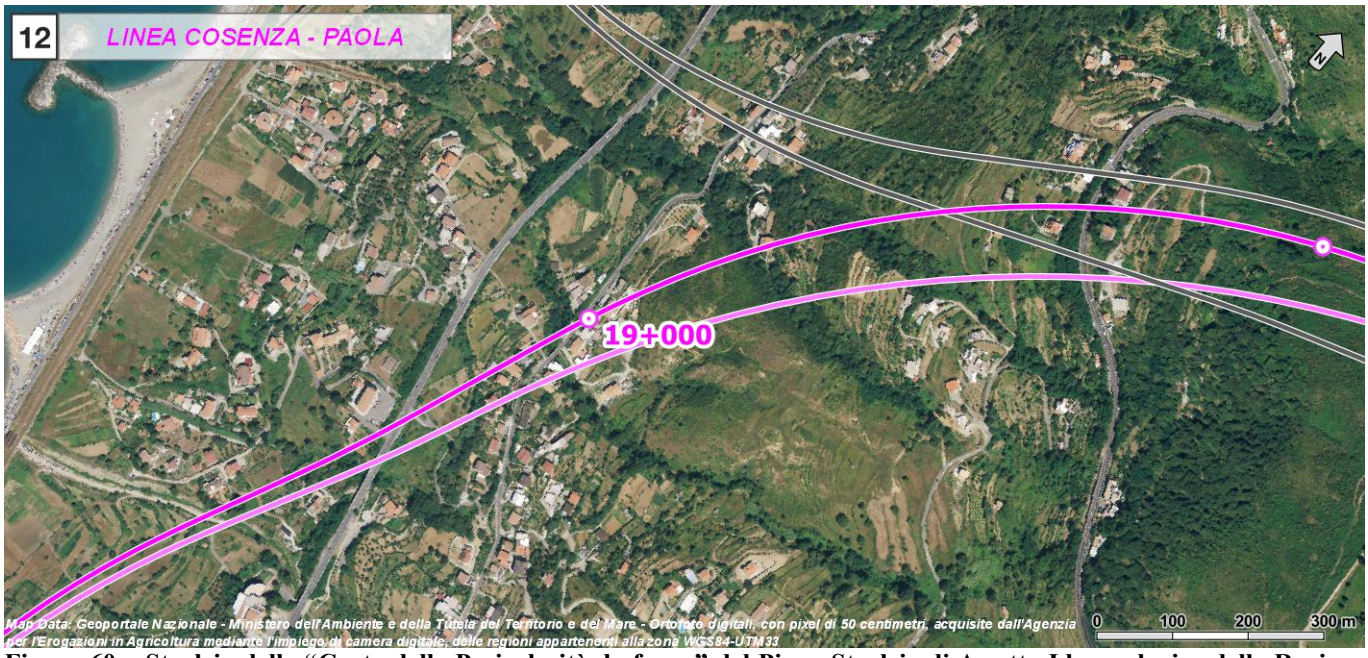


Figura 60 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 18+300 ÷ 19+800, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

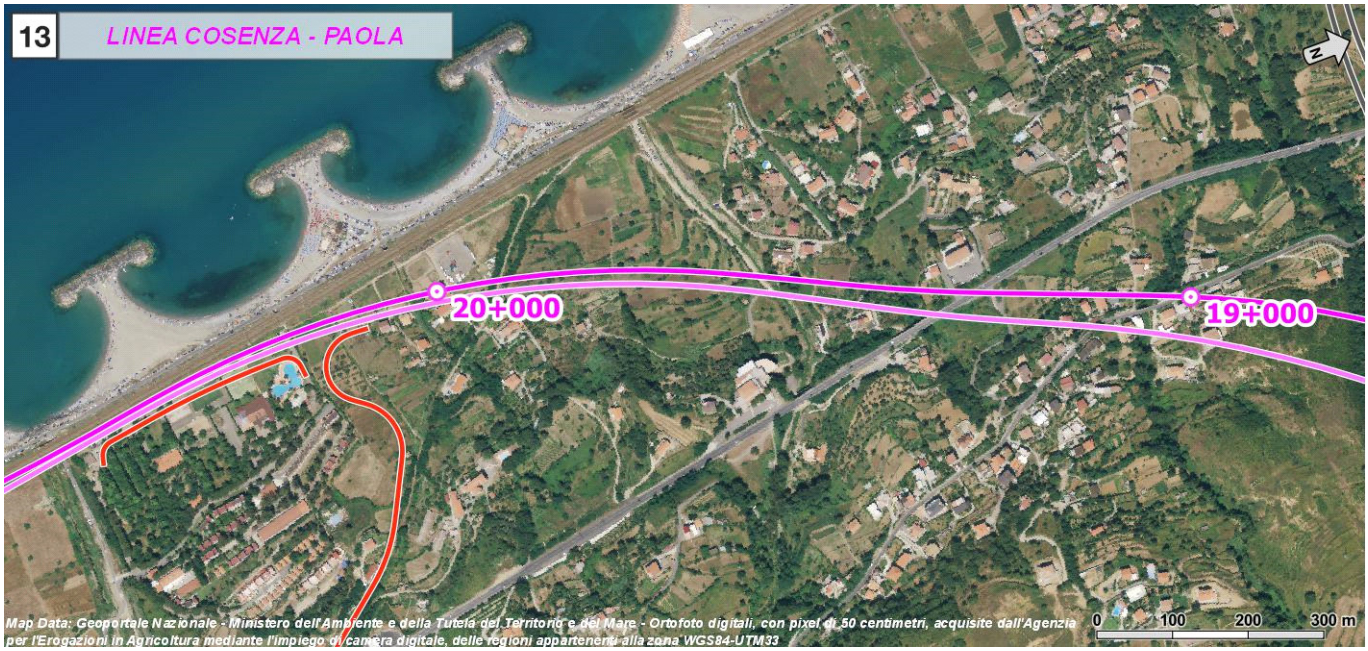


Figura 61 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 19+000 ÷ 20+500, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

Figura 62 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 20+000 ÷ 20+727, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea magenta). (Legenda: Figura 48).

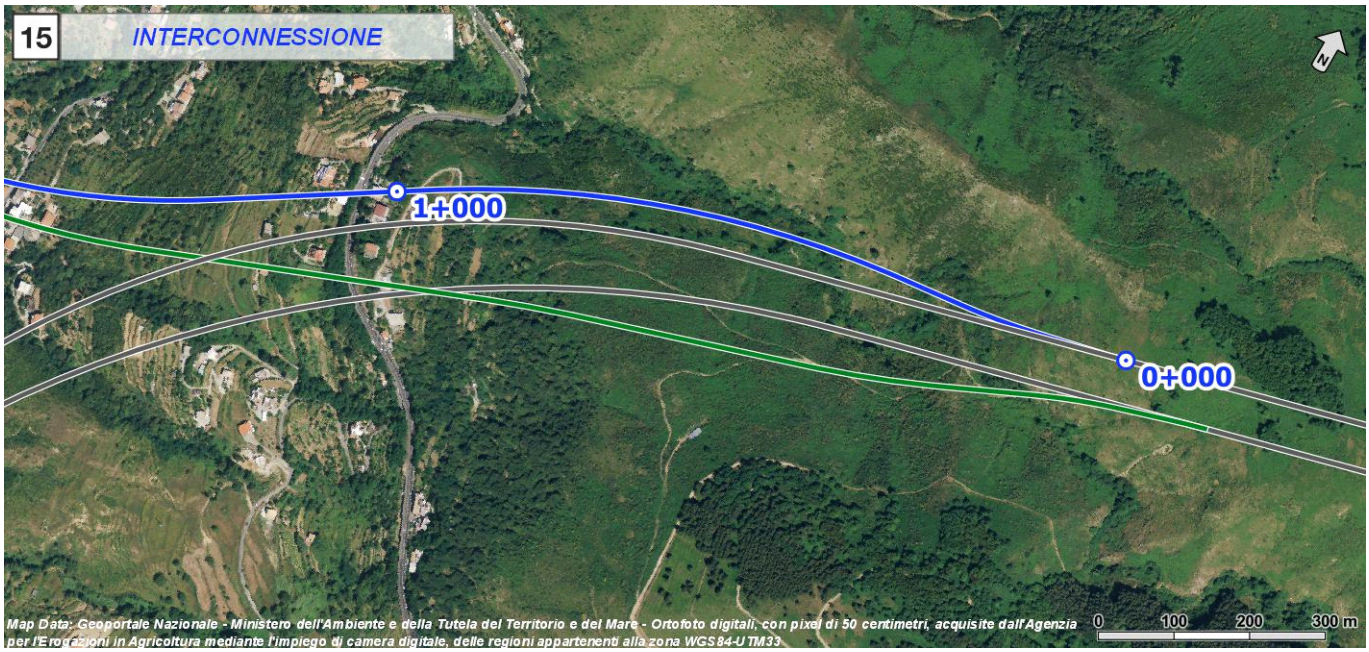


Figura 63 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 0+000 ÷ 1+500, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea blu). (Legenda: Figura 48).

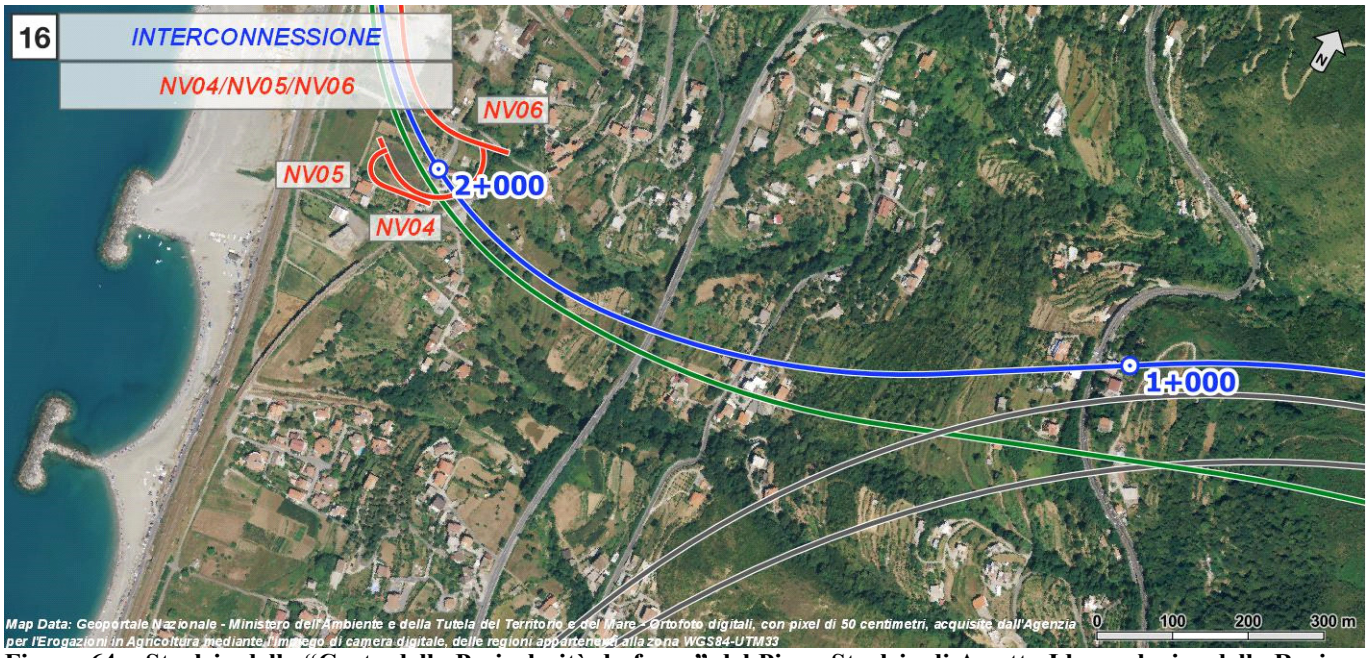


Figura 64 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 1+000 ÷ 2+000, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea blu). (Legenda: Figura 48).

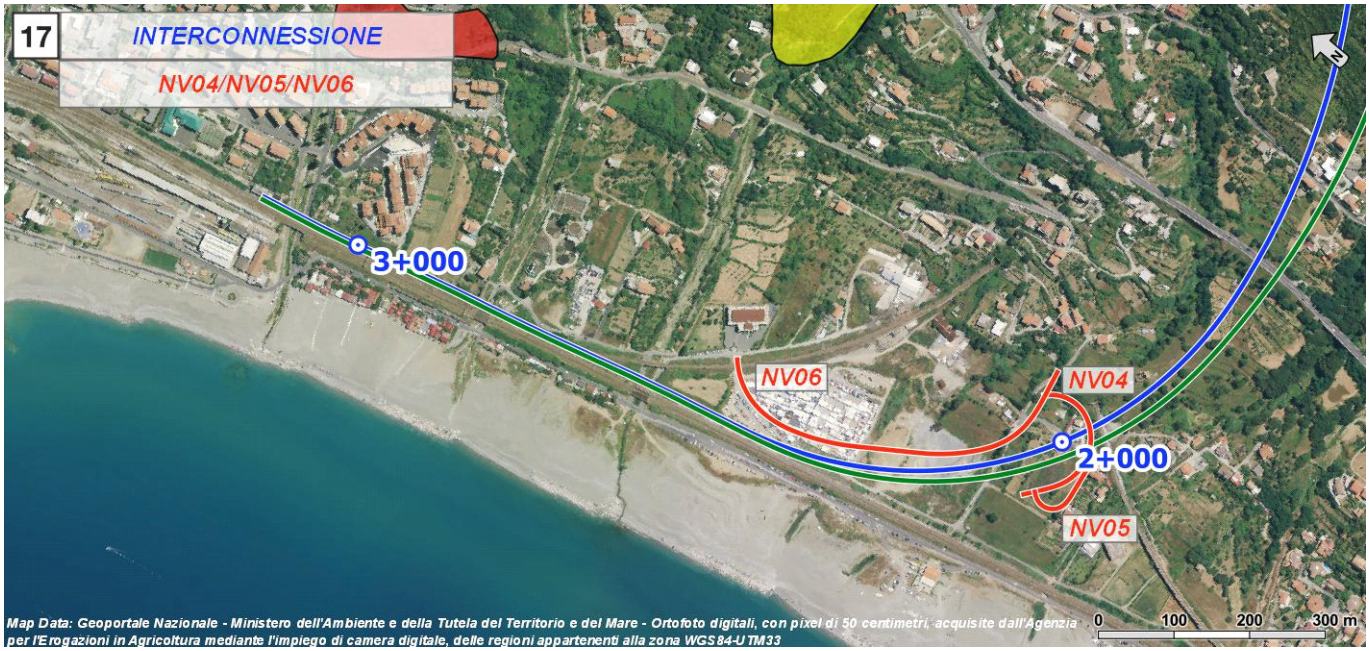


Figura 65 – Stralcio della "Carta della Pericolosità da frana" del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI 2015 aggiornamento 2020) tratto km 2+000 ÷ 3+139, con individuazione del tracciato ferroviario in progetto (linea blu). (Legenda: Figura 48).

14.3 Criticità idrogeologiche

Per quanto concerne gli aspetti connessi con la circolazione delle acque nel sottosuolo, si evidenzia la presenza di diverse falde idriche sotterranee all'interno dei differenti acquiferi individuati lungo il tracciato ferroviario in esame. Tali falde, infatti, potrebbero rappresentare dei potenziali elementi di criticità per le opere in progetto, sia per le possibili venute d'acqua lungo i fronti di scavo che per la notevole influenza esercitata sul comportamento meccanico dei termini litologici attraversati, come registrato durante la realizzazione della galleria esistente. Inoltre, sono possibili interferenze dirette o indirette tra le opere in progetto e gli acquiferi locali.

Buona parte dei corpi idrogeologici individuati rappresentano, nello schema di circolazione idrica dell'area, degli acquiferi di importanza più o meno significativa, a seconda delle locali caratteristiche di permeabilità dei litotipi e della estensione areale e verticale dei depositi. Ad essi si aggiungono, inoltre, alcuni corpi idrogeologici di ridotta permeabilità che, nello specifico contesto di riferimento, possono essere considerati degli *acquiclude* o al più degli *acquitard*, in quanto tamponano lateralmente e verticalmente gli acquiferi sotterranei più importanti portando alla formazione di numerose emergenze sorgentizie di importanza variabile.

Nei settori occidentali dell'area di studio, corrispondenti ai rilievi montuosi dell'*Horst* della Catena Costiera, il principale serbatoio di risorse idriche sotterranee è rappresentato dai litotipi cristallino-metamorfici del basamento paleozoico. Questi termini litologici sono caratterizzati, quindi, da una circolazione idrica fortemente eterogenea ed anisotropa, direttamente influenza dal locale stato di alterazione e/o fessurazione dell'ammasso nonchè dalla presenza di elementi tettonici quali faglie e fratture. I litotipi cristallino-metamorfici del basamento paleozoico sono ricoperti da successioni marine mioceniche di limitato spessore ed estensione, prive di una circolazione idrica sotterranea significativa.

In generale, i litotipi cristallino-metamorfici sono contraddistinti dalla sovrapposizione di un acquifero misto (o poroso) superficiale, costituito dai terreni residuali e di alterazione spinta del substrato, e da un acquifero fessurato intermedio, rappresentato dall'ammasso roccioso fratturato. Quest'ultimo è in genere limitato inferiormente dal substrato roccioso impermeabile, mediante un limite di permeabilità indefinito dovuto alla progressiva diminuzione del grado di fessurazione ed alla chiusura delle fratture beanti. Localmente è comunque possibile la presenza di falde idriche più profonde, poste in corrispondenza delle zone di deformazione tettonica o delle fasce cataclastiche più spesse associate ai maggiori allineamenti strutturali che tagliano i rilievi montuosi della Catena Costiera.

Lungo i margini della Catena Costiera le falde degli acquiferi cristallino-metamorfici sono confinate dai termini pelitico-sabbiosi del substrato miocenico, anche se localmente presentano una comunicazione idraulica diretta con i termini conglomeratici del Tortoniano. Sul lato orientale, verso il *Graben* del Crati, i litotipi cristallino-metamorfici sono delimitati da una serie di faglie di faglie dirette ad alto angolo che costituiscono un limite a flusso imposto di notevole rilevanza. Sul lato occidentale, in prossimità della costa tirrenica, i termini cristallino-metamorfici risultano tettonicamente sovrapposti al substrato marino miocenico secondo un limite a flusso imposto di moderata rilevanza, in quanto gran parte del deflusso idrico sotterraneo avviene in corrispondenza delle coperture quaternarie che caratterizzano l'area.

Le falde sono generalmente a superficie libera e con gradienti piezometrici piuttosto elevati, dovuti essenzialmente al grado di permeabilità medio-bassa degli acquiferi. L'andamento delle falde e i principali assi di drenaggio sono controllati dagli elementi tettonici e dallo stato di fratturazione dell'ammasso, anche se spesso coincidono con la superficie topografica nel caso degli acquiferi misti e porosi più superficiali. Le emergenze idriche superficiali sono molto numerose e direttamente connesse alle condizioni geologiche e geomorfologiche dell'area. In particolare, lungo il margine occidentale della Catena Costiera, le principali emergenze sorgentizie sono poste in corrispondenza delle maggiori aree impluviali e sono dovute, probabilmente, all'affioramento della superficie piezometrica in corrispondenza delle aste torrentizie. Lungo il bordo orientale dei suddetti rilievi montuosi, invece, le numerose sorgenti presenti sono situate essenzialmente alla base dei rilievi cristallino-metamorfici e sono dovute ad una soglia di permeabilità costituita dai terreni pelitico-sabbiosi tardo-cenozoici.

Nei settori centrali dell'area di studio, corrispondenti ai rilievi collinari presenti lungo il margine orientale della Catena Costiera, si rinvengono locali acquiferi di secondaria importanza costituiti dai litotipi arenaceo-conglomeratici delle successioni marine tardo-mioceniche. Tali terreni sono caratterizzati, in generale, da una circolazione idrica generalmente superficiale e piuttosto discontinua, connessa sia alla composizione granulometrica dei depositi che al relativo stato di alterazione e/o fessurazione. Le falde idriche sono per lo più discontinue e di modesta rilevanza, con un andamento plano-altimetrico che segue piuttosto bene l'andamento della superficie topografica. Le emergenze sorgentizie, generalmente scarse e poco rilevanti, sono dovute sia all'affioramento della superficie piezometrica alla base dei versanti che a soglie di permeabilità connesse con la presenza di terreni pelitici di bassa permeabilità.

Nei settori orientali dell'area di interesse progettuale, grossomodo corrispondenti ai rilievi basso collinari posti in sinistra idrografica del Fiume Crati, il principale serbatoio di risorse idriche sotterranee è rappresentato dai depositi sabbioso-conglomeratici del ciclo sedimentario plio-pleistocenico. Tali terreni costituiscono degli acquiferi misti piuttosto eterogenei ed anisotropi, caratterizzati da una circolazione idrica generalmente continua e a deflusso unitario, ma localmente frazionata per la presenza di orizzonti pelitici di notevole estensione. Le falde idriche sono sia a superficie libera che in pressione, con gradienti piezometrici estremamente variabili e strettamente connessi alle caratteristiche granulometriche e litologiche dei depositi. Le sorgenti sono piuttosto numerose ma generalmente di scarsa importanza, in quanto gran parte delle acque sotterranee va ad alimentare l'acquifero poroso della piana alluvionale del Fiume Crati. Tali emergenze risultano particolarmente diffuse nei settori più occidentali del Bacino

del Crati e sono dovute, quindi, sia all'affioramento della superficie piezometrica alla base dei rilievi che a soglie di permeabilità connesse con la presenza di depositi pelitici plio-pleistocenici.

Gli acquiferi sotterranei più importanti di tutta l'area di studio sono rappresentati, senza dubbio, dai depositi alluvionali e marini presenti sia lungo la costa tirrenica che in corrispondenza dei principali corsi d'acqua dell'area, come il Fiume Crati ed il Torrente Settimo. Questi depositi costituiscono degli acquiferi porosi particolarmente eterogenei ed anisotropi, caratterizzati da un deflusso idrico generalmente unitario e continuo. In tali acquiferi il deflusso idrico sotterraneo risulta direttamente condizionato dalla presenza di corsi d'acqua superficiali a carattere perenne o stagionale, che portano alla creazione di una estese falde di sub-alveo che defluiscono seguendo grossomodo l'andamento plano-altimetrico della superficie topografica.

Generalmente, le falde dei depositi alluvionali e marini presentano dei gradienti idraulici piuttosto bassi e sono quasi sempre caratterizzati da una superficie libera posta a pochi metri di profondità dal piano campagna. La ridotta profondità della superficie piezometrica e la presenza di locali contrasti di permeabilità favoriscono la formazione di sporadiche emergenze sorgentizie. Tali emergenze sono generalmente corrispondenti ad un limite a potenziale imposto rappresentato dai principali corpi idrici superficiali dell'area. Localmente, comunque, si può assistere ad una temporanea inversione dei rapporti tra falde sotterranee e corpi idrici superficiali, essenzialmente in relazione alle variazioni del livello piezometrico durante l'anno idrologico.

Infine, i depositi di copertura detritico-colluviali presenti in tutta l'area di studio non mostrano la presenza di corpi idrici di una certa rilevanza e, quindi, la circolazione idrica avviene principalmente in senso verticale, tramite il passaggio delle acque piovane dalla superficie topografica alle falde più profonde degli acquiferi sottostanti. Solo localmente sono presenti piccole falde a carattere stagionale, direttamente influenzate dal regime delle precipitazioni meteoriche.

Come evidenziato dai dati idrogeologici provenienti dalla realizzazione della vecchia Galleria Santomarco, lungo l'asse del tracciato sono presenti frequenti venute d'acqua, talora di particolare rilevanza. Tali emergenze si registrano, in particolare, in corrispondenza dei depositi di copertura quaternari e dei termini litologici sabbioso-conglomeratici tardo-cenozoici, ampiamente presenti nei settori orientale e occidentale dell'area di studio. Lungo il lato tirrenico, importanti venute d'acque sono attese in corrispondenza dei depositi marini terrazzati ampiamente presenti nell'area, che sono sede di una importante falda freatica defluente verso la costa. Lungo il lato interno, invece, le maggiori venute d'acqua sono attese in corrispondenza dei termini sabbioso-ghiaiosi e arenaceo-conglomeratici intercalati all'interno delle successioni pelitiche, oltre che in corrispondenza dei depositi terrazzati quaternari che bordano il fondovalle del Torrente Settimo.

Ulteriori venute d'acqua degne di nota sono state registrate in corrispondenza dei litotipi cristallino-metamorfici presenti nei settori centrali della Catena Costiera, lungo le maggiori zone di deformazione tettonica. Le principali venute d'acqua in questi litotipi sono attese in corrispondenza del margine occidentale della Catena Costiera, lungo le faglie dirette che mettono a contatto gli scisti muscovitici con i termini filladici e, infine, in corrispondenza del sistema di faglie distensive che borda il margine orientale dell'*horst* (al contatto tra gli scisti epidotici e le successioni mioceniche). Ovviamente, in relazione alla notevole eterogeneità e discontinuità delle falde in rete che caratterizzano tali termini litologici, è possibile attendersi venute d'acqua di particolare importanza anche in zone non segnalate nelle precedenti fasi di esecuzione della Galleria Santomarco, soprattutto in corrispondenza dei principali elementi strutturali o lungo le maggiori fasce di deformazione tettonica.

I sondaggi geognostici condotti durante la presente fase di approfondimento progettuale hanno evidenziato l'assenza di falde idriche sotterranee di particolare rilevanza in corrispondenza dei punti di perforazione, anche se in un settore è stata comunque confermata la presenza di circolazione idrica. Nello specifico, sondaggio

SGN10_gall non sono state rinvenute acque sotterranee, mentre nel sondaggio SGN12_gall, superati i 13.30 m di perforazione, è stata registrata la presenza di un livello idrico in prossimità del boccaforo (il sondaggio è inclinato di circa 18.5° dall'orizzontale).

Un altro elemento di potenziale criticità per le opere in progetto è rappresentato dalla falda in pressione rinvenuta nei settori più occidentali della Catena Costiera, durante la realizzazione del sondaggio SGN-05. Questa falda, sostenuta dai termini pelitico-sabbiosi dal substrato, è contenuta all'interno di una porzione intensamente fratturata ed alterata dell'ammasso gneissico-scistoso, con uno spessore di alcune decine di metri. Verso l'alto, la falda in pressione è confinata da una porzione di ammasso roccioso poco o moderatamente fratturata, con un grado di permeabilità sensibilmente inferiore a quello dell'ammasso sottostante. Durante le fasi di perforazione del sondaggio SGN-05 la falda è stata intercettata intorno ai 42.5 m dal p.c., in corrispondenza di un livello completamente tettonizzato. Durante il carotaggio la falda in pressione ha mostrato una portata di circa 3 l/s ed è risalita alcuni decimetri al di sopra p.c..

14.4 Caratteristiche geomeccaniche

Per poter definire le caratteristiche geomeccaniche e il relativo stato di fratturazione dei termini lapidei presenti lungo il tracciato ferroviario in progetto, nell'ambito del presente studio sono stati condotti n. 10 rilievi geostrutturali sui termini litologici affioranti nel settore della Catena Costiera. I rilievi sono stati eseguiti secondo gli *standard* della International Society for Rock Mechanics (ISRM 1978, 1993) e hanno interessato gli ammassi rocciosi di tre differenti unità geologiche presenti lungo il tracciato ferroviario, ovvero: gli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**), gli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**) e Filladi di San Giovanni (**FSG**). Per quanto riguarda le altre unità geologiche, non sono stati rinvenuti affioramenti significativi per la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso e la definizione del relativo stato di fratturazione.

Tali dati di superficie sono stati integrati con le risultanze delle indagini geognostiche appositamente condotte nell'area di studio e all'interno della galleria esistente. In particolare, dal punto di vista geomeccanico sono state considerate n. 7 sondaggi geognostici, di cui n. 5 realizzati in superficie e n. 2 in galleria. Il *GSI* degli ammassi rocciosi fratturati nei fori di sondaggio è stato determinato sulla scorta dell'approccio di Hoek et al. (2013), basato sullo stato di fratturazione dell'ammasso (*RQD*) e sulle condizioni dei giunti ($JCond_{89}$). L'approccio è sintetizzato in una carta di confronto con diverse classi di fratturazione.

14.4.1 Gneiss di Cozzo Luparello

I termini litologi degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**) sono composti da gneiss e scisti biotitico-granatiferi di colore grigio, grigio-rossastro e grigio-verdastro, occasionalmente con sillimanite ed andalusite, a tessitura scistosa e fortemente orientata; si rinvengono vene e piccoli ammassi di pegmatite e materiale granitico, localmente tanto abbondanti da produrre zone migmatitiche (*Paleozoico*). Su questa unità sono stati condotti n. 8 rilievi geostrutturali (nel settore orientale dell'area di studio) e n. 2 sondaggi geognostici in superficie (SGN05 e SGN09).

I rilievi condotti hanno evidenziato ammassi caratterizzati da piani di scistosità e fratturazione variamente spaziati, mediamente da 5 a 65 cm. Le discontinuità sono risultate sempre completamente asciutte, da moderatamente a fortemente alterate, con apertura generalmente piuttosto bassa e variabile tra 0 e 10 mm. Il riempimento è risultato spesso assente e solo di rado rappresentato da terriccio o da materiali detritici a grana medio-fine. La persistenza è generalmente media, in quanto una parte dei giunti termina contro le altre discontinuità che interessano l'ammasso, mentre altri si estendono al di fuori dell'affioramento. I valori medi di *JRC* determinati sono risultati generalmente compresi tra 8 e 12, ma talora variabili tra 6 e 16.

Per quanto concerne lo stato di fratturazione, il numero volumetrico di discontinuità (J_v) ha evidenziato valori compresi tra 13.9 e 28.1 giunti/m^3 mentre il *Rock Quality Designation Index* (*RQD*) valori variabili tra il 22.1 % e 69.1 %. Il *Rock Mass Rating System* (*RMR*) di Bieniawski (1989) ha evidenziato una classe di ammasso sempre mediocre, con valori di RMR_b variabili tra 48 e 53 e, considerata la presenza di fronti rocciosi caratterizzati da discontinuità sempre asciutte, i valori di RMR_{89} sono coincisi con i valori di RMR_b Il *Geological Strength Index* (*GSI*) di Hoek (Hoek & Marinos 2000), infine, è stato ricavato empiricamente dall'indice RMR_{89} ed ha fornito valori variabili tra 43 e 48, indicativi di ammassi rocciosi di qualità mediocre o scadente.

Nel sondaggio SGN05, i primi 25.60 m di perforazione hanno intercettato i depositi clastici terrazzati presenti lungo il margine occidentale della Catena Costiera, mentre i restanti metri hanno interessato l'ammasso roccioso degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**). Nel complesso, il materiale analizzato presenta un *RQD* pari al 10.1 % e un *GSI* di circa 20.3 (±14.3).

Nel sondaggio SGN09, invece, i primi 22.00 m di perforazione hanno intercettato i detriti di frana e i depositi clastici terrazzati presenti lungo il margine occidentale della Catena Costiera, mentre i restanti metri hanno interessato l'ammasso roccioso degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**). In generale, il materiale analizzato presenta un *RQD* pari al 12.3 % e un *GSI* di circa 24.9 (±16.5).

14.4.2 Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti

I litotipi degli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (**EBG**) sono rappresentati da scisti con epidoto di colore verde, grigio e grigio-verdastro, a tessitura scistosa, con locali intercalazioni di scisti violetti e frequenti vene di quarzo parallele alla scistosità; a luoghi si rinvengono potenti orizzonti porfiroidi e calcari cristallini finemente zonati (*Paleozoico*). Su questa unità sono stati realizzati n. 2 sondaggi geognostici, di cui uno all'interno della galleria esistente (SGN12_gall) e uno in superficie (SGN12).

Nel sondaggio SGN12_gall, i primi 2.00 m di perforazione hanno intercettato il materiale di rivestimento della galleria, mentre i restanti metri hanno interessato l'ammasso roccioso degli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (**EBG**). In generale, il materiale in esame presenta un *RQD* pari al 59.5 % e un *GSI* di circa 49.3 (±24.9). Fino a 5 m, il sondaggio ha intercettato un ammasso roccioso molto fratturato a causa del disturbo prodotto dalla realizzazione della galleria esistente. Tale orizzonte mostra un *RQD* pari al 0.0 % e un *GSI* di circa 7.5 (±13.0). Il resto del sondaggio risulta meno disturbato a seguito delle operazioni di scavo ed è caratterizzato da un *RQD* pari al 64.5 % e un *GSI* di circa 59.7 (±12.7).

Nel sondaggio SGN12, i primi 15.25 m di perforazione hanno intercettato le coltri di copertura e i termini argilloso-marnosi delle sequenze mioceniche, mentre i restanti metri hanno interessato l'ammasso roccioso degli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (**EBG**). I litotipi si presentano completamente destrutturati e tettonizzati a causa degli elementi tettonici che bordano il rilievo della Catena Costiera. Nel complesso, il materiale analizzato mostra un *RQD* pari al 0.0 % e un *GSI* di circa 12.3 (±0.8).

14.4.3 Scisti muscovitici di Greco

I termini litologici degli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**) sono costituiti da scisti e scisti muscovitici di colore grigio, marrone e grigio-verdastro, spesso a composizione granitica, a tessitura scistosa e fortemente orientata; sono presenti frequenti vene di quarzo parallele alla scistosità (*Paleozoico*). Su questa unità è stato condotto n. 1 rilievo geostrutturale (nel settore sud-orientale dell'area di studio) e n. 2 sondaggi geognostici in superficie (SGN10 e SGN11).

Il rilievo condotto ha evidenziato un ammasso caratterizzato da piani di scistosità e fratturazione variamente spaziati, mediamente da 18 a 50 cm. Le discontinuità sono risultate sempre completamente asciutte, moderatamente alterate, con apertura generalmente piuttosto bassa e variabile tra 3 e 10 mm. Il riempimento è spesso assente e solo di rado rappresentato da terriccio. La persistenza è risultata in genere media, in quanto una parte dei giunti termina contro le altre discontinuità che interessano l'ammasso, mentre altri si estendono al di fuori dell'affioramento. I valori medi di *JRC* determinati sono risultati generalmente compresi tra 8 e 10.

Per quanto concerne lo stato di fratturazione, il numero volumetrico di discontinuità (J_v) ha evidenziato un valore di 13.2 giunti/m^3 mentre il *Rock Quality Designation Index* (*RQD*) un valore del 71.4%. Il *Rock Mass Rating System* (*RMR*) di Bieniawski (1989) ha evidenziato una classe di ammasso sempre mediocre, con valori di RMR_b variabili tra 47 e 52 e, considerata la presenza di fronti rocciosi caratterizzati da discontinuità sempre asciutte, i valori di RMR_{89} sono coincisi con i valori di RMR_b Il *Geological Strength Index* (*GSI*) di Hoek (Hoek & Marinos 2000), infine, è stato ricavato empiricamente dall'indice RMR_{89} ed ha fornito valori variabili tra 42 e 47, indicativi di ammassi rocciosi di qualità mediocre o scadente.

Nel sondaggio SGN10, i primi 5.50 m di perforazione sono stati eseguiti nelle coltri di copertura presenti alla base del versante, mentre i restanti metri hanno interessato l'ammasso roccioso degli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**). Nel complesso, il materiale roccioso analizzato è caratterizzato da un *RQD* pari al 18.8 % e un *GSI* di circa 31.9 (±13.6).

Nel sondaggio SGN11, invece, i primi 0.60 m di perforazione hanno intercettato la massicciata della strada su cui è stato eseguito il foro, mentre i restanti metri hanno interessato l'ammasso roccioso degli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**). In generale, il materiale analizzato in questo sondaggio mostra un *RQD* pari al 23.9 % e un *GSI* di circa 39.4 (±14.4).

14.4.4 Filladi di San Giovanni

I litotipi delle Filladi di San Giovanni (**FSG**) sono costituiti da filladi e scisti filladici di colore grigio e nerastro, rossastro per alterazione, lucenti e a tessitura finemente scistosa, con locali intercalazioni di metarenarie e metacalcari cristallini; sono presenti frequenti vene di quarzo parallele alla scistosità (*Paleozoico*). Su questa unità è stato condotto n. 1 rilievo geostrutturale (nel settore meridionale dell'area di studio) e n. 1 sondaggio geognostico nella galleria ferroviaria esistente (SGN10_gall)

Il rilievo condotto ha evidenziato un ammasso caratterizzato da piani di scistosità e fratturazione variamente spaziati, mediamente da 7 a 55 cm. Le discontinuità sono risultate sempre completamente asciutte, fortemente alterate, con apertura generalmente piuttosto bassa e variabile tra 1 e 4 mm. Il riempimento è risultato spesso assente e solo di rado rappresentato da terriccio. La persistenza è risultata in genere media, con una parte dei giunti terminante contro le altre discontinuità che interessano l'ammasso e una parte estesi al di fuori dell'affioramento. I valori medi di *JRC* determinati sono risultati generalmente compresi tra 6 e 8, con una singola famiglia di discontinuità con *JRC* medio pari a 16.

Per quanto concerne lo stato di fratturazione, il numero volumetrico di discontinuità (J_v) ha evidenziato un valore di 29.5 giunti/m^3 mentre il *Rock Quality Designation Index* (*RQD*) un valore del 17.6%. Il *Rock Mass Rating System* (*RMR*) di Bieniawski (1989) ha evidenziato una classe di ammasso sempre mediocre, con valori di RMR_b variabili tra 37 e 41 e, considerata la presenza di fronti rocciosi caratterizzati da discontinuità sempre asciutte, i valori di RMR_{89} sono coincisi con i valori di RMR_b Il *Geological Strength Index* (*GSI*) di Hoek (Hoek & Marinos 2000), infine, è stato ricavato empiricamente dall'indice RMR_{89} ed ha fornito valori variabili tra 32 e 36, ancora una volta indicativi di ammassi rocciosi di qualità mediocre o scadente.

Per quanto riguarda il sondaggio, i primi 0.42 m di sondaggio hanno intercettato il materiale di rivestimento della galleria, mentre i restanti metri hanno interessato l'ammasso roccioso delle Filladi di San Giovanni (**FSG**). Nel complesso, il materiale analizzato presenta un *RQD* pari al 37.4 % e un *GSI* di circa 35.2 (±14.2). Da questa analisi sono state escluse le porzioni perforate a distruzione di nucleo (tra 8.00 e 11.50 m da boccaforo). Fino a 5 m, il sondaggio ha intercettato un ammasso roccioso molto fratturato a causa del disturbo prodotto dalla realizzazione della galleria esistente. Tale orizzonte presenta un *RQD* pari al 14.5 % e un *GSI* di circa 23.0 (±4.9). Il resto del sondaggio risulta meno disturbato a seguito delle operazioni di scavo ed è caratterizzato da un *RQD* pari al 47.6 % e un *GSI* di circa 40.6 (±13.7).

14.5 Suscettività alla liquefazione

La liquefazione è un particolare processo che causa la temporanea perdita di resistenza di un sedimento che si trova al di sotto del livello di falda, portandolo a comportarsi come un fluido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace (Riga 2007). Tale fenomeno avviene, cioè, quando la pressione dei pori aumenta fino ad eguagliare la pressione inter-granulare.

L'incremento di pressione neutra è causato, principalmente, dalla progressiva diminuzione di volume che si registra in un materiale granulare poco addensato soggetto alle azioni cicliche di un sisma. Ovviamente, per quanto detto in precedenza, sono suscettibili di liquefazione terreni granulari, da poco a mediamente addensati, aventi granulometria compresa tra le sabbie ed i limi, con contenuto in fine piuttosto basso. Tali terreni devono essere altresì posti al di sotto del livello di falda e a profondità relativamente basse, generalmente inferiori ai 15 m dal p.c..

Al fine di verificare la possibile suscettività a liquefazione dei terreni interessati dalle opere in progetto sono state condotte una serie di analisi qualitative basate sulle procedure dettate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018. L'attuale normativa vigente in materia di costruzioni edilizie (NTC2018 - par. 7.11.3.4.2) prevede che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 *g*;
2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (*Standard Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (*Cone Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4) distribuzione granulometriche esterna ai fusi granulometrici indicati da normativa, distinti in funzione del coefficiente di uniformità U_c.

In particolare, se la condizione 1 non risulta soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4. Pertanto, in relazione a quanto previsto dall'NTC 2018, sono state condotte una serie di analisi puntuali volte a verificare tutte le condizioni predisponenti elencate in precedenza, al fine di determinare la possibile suscettività a liquefazione dei terreni interessati dalle opere in progetto.

Per quanto detto in precedenza, le verifiche sono state condotte unicamente per i terreni posti a profondità inferiori ai 15-20 m dal p.c., in quanto al di sotto non è possibile che si verifichino tali fenomeni. Ovviamente le suddette

analisi hanno un carattere generale e, pertanto, andranno puntualmente dettagliate attraverso verifiche geotecniche basate sulla resistenza dinamica e sull'effettivo stato di addensamento dei terreni investigati.

Le fonti bibliografiche a disposizione e lo studio relativo alla sismicità storica e alla pericolosità sismica condotto hanno evidenziato che, nell'area di intervento, si sono verificati diversi terremoti con magnitudo M superiore a 5. In particolare, il massimo terremoto atteso nell'area presenta una M pari a 7.29, in quanto riferibili alla **Zona 929** "*Calabria Tirrenica*" (Figura 36).

Le accelerazioni massime attese al piano campagna, in condizioni di campo libero, sono risultate essere generalmente superiori al limite definito da normativa, in quanto variabili tra 0.150-0.275 a_g (Figura 45). In relazione a quanto detto e considerata la presenza delle condizioni predisponenti esposte nel punto 1 dell'NTC 2018, si è quindi proceduto alla verifica dei punti 2, 3 e 4 del paragrafo "*7.11.3.4.2 – Esclusione della verifica a liquefazione*", in modo da rispondere puntualmente a tutti i quesiti posti da norma.

Per quanto concerne la falda, viste le condizione geomorfologiche e la presenza di un monitoraggio piezometrico, eseguito da giugno 2012 a luglio 2021 (cfr. 12.3 - Monitoraggio piezometrico), è possibile ipotizzare un livello piezometrico compreso tra 0.25 e 197.2 m s.l.m.. Tale falda risulta quindi al di sopra del limite di 15 m previsto da normativa.

Dal punto di vista granulometrico e tessiturale, infine, i dati geologici a disposizione hanno mostrato la presenza di terreni con caratteristiche variabili ed eterogenee. In generale, i terreni attraversati sono caratterizzati da una granulometria ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e argilloso-limosa. In termini qualitativi i depositi argilloso-limosi dei depositi delle Argille marnose del Torrente Scumalatte (**ASM**, *Pliocene superiore-Pleistocene inferiore*) e delle Argille limose del Torrente Settimo (**ATS**, *Pleistocene inferiore*) non presentano suscettività alla liquefazione, mentre i depositi sabbioso-limosi dei depositi delle Sabbie di Mandrigli (**SMD**, *Pleistocene inferiore*) e delle Sabbie e conglomerati di Destra Comune (**SDC**, *Pleistocene inferiore)* e i depositi ghiaioso-sabbiosi dei Conglomerati di San Sisto dei Valdesi (**CSS**, *Pliocene medio-Pliocene superiore*), delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (**SCM**, *Pleistocene inferiore*), dei Depositi marini terrazzati (**gn**, *Pleistocene medio-Pleistocene superiore*), dei Depositi marini attuali e recenti (**g2**, *Olocene-Attuale*), dei Depositi alluvionali terrazzati (**bn**, *Pleistocene medio-Pleistocene superiore*), dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**, *Olocene-Attuale*) e dei Depositi detritico-colluviali (**b2**, *Olocene-Attuale*) presentano suscettività alla liquefazione variabile da bassa ad alta.

Relativamente alla resistenza penetrometrica dei terreni, le verifiche sono state condotte in relazione alle prove SPT realizzate nei fori di sondaggio durante le fasi di perforazione. Sono stati quindi determinati i valori della resistenza normalizzata sulla base della formula seguente (Seed & Idriss 1982; Skempton 1986; Robertson & Wride 1998; Riga 2007):

$$(N_1)_{60} = (N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S) \cdot C_N = (N)_{60} \cdot C_N$$

dove N_{SPT} è la misura della resistenza penetrometrica in sito, C_N il fattore per la normalizzazione alla pressione effettiva di 1 atmosfera, e C_E, C_B, C_R e C_S i fattori di correzione rispettivamente per il rapporto di energia, il diametro del foro, la lunghezza delle aste e i campioni. Nella Tabella 47 vengono riportati i valori di $(N_1)_{60}$ calcolati per le prove eseguite a profondità inferiore ai 15 m dal p.c.

identificativo CI	sondaggio	unità	profondità prova *m*	N_{SPT}	$(N_1)_{60}$
Italferr 2022	SR1	bn	1.5	15	**14***

identificativo CI	sondaggio	unità	profondità prova *m*	N_{SPT}	$(N_1)_{60}$
Italferr 2022	SR1	bn	3.4	17	**13***
Italferr 2022	SR1	bn	6.2	76	55
Italferr 2022	SR1	bn	8.4	21	**14**
Italferr 2022	SR1	bn	10.2	28	**18**
Italferr 2022	SR1	bn	12.9	R	R
Italferr 2022	SR1	bn	16.1	R	R
Italferr 2022	SR2	bn	3.2	33	**25***
Italferr 2022	SR2	bn	9.4	R	R
Italferr 2022	SR2	bn	12.2	47	**29**
Italferr 2022	SGN15	bn	2.8	7	**6***
Italferr 2022	SR3	bn	1.8	22	**20***
Italferr 2022	SR3	bn	4.2	27	**20***
Italferr 2022	SR3	bn	7.2	27	**17***
Italferr 2022	SR3	bn	9.8	30	**17**
Italferr 2022	SR3	bn	12.6	R	R
Italferr 2022	SR3	bn	15.1	R	R
Italferr 2022	SR3	bn	19.8	43	**19**
Italferr 2021	SGN-01	bn	3.2	42	34
Italferr 2021	SVI-01	bn	3.2	18	**14***
Italferr 2021	SVI-01	bn	6.2	42	30
Italferr 2021	SVI-01	bn	9.2	52	35
Italferr 2021	SVI-01	bn	12.7	66	40
Italferr 2021	SVI-02	bn	3.2	50	39*
Italferr 2021	SVI-02	bn	5.9	R	R
Italferr 2021	SVI-02	bn	8.7	65	47
Italferr 2021	SVI-02	bn	11.8	66	42
Italferr 2021	SVI-03	bb	3.2	53	40*
Italferr 2021	SVI-03	bb	5.8	53	40
Italferr 2021	SVI-03	bn	8.9	39	**28**
Italferr 2021	SVI-03	bn	12.2	50	32
Italferr 2021	SVI-07	g2	2.8	19	**15***
Italferr 2021	SVI-07	g2	6.2	34	**25**
Italferr 2021	SVI-07	gn	9.4	47	31

identificativo CI	sondaggio	unità	profondità prova *m*	N_{SPT}	$(N_1)_{60}$
Italferr 2021	SGN-07	bb	3.2	13	**10***
Italferr 2021	SGN-07	gn	6.6	19	**13**
Italferr 2021	SGN-07	gn	9.9	25	**16**
Italferr 2021	SGN-07	gn	12.2	36	**21**
Italferr 2021	SVI-06	b2	3.2	10	**8**
Italferr 2021	SVI-06	gn	6.9	18	**14**
Italferr 2021	SVI-04	g2	3.2	28	**22***
Italferr 2021	SVI-04	g2	6.8	25	**18**
Italferr 2021	SVI-04	gn	9.7	40	**26**
Italferr 2021	SVI-04	gn	12.6	48	**28**
Italferr 2021	SVI-05	bb	3.2	21	**16***
Italferr 2021	SVI-05	g2	6.5	61	45
Italferr 2021	SVI-05	g2	10.2	68	46
Italferr 2021	SVI-05	g2	12.2	69	44
Italferr 2012	BH05	bn	4.2	R	R
Italferr 2012	BH06	bn	3.2	84	65*
Italferr 2012	BH06	bn	6.7	13	**9**
Italferr 2012	BH01	b2	3.2	35	**27***
Italferr 2012	BH01	gn	6.2	36	**24**
Italferr 2012	BH01	gn	12.0	R	R
Italferr 2012	BH02	gn	5.7	R	R*
Italferr 2012	BH03	gn	6.2	10	**7**
CI02	S1_200+072	g2	3.2	84	66
CI02	S1_200+072	gn	6.2	66	52
CI02	S1_200+072	gn	9.0	R	R
CI02	S1_200+587	bb	3.1	R	R*
CI02	S1_200+587	g2	7.1	R	R
CI02	S1_200+587	g2	13.1	R	R
CI02	S1_197+975	g2	6.5	60	45
CI02	S1_197+975	g2	13.9	48	**29**
CI02	S1_197+699	g2	5.2	R	R
CI02	S1_1+357	g2	4.5	43	35*

identificativo CI	sondaggio	unità	profondità prova *m*	N_{SPT}	$(N_1)_{60}$
CI02	S1_1+357	g2	7.8	57	39
CI02	S1_1+357	g2	10.2	37	**24**

Tabella 47 - Parametri di sintesi dei valori di NSPT registrati nei fori di sondaggio e valori di resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 relativi ai terreni interessati dalle analisi di suscettività a liquefazione, sono segnalati gli orizzonti con (N1)60 <30. *Prova realizzata sopra falda. Per l'identificativo CI cfr. 3- Documenti di riferimento.

Tali prove hanno evidenziato, in particolare, la presenza di terreni caratterizzati da valori di resistenza localmente al di sotto del limite di $(N_1)_{60}$ definito da normativa (Tabella 47). Tali terreni possono ritenersi suscettibili di possibili fenomeni di liquefazione.

Al fine di valutare in via preliminare la vulnerabilità alla liquefazione è stata eseguita una analisi delle prove DPSH il metodo sperimentale di Nishiyama et al. (1977).

Di seguito (Figura 66, Figura 67) vengono sintetizzati i risultati dello studio quantitativo eseguito sulle prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH) disponibili nell'area di studio. Tali prove interessano per il settore lato Cosenza i Depositi alluvionali terrazzati (**bn**) e per il settore lato Paola i Depositi marini attuali e recenti (**g2**).

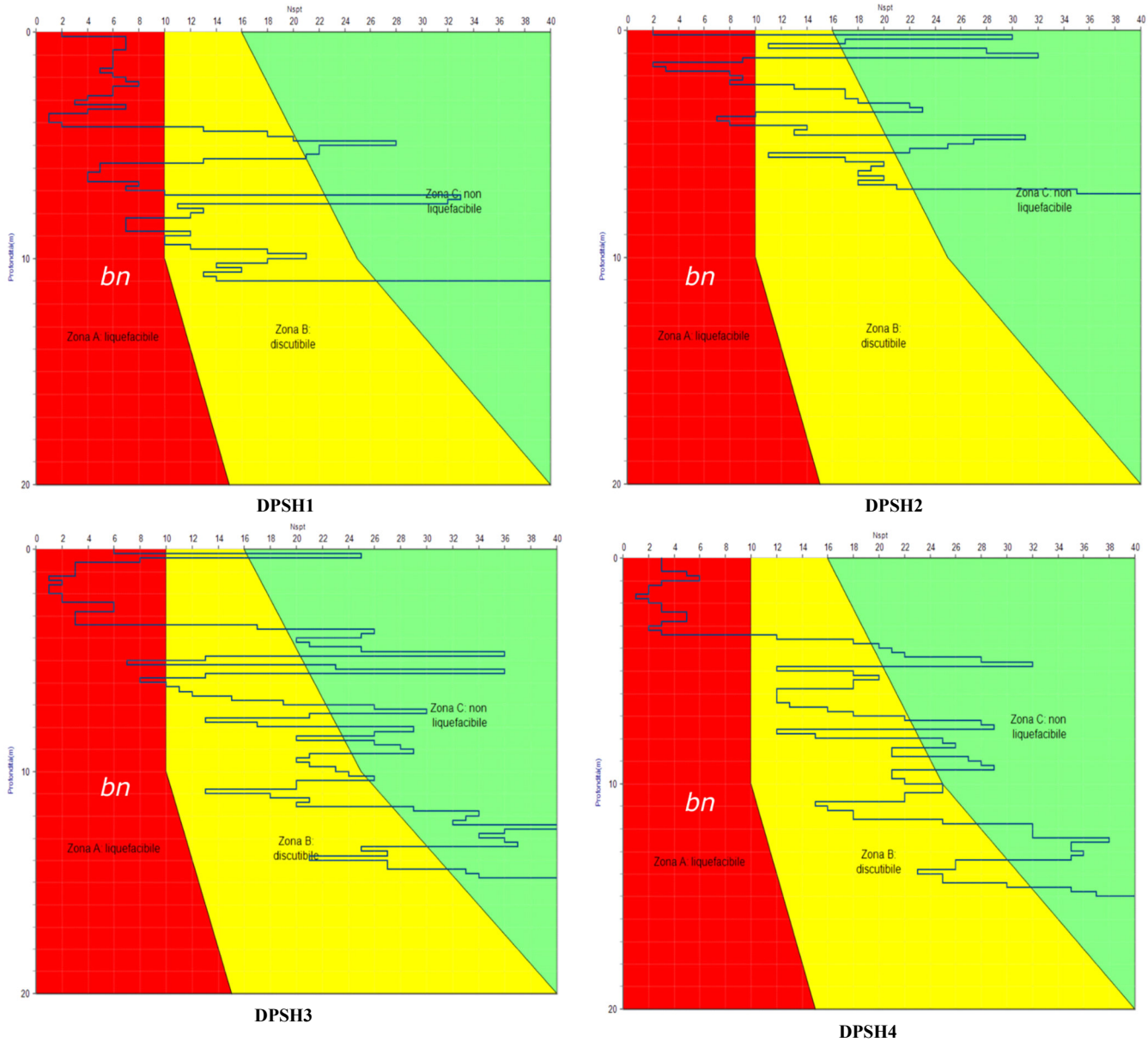
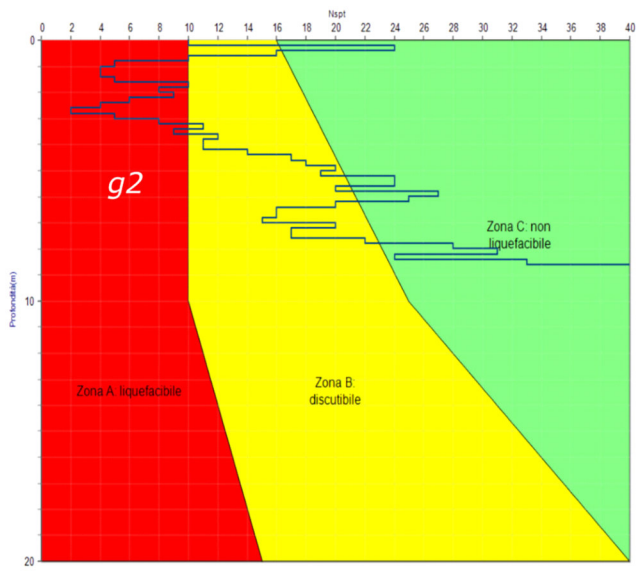
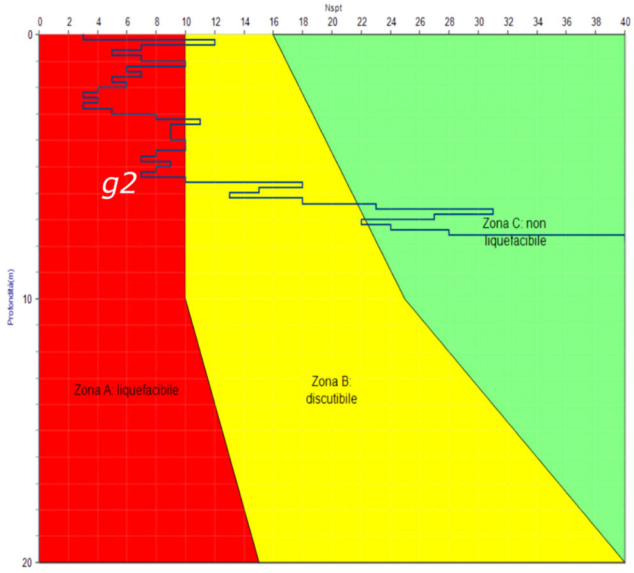


Figura 66 – Risultati dell'analisi di liquefazione con individuazione delle 3 zone (Zona A: Liquefacibile, Zona B: Discutibile, Zona C: Non liquefacibile), profili critici delle prove DPSH lato Cosenza (da Nishiyama et al. 1977).

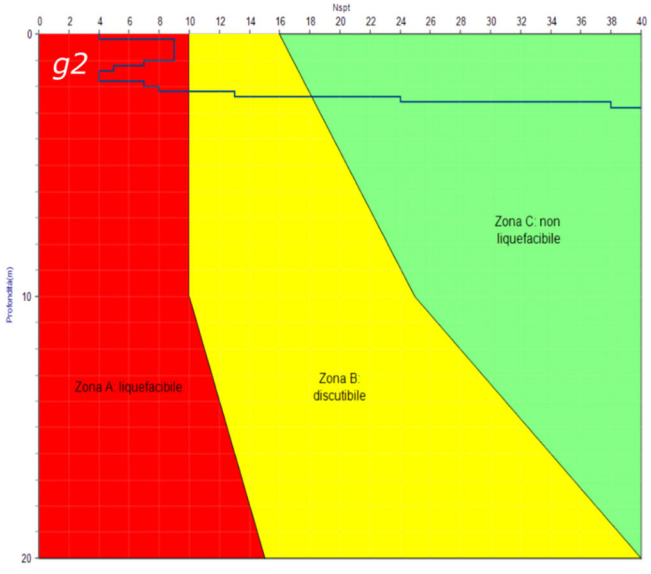
Tali prove hanno evidenziato, in particolare, la locale presenza di terreni ricadente nella *zona A – liquefacibile* (Figura 66, Figura 67). Cautelativamente è possibile affermare che tali terreni posso ritenersi suscettibili al fenomeno della liquefazione.



DPSH5



DPSH6



DPSH7

Figura 67 – Risultati dell'analisi di liquefazione con individuazione delle 3 zone (Zona A: Liquefacibile, Zona B: Discutibile, Zona C: Non liquefacibile), profili critici delle prove DPSH lato Paola (da Nishiyama et al. 1977).

Di seguito si riportano le curve granulometriche dei campioni di terreno disponibili ed analizzati, ricadenti negli orizzonti delle unità **ALD**, **ASM**, **ATS**, **GCL**, **SCM**, **bn**, **b2**, **bb**, **g2**, **gn** e **h** nonché la rappresentazione schematica dei fusi critici indicati da normativa. I grafici, per una migliore lettura, sono stati suddivisi sulla base della localizzazione geografica dei sondaggi da cui sono stati prelevati i campioni sottoposti a prova granulometrica, ovvero in area di Cosenza e area di Paola.

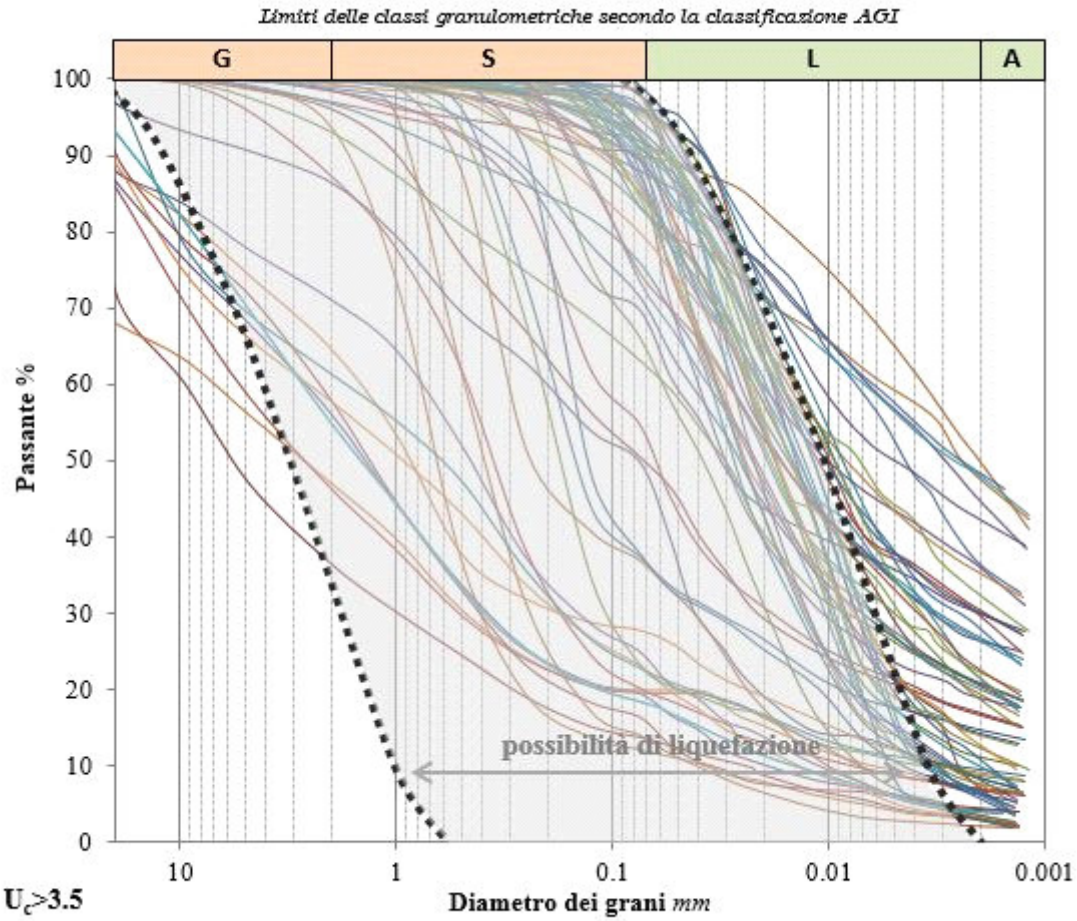


Figura 68 - Curve granulometriche dei campioni disponibili. In nero, a tratteggio, è riportato il fuso granulometrico critico per suoli - $U_c > 3.5$ (NTC 2018) per l'area di Cosenza.

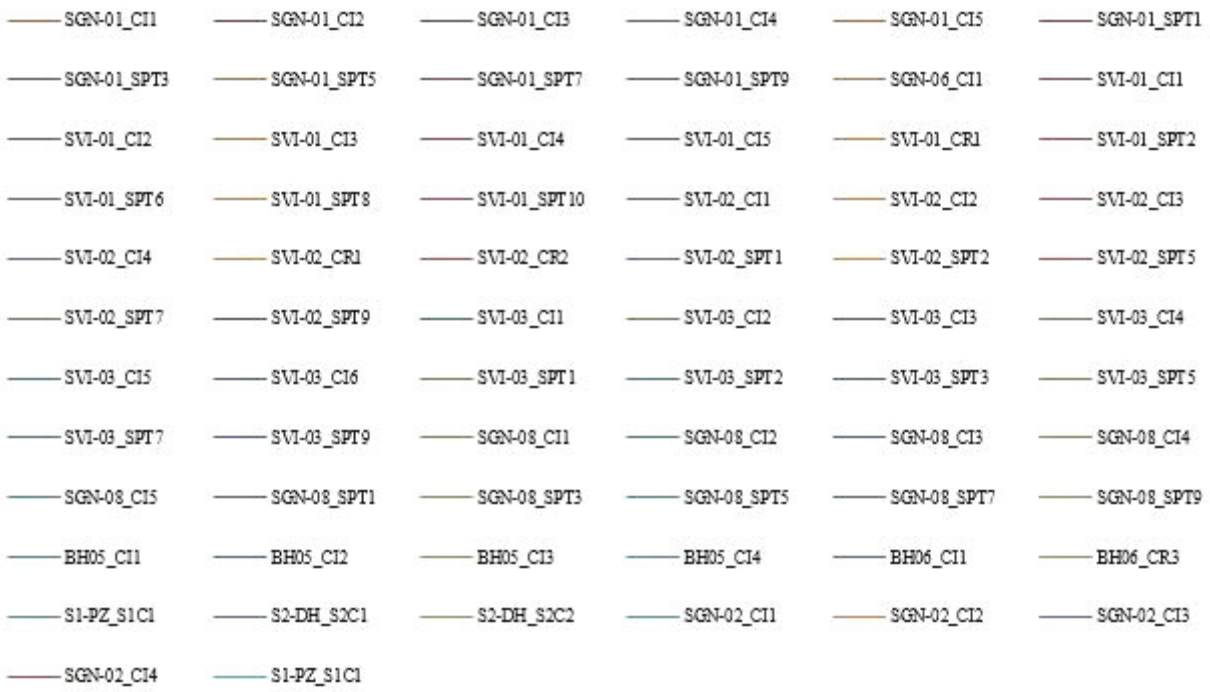


Figura 69 – Legenda delle curve granulometriche dei campioni disponibili per l'area di Cosenza e analizzate con fuso granulometrico critico per suoli - $U_c > 3.5$ (NTC 2018).

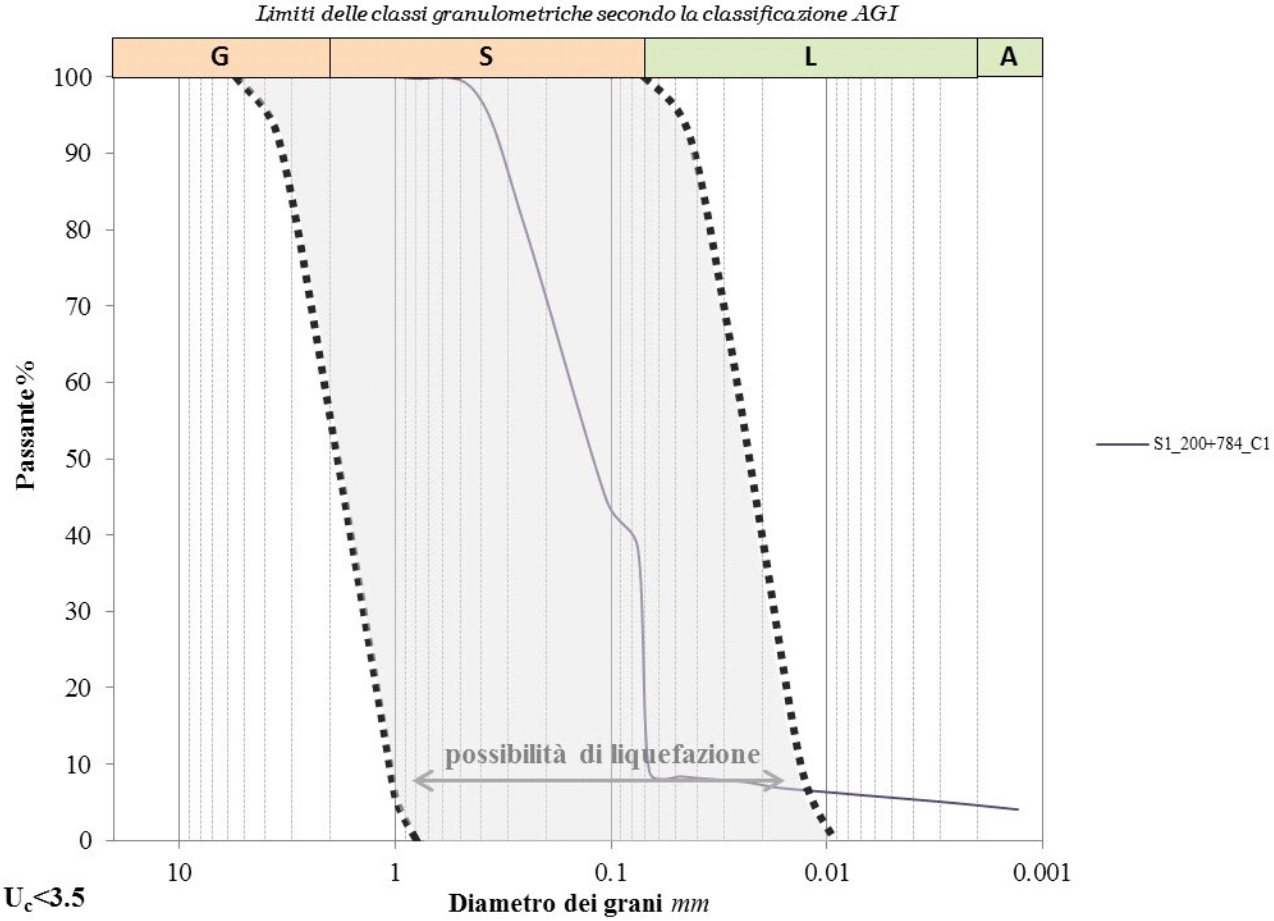


Figura 70 - Curve granulometriche dei campioni disponibili. In nero, a tratteggio, è riportato il fuso granulometrico critico per suoli - $U_c < 3.5$ (NTC 2018) per l'area di Paola.

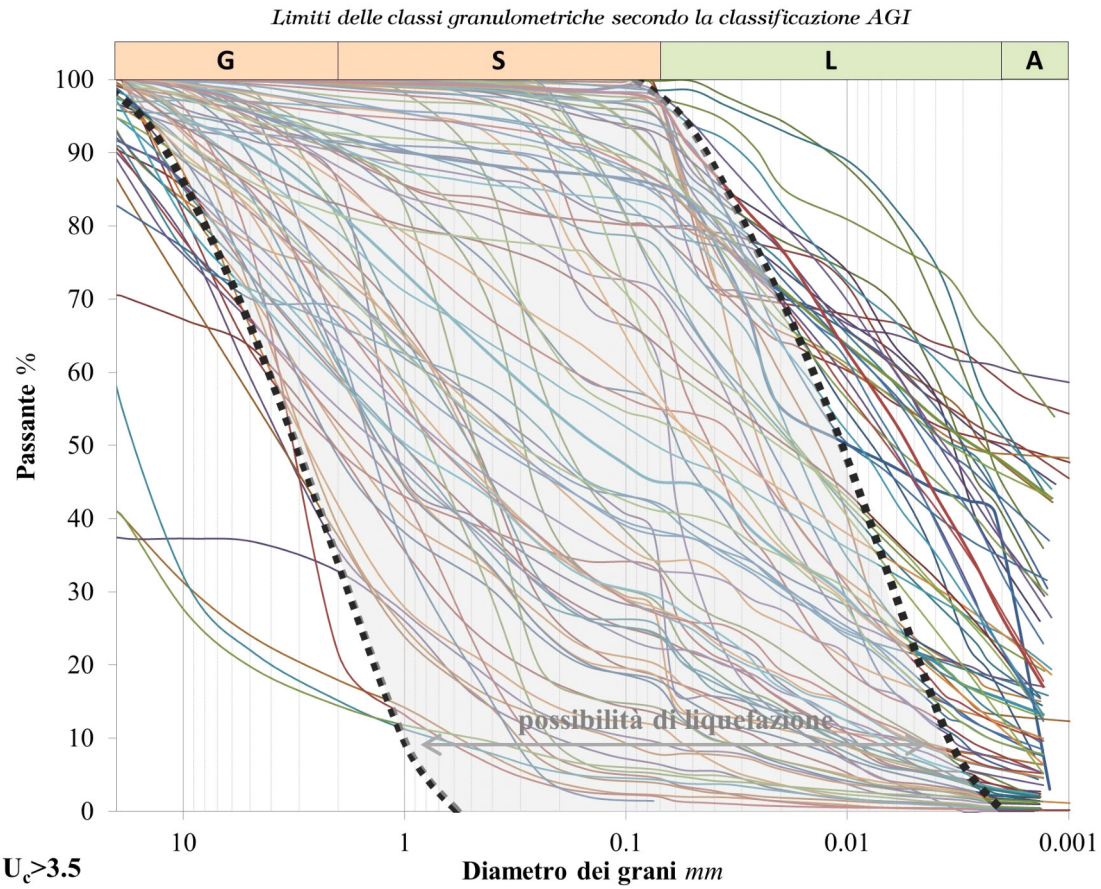


Figura 71 - Curve granulometriche dei campioni disponibili. In nero, a tratteggio, è riportato il fuso granulometrico critico per suoli - $U_c > 3.5$ (NTC 2018) per l'area di Paola.

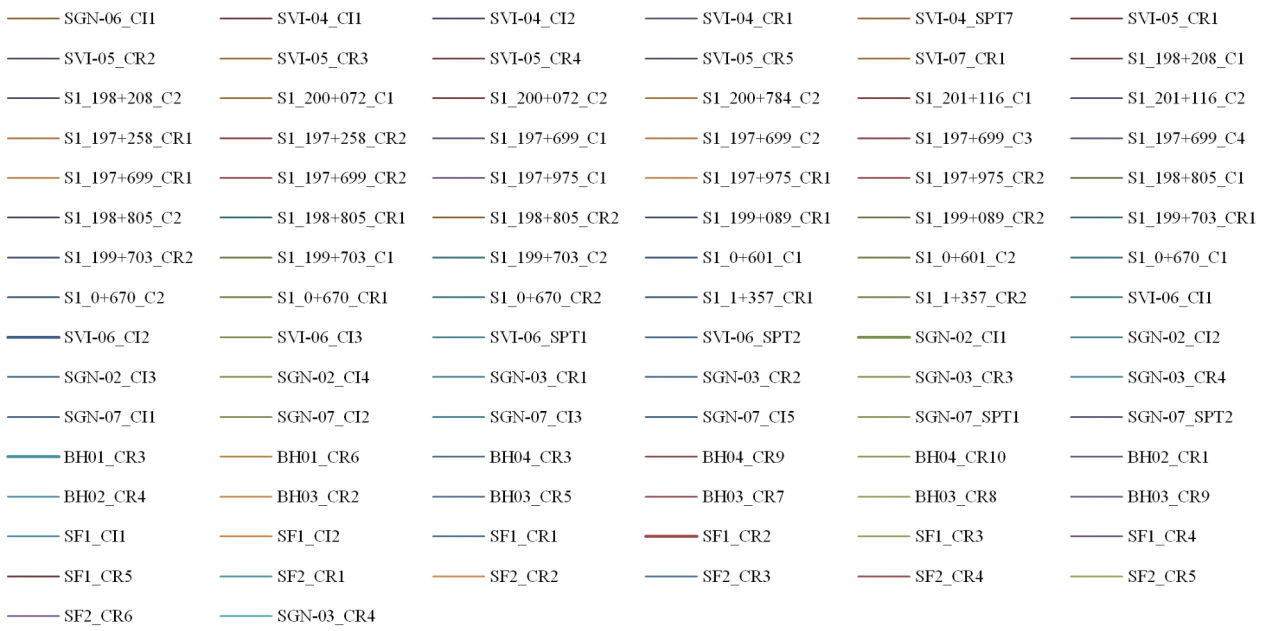


Figura 72 - Legenda delle curve granulometriche dei campioni disponibili per l'area di Paola e analizzate con fuso granulometrico critico per suoli - $U_c > 3.5$ (NTC 2018).

Le curve granulometriche dei campioni di terreno disponibili ed analizzati, nonché la rappresentazione schematica dei fusi critici indicati da normativa sono riportate nella Figura 68, Figura 70, Figura 71. A tal riguardo, si sottolinea che i limiti dimensionali delle varie classi granulometriche, riportati nella parte alta di ogni grafico, sono indicati seguendo gli *standard* metodologici proposti dall'Associazione Geotecnica Italiana (AGI).

In generale, le verifiche condotte hanno evidenziato che la maggior parte dei campioni di terreno analizzato ricadono fuori dal fuso granulometrico critico indicato da normativa e quindi potenzialmente suscettibile di liquefazione. Tali campioni, infatti, presentano un contenuto in limi-argille e ghiaie-sabbie sempre piuttosto alto, compreso tra il 10% e il 95% circa, e pertanto sono caratterizzati da una bassa probabilità di liquefazione. Al contrario, il campione **CI1** del sondaggio **S1-197+975** e il campione **CR1** del sondaggio **S1_1+357**, ricadono totalmente all'interno del fuso granulometrico critico indicato da normativa. Infine, le curve granulometriche di sette campioni ricadono parzialmente all'interno del fuso granulometrico critico indicato da normativa. In particolare, nonostante le curve non ricadano interamente all'interno dal fuso e quindi non siano potenzialmente suscettibili di liquefazione i campioni sono stati cautelativamente considerati suscettibili di liquefazione, in quanto solo una percentuale di passante inferiore al 5% ricade fuori dal fuso critico.

In conclusione, i risultati delle analisi di suscettività a liquefazione appositamente condotte hanno evidenziato che i terreni impegnati dalla realizzazione delle opere in progetto possono essere localmente suscettibili a fenomeni di liquefazione dinamica a seguito dei terremoti attesi. Si sottolinea che gli orizzonti sabbioso-limosi e ghiaioso-sabbiosi presenti all'interno dei depositi quaternari alluvionali, marini e di versante sono da ritenersi suscettibili di liquefazione. Ad ogni modo dovranno essere condotte specifiche analisi geotecniche al fine di definire in maniera quantitativa i possibili effetti di eventuali fenomeni di liquefazione sulle opere in progetto. Per tali analisi si rimanda all'elaborato " Relazione geotecnica".

14.6 Presenza di gas naturali

Il presente progetto ferroviario, oltre alle opere d'arte minori e a quelle in sopraelevazione, prevede la realizzazione di una galleria naturale con una lunghezza complessiva di circa 15.345 km, la Galleria Santomarco. La realizzazione di questa galleria richiede una particolare attenzione circa la possibilità di intercettare gas naturali nel corso delle fasi di scavo delle opere in sotterraneo. Il gas più comune è il metano che, se raggiunge concentrazioni comprese fra il 4.5-16.0% in termini volumetrici, diventa potenzialmente esplosivo a contatto con l'aria.

La miscela aria-metano è più nota con il termine "grisou", un gas inodore non avvertibile direttamente dall'uomo. Il metano e gli altri idrocarburi eventualmente presenti, essendo più leggeri dell'aria si raccolgono nella zona di calotta. Lo scavo di una galleria in terreni geologicamente favorevoli per la presenza di metano va condotto con grande cautela e applicando specifiche precauzioni.

Pertanto, nel corso dello studio è stata condotta un'analisi bibliografica e storica volta a verificare, in relazione alle differenti unità geologiche individuate e direttamente interessate dal progetto, l'eventuale presenza di termini geologici favorevoli alla presenza di gas. In bibliografia non sono presenti informazioni circa la presenza di gas naturali (grisou) o formazioni potenzialmente suscettibili alla presenza degli stessi. Tale constatazione è compatibile con l'assenza di tale problematica durante le fasi di scavo della galleria esistente.

14.7 Rischio amianto

Il particolare assetto geologico-strutturale dell'area di intervento ha richiesto, infine, di porre particolare attenzione alle problematiche connesse con la presenza di locali mineralizzazioni ad amianto. A tal fine, è stato condotto uno studio di dettaglio, su base bibliografica, volto a determinare la possibile presenza di formazioni rocciose contenenti minerali dell'amianto lungo l'asse della galleria ferroviaria in progetto. Tale studio è stato integrato con le analisi qualitative e al SEM di campioni di roccia prelevati durante l'esecuzione delle indagini geognostiche condotte per la presente fase di approfondimento progettuale.

Il termine amianto o "asbesto" viene utilizzato, in particolare, per indicare un gruppo di minerali silicatici idrati con abito fibroso. Ad oggi i minerali definiti asbesto dal Decreto Legislativo del 15 agosto 1991 sono sei: il crisotilo, l'amosite (varietà fibrosa della grunerite), la crocidolite (varietà fibrosa della riebeckite), l'antofillite, la tremolite e l'actinolite. Il crisotilo è l'unico minerale fibroso appartenete alla famiglia dei serpentini, mentre i rimanenti asbesti appartengono alla famiglia degli anfiboli.

Gli asbesti sono spesso presenti come minerali accessori in alcune rocce, dette ofioliti, che ospitano al loro interno vene di crisotilo, tremolite e actinolite. Il termine ofiolite indica, in particolare, dei frammenti di litosfera oceanica obdotta sui margini delle piattaforme continentali. La sequenza stratigrafica che si osserva nelle ofioliti include, dal basso verso l'alto:

- cumuliti ultramafiche stratificate e rocce mantelliche comprendenti duniti, lherzoliti e harzburgiti;
- un complesso plutonico composto da cumuliti ultramafiche stratificate alla base e gabbri massivi al tetto;
- dicchi e filoni diabasici stratificati;
- una sequenza effusiva composta basalti a cuscino e metabasalti (pillow-lavas e pillow-breccias);
- sedimenti depositatesi sul fondo oceanico, come argilliti e selci.

Le mineralizzazioni ad asbesto presenti nelle rocce ofiolitiche non sono uniformemente distribuite, ma sono concentrate nelle porzioni serpentinizzate della roccia, associate a fratture di taglio e di estensione. Infatti, la

crescita di tali minerali è favorita durante il metamorfismo retrogrado dalla facies degli scisti blu a quella degli scisti verdi, con lo sviluppo di zone di taglio, vene e fratture (Pierattini et al. 1975; Lanzafame et al. 1979).

Relativamente ai settori di interesse progettuale, le fonti bibliografiche disponibili hanno evidenziato la presenza di successioni rocciose caratterizzate da locali mineralizzazioni ad amianto (Campopiano et al. 2018) e, pertanto, di particolare rilevanza per quanto concerne la valutazione del potenziale rischio absesto nell'area di studio. Tali termini litologici appartengono quindi alla cosiddetta Unità di Gimigliano - M. Reventino (Amodio Morelli et al. 1976; Vai 1992; Bloise et al. 2014; Punturo et al. 2015; Bloise et al. 2016), riferibile alla sequenza ofiolitifera del Complesso Liguride e diffusamente affiorante lungo tutti i rilievi montuosi della Catena Costiera. Affioramenti di tale unità sono presenti, infatti, nelle aree di Paola e Rose, oltre che in altre zone della Calabria settentrionale come Guardia Piemontese, Mongrassano, Monte Reventino e Gimigliano (Amodio Morelli et al. 1976; Vai 1992; Punturo et al. 2015).

L'unità consiste di serpentiniti, metabasalti e metagabbri con una copertura metasedimentaria di calcescisti e quarziti (Piluso et al. 2000; Bloise et al. 2016). Le serpentiniti sono composte principalmente da serpentino, actinolite e clorite con relitti di spinello, ortopirosseno ed olivina. Le metabasiti sono rappresentate, principalmente, da scisti ad epidoto-clorite-actinolite. L'associazione mineralogica include anche mica, albite, quarzo e lawsonite (Piluso et al. 2000). Dal punto di vista cronostratigrafico, non si è ancora trovato accordo sull'età da attribuire a questa unità: Amodio Morelli et al. (1976) la collocano nel Giurassico superiore – Cretaceo, mentre Vai (1992), in base alle correlazioni tra vulcanismo basico di Gimigliano e il magmatismo Alpino meridionale, suggerisce un'età medio-triassica.

A tal riguardo, va riportato che diversi autori hanno segnalato all'interno dell'Unità di Gimigliano - M. Reventino la presenza di porzioni di roccia intensamente serpentinizzate, associate a vene di tremolite e crisotilo (Amodio Morelli et al. 1976; Piluso et al. 2000; Punturo et al. 2004; Zakrzewska et al. 2007). Tali segnalazioni trovano riscontro nelle risultanze dell'ultimo studio sul rischio amianto nel complesso ofiolitico della Calabria centrale (Campopiano et al. 2018). Le analisi condotte in questo lavoro (Figura 73) hanno mostrato la presenza, in alcuni campioni del complesso ofiolitico, di minerali dell'amianto quali tremolite, antigorite e minore crisotilo. Le concentrazioni più rilevanti sono state rinvenute nelle rocce campionate presso Gimigliano, anche se non mancano minerali fibrosi anche nei campioni di Amantea, Belmonte e Belvedere Marittimo (Campopiano et al. 2018).

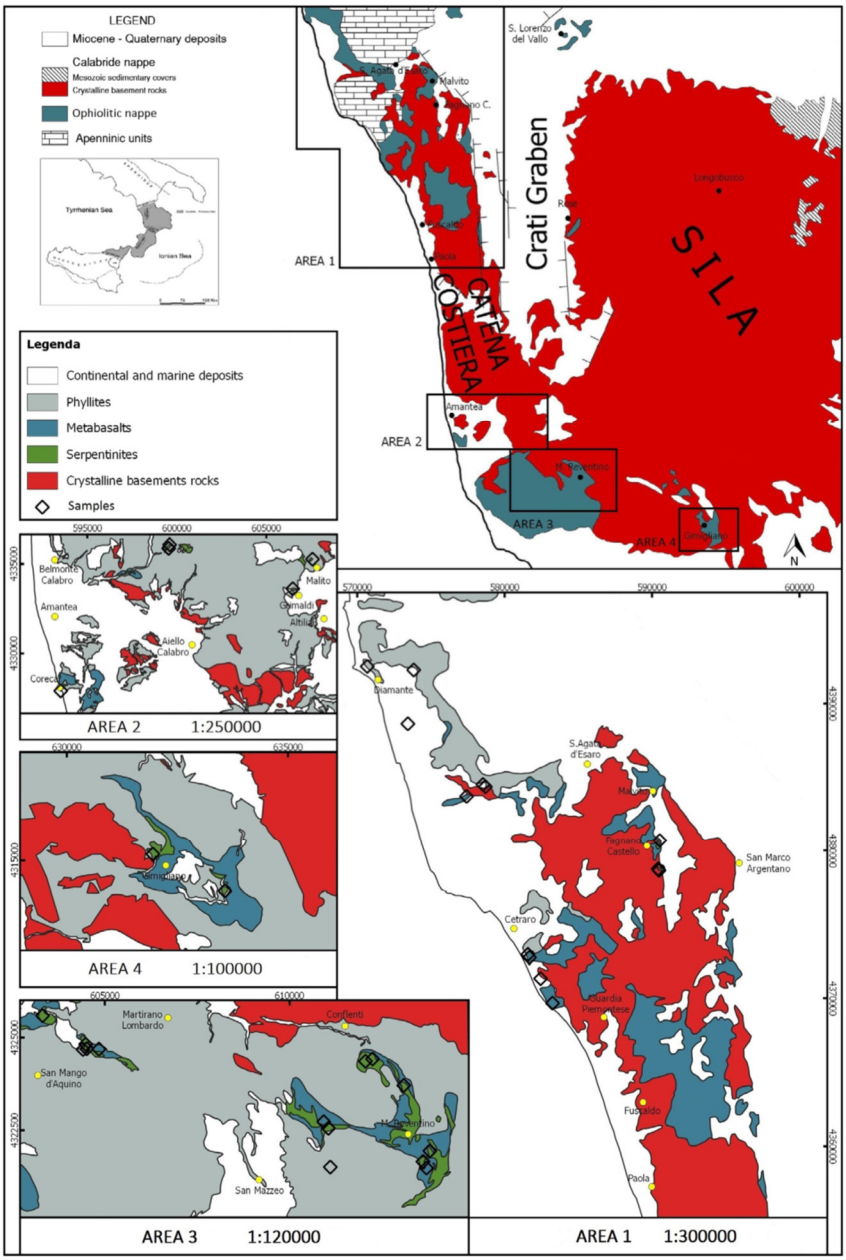


Figura 73 – Mappa geologica schematica della Calabria centro-settentrionale, mostrante la distribuzione delle ofioliti, e carte geologiche di dettaglio, con indicazione dei punti di campionamento (da Campopiano et al. 2018).

I terreni cristallino-metamorfici direttamente interessati dalle opere di scavo della galleria in progetto sono rappresentati, in particolare, da scisti, filladi e gneiss del Complesso Calabride, riconducibili quindi alle Unità di Bagni-Fondachelli, Castagna e Polia-Copanello (Amodio Morelli et al. 1976). Tali terreni interessano estesamente tutta la porzione centrale e occidentale del tracciato in progetto, grossomodo corrispondente alla fascia montuosa dell'*Horst* della Catena Costiera, ma non rappresentano un potenziale rischio absesto in quanto non ospitano al loro interno serpentiniti e minerali dell'amianto.

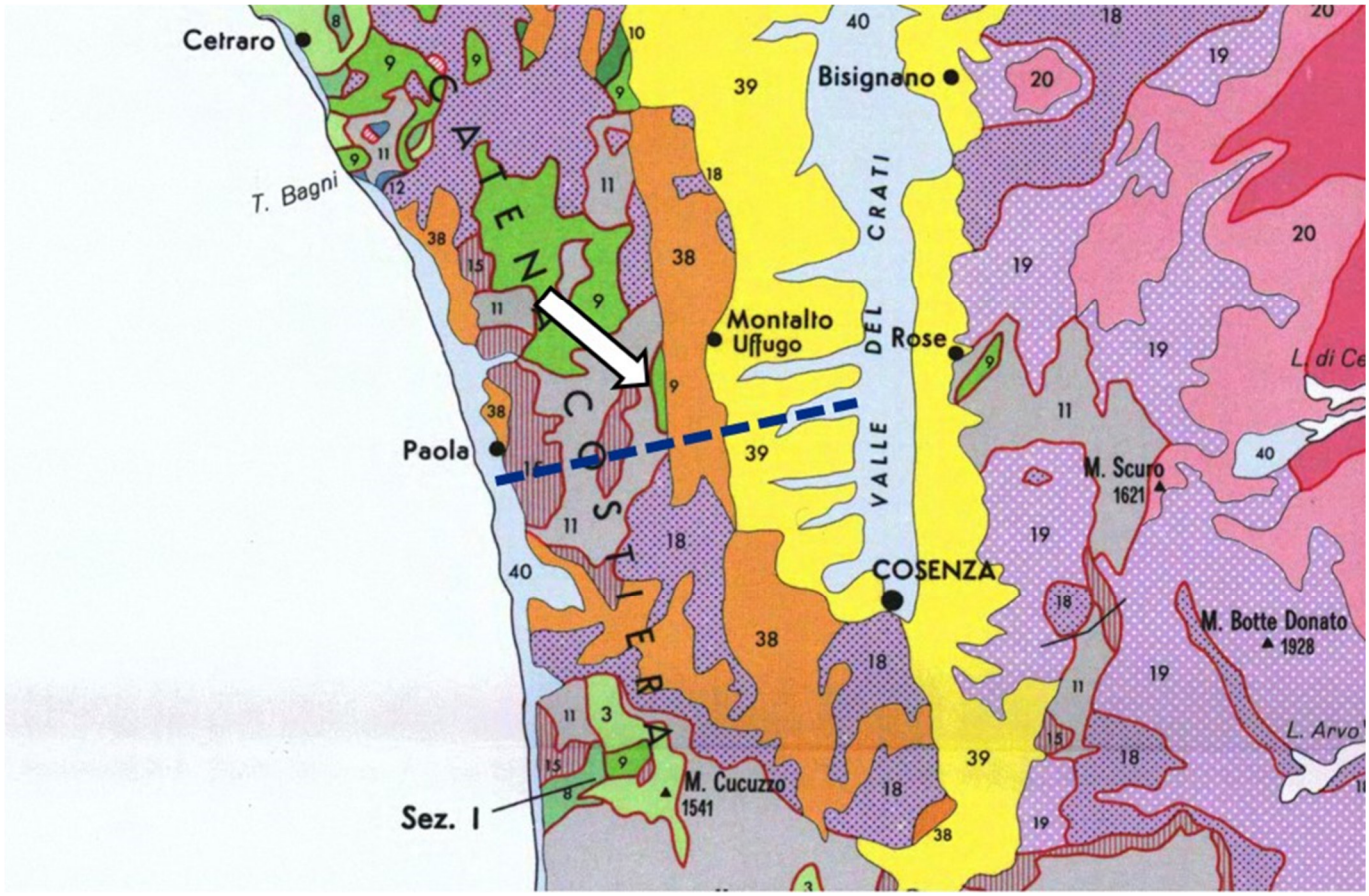


Figura 74 – Stralcio della carta geologico-strutturale della Calabria (da Amodio Morelli et al. 1976), mostrante la distribuzione delle principali unità strutturali lungo il Graben del Crati e l'Horst della Catena Costiera. Il tracciato di progetto (linea blu a tratteggio) ricade poco a Sud dell'Unità di Gimigliano – M. Reventino (unità 9 in carta), caratterizzata dalla presenza di serpentiniti e minerali dell'amianto.

Ovviamente, le ricostruzioni geologiche di riferimento sono basate sui dati di superficie e sulle descrizioni dei terreni attraversati durante la realizzazione della vecchia Galleria Santomarco, posta ad alcune decine di metri di distanza del tracciato in progetto. In relazione alla scarsità di dati geologici ed alla complessità dell'assetto geologico-strutturale dell'area, quindi, non si può escludere a priori la possibilità di incontrare lembi di rocce ofiolitiche dell'Unità di Gimigliano - M. Reventino, spesso caratterizzate dalla presenza minerali dell'amianto. Come visibile dagli studi condotti nell'area (Figura 73 e Figura 74), lembi del complesso ofiolitico si rinvengono nel settore centrale o orientale della Catena Costiera, non molto distanti dal tracciato in esame. In particolare, un lembo di rocce ofiolitiche è presente sul margine orientale del rilievo montuoso, a SW del centro abitato di Montalto Uffugo (Figura 74), poche centinaia di metri a Nord del tracciato di progetto.

Parametro	Dato	Metodo	22LA07364 18/05/2022 SGN09-C6 (29.30 m)	22LA07365 18/05/2022 SGN09-C7 (33.60-33.75 m)	22LA07366 18/05/2022 SGN12-C6 (25.60-26.00 m)	22LA08666 09/06/2022 SGN12_gall (15.00-15.10 m)	22LA08667 10/06/2022 SGN12_gall (11.00-11.10 m)	22LA08668 10/06/2022 SGN12_gall (4.70-5.00 m)
AMIANTO	AMIANTO (Assente\Presente)	DM 06-09-94 All 3	assente	assente	assente	assente	assente	assente

Tabella 48 – Risultati delle analisi qualitative e analisi al SEM della polvere generata da sfregamento.

Al fine di valutare l'effettiva presenza di minerali asbestosi all'interno delle rocce interessate dalla realizzazione dell'opera, nella presente fase di approfondimento progettuale sono state condotte apposite analisi qualitative e al SEM di campioni di roccia prelevati durante le fasi di perforazione dei sondaggi. Le analisi sono state effettuale sulla polvere generata dallo sfregamento dei campioni prelevati in porzioni significative dell'ammasso. Nello specifico, sono stati analizzati n. 6 campioni provenienti dai sondaggi SGN09 - Formazione degli Gneiss di Cozzo Luparello - e SGN12-SGN12_gall - Formazione degli Scisti Epidotici Bosco dei Gesuiti (Tabella 48). In tutti i campioni i minerali asbestosi sono risultati assenti.

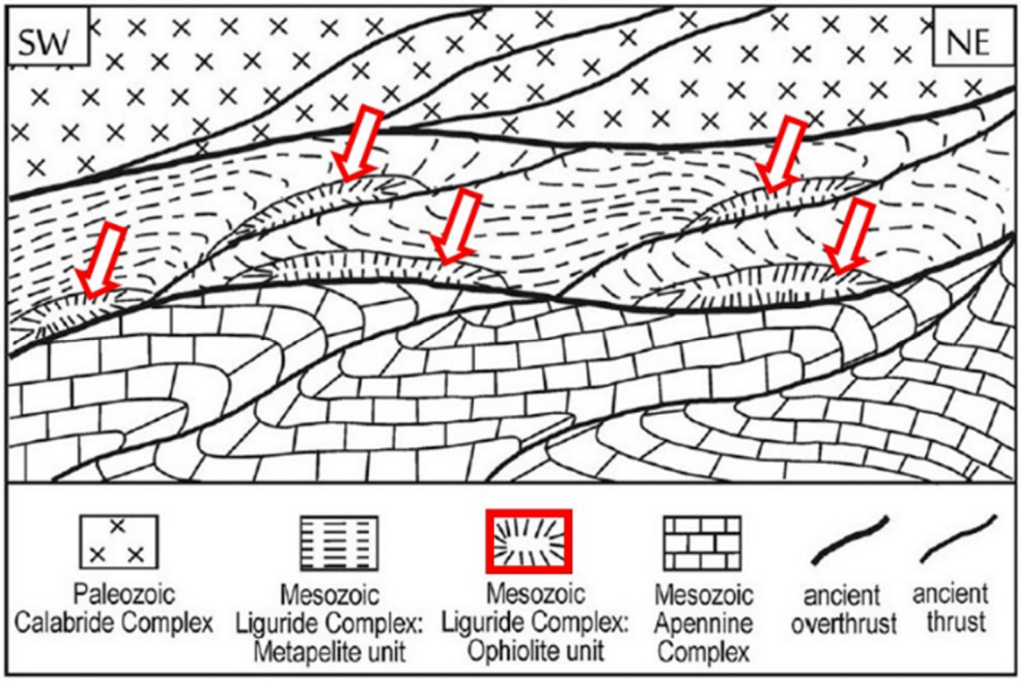


Figura 75 – Schema tettono-stratigrafico delle principali unità stratigrafico-strutturali dell'Arco Calabro-Peloritano (da Tansi et al. 2016), mostrante la presenza di scaglie e lembi di unità ofiolitiche (in rosso) all'interno del basamento cristallino e delle coperture mesozoiche.

Allo stato attuale delle conoscenze, la possibilità di incontrare rocce ofiolitiche durante le fasi di scavo della galleria appare bassa o comunque non molto elevata, ma dovrà comunque essere oggetto di ulteriori verifiche. Ad oggi non è infatti possibile escludere con certezza la presenza di lembi di rocce ofiolitiche nella zona di intervento, soprattutto in relazione alla notevole complessità litologica dell'area e alla presenza di numerose scaglie tettoniche con geometrie e caratteristiche estremamente variabili (Figura 75). Pertanto, durante le fasi di realizzazione della

galleria, sarà necessario analizzare in maniera continua ed attenta il materiale scavato, al fine di stabilire la presenza di eventuali mineralizzazioni ad amianto all'interno della roccia e determinare la concentrazione delle fibre. Tali analisi dovranno essere supportate da indagini dirette lungo tutto il tracciato, volte a determinare le caratteristiche litologiche e mineralogiche degli ammassi rocciosi attraversati. Le prime analisi condotte in questa fase su campioni provenienti da due sondaggi geognostici hanno evidenziato l'assenza di minerali asbestosi, ma tale dato dovrà essere integrato con ulteriori analisi specifiche.

14.8 Aggressività al calcestruzzo

Relativamente alla potenziale aggressività al calcestruzzo delle acque presenti in galleria, è tuttora in corso una campagna di prelievi di acque finalizzata alla determinazione della concentrazione degli eventuali agenti aggressivi presenti nel sottosuolo, in accordo alla UNI-EN 206 che definisce gli intervalli di concentrazione dei composti aggressivi (ad es. ione solfato SO4- nei terreni e nelle acque, ione ammonio NH4 + e ione magnesio Mg++ nelle acque, presenza di CO2 aggressiva nelle acque e ambiente acido (ph ≤ 6.5)) ai quali riferirsi per la determinazione della classe di esposizione (vedi prospetto seguente).

Table 2 — Limiting values for exposure classes for chemical attack from natural soil and ground water

Chemical characteristic	Reference test method	XA1	XA2	XA3
Ground water				
SO_4^{2-} mg/l	EN 196-2	≥ 200 and ≤ 600	> 600 and ≤ 3 000	> 3 000 and ≤ 6 000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 and ≥ 5,5	< 5,5 and ≥ 4,5	< 4,5 and ≥ 4,0
CO_2 mg/l aggressive	EN 13577	≥ 15 and ≤ 40	> 40 and ≤ 100	> 100 up to saturation
NH_4^+ mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 and ≤ 30	> 30 and ≤ 60	> 60 and ≤ 100
Mg^{2+} mg/l	EN ISO 7980	≥ 300 and ≤ 1 000	> 1 000 and ≤ 3 000	> 3 000 up to saturation
Soil				
SO_4^{2-} mg/kg[a] total	EN 196-2[b]	≥ 2 000 and ≤ 3 000[c]	> 3 000[c] and ≤ 12 000	> 12 000 and ≤ 24 000
Acidity according to Baumann Gully ml/kg	prEN 16502	> 200	Not encountered in practice	

[a] Clay soils with a permeability below 10^{-5} m/s may be moved into a lower class.

[b] The test method prescribes the extraction of SO_4^{2-} by hydrochloric acid; alternatively, water extraction may be used, if experience is available in the place of use of the concrete.

[c] The 3 000 mg/kg limit shall be reduced to 2 000 mg/kg, where there is a risk of accumulation of sulfate ions in the concrete due to drying and wetting cycles or capillary suction.

Le risultanze di questo studio saranno recepite per la fase di PFTE per gara.

15 DESCRIZIONE DEI SETTORI D'INTERVENTO

Le analisi condotte e le ricostruzioni degli assetti geologico-strutturali riportati in carta hanno permesso di definire, in maniera commisurata al grado di approfondimento del progetto in corso, il contesto geologico di riferimento e tutti gli elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Nelle pagine che seguono viene quindi analizzato l'intero settore di intervento, opportunamente suddiviso in tratti omogenei relativi alle differenti opere in esame. Per ogni singolo tratto, in particolare, vengono descritte tutte le principali caratteristiche geologiche *s.l.* e gli aspetti più salienti ai fini progettuali.

Nel seguito, si fa quindi esplicito riferimento a quanto riportato nelle apposite cartografie tematiche ed al profilo longitudinale ricostruito in asse al tracciato ferroviario e al tratto di interconnessione (RC1C 03 R69 N4 GE0001 001, RC1C 03 R69 L5 GE0001 001-3, RC1C 03 R69 N4 GE0002 001, RC1C 03 R69 L5 GE0002 001-3, RC1C 03 R69 F4 GE0001 001-3, RC1C 03 R69 F4 GE0002 001-3). In particolare, per quanto concerne le unità geologiche presenti nei vari settori di interesse, si riportano direttamente i nomi e le sigle contenute nelle diverse cartografie geologiche realizzate a corredo della presente relazione. Infine, per quanto riguarda gli spessori e l'assetto delle singole unità litostratigrafiche, si fa riferimento ai dati contenuti negli studi bibliografici a disposizione e alle risultanze delle diverse indagini geognostiche appositamente realizzate lungo il tracciato in esame nel corso delle diverse campagne di indagine esplicate.

15.1 Linea Cosenza-S. Lucido

Di seguito vengono descritti da Est a Ovest, i diversi tratti relativi del tracciato ferroviario della "*Linea Cosenza – Paola/S. Lucido*" compresi tra il km 0+000 e il km 20+727, opportunamente distinti in funzione della tipologia di opere in progetto e delle principali caratteristiche geologiche, stratigrafiche e strutturali dell'area.

15.1.1 Opere all'aperto (km 0+000 – km 2+829)

Il tratto in questione si colloca nella porzione più orientale dell'area di studio e interessa un'area compresa tra la piana del Torrente Settimo e la piana del Fiume Crati. Il tracciato è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote di progetto comprese tra i 161.8 e i 180.2 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 161.8 e i 180.2 m circa s.l.m.

Il tracciato interessa per tutto il suo sviluppo i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali terrazzati (**bn**), che presentano uno spessore variabile tra 7.5 e 20 m., e localmente i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**), con uno spessore medio di 3.5 (Figura 76, Figura 77). Tali depositi sono diffusamente ricoperti dai Riporti antropici (**h**) con uno spessore compreso tra 1 e 13.5 m. Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi limoso-argillosi delle Argille limose del T. Settimo (**ATS**), che si rinvengono tra 19 e 30 m dal p.c. e localmente, in rapporto di eteropia laterale e verticale, dai depositi sabbioso-conglomeratici delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (**SCM**). I depositi del substrato, inoltre, sono dislocati da una faglia diretta ad andamento circa N-S che ribassa la porzione orientale dell'area di studio, ma senza interessare le coperture che suturano la struttura stessa.

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto, per l'assetto generalmente sub-pianeggiante dell'area. L'unico elemento potenzialmente interferente col tracciato ferroviario è rappresentato, quindi, dall'alveo del T. Settimo, spesso soggetto a importanti fenomeni di alluvionamento e generalmente caratterizzato da evidenti fenomeni di erosione laterale delle sponde.

Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali terrazzati (**bn**) e attuali e recenti (**bb**), posta a quote assolute variabili tra 163.75 e 168.0 m s.l.m..

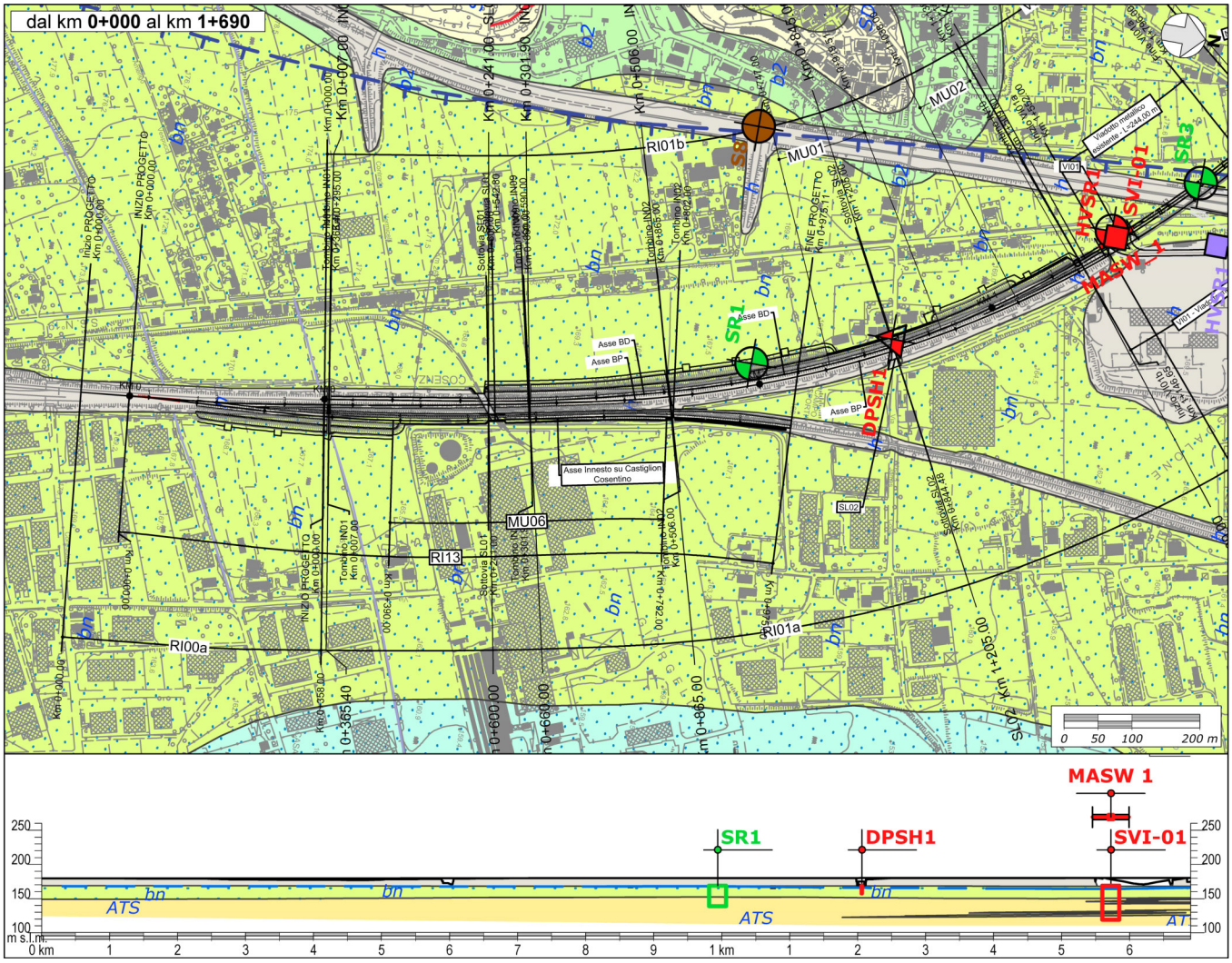


Figura 76 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 0+000 e il km 1+690.

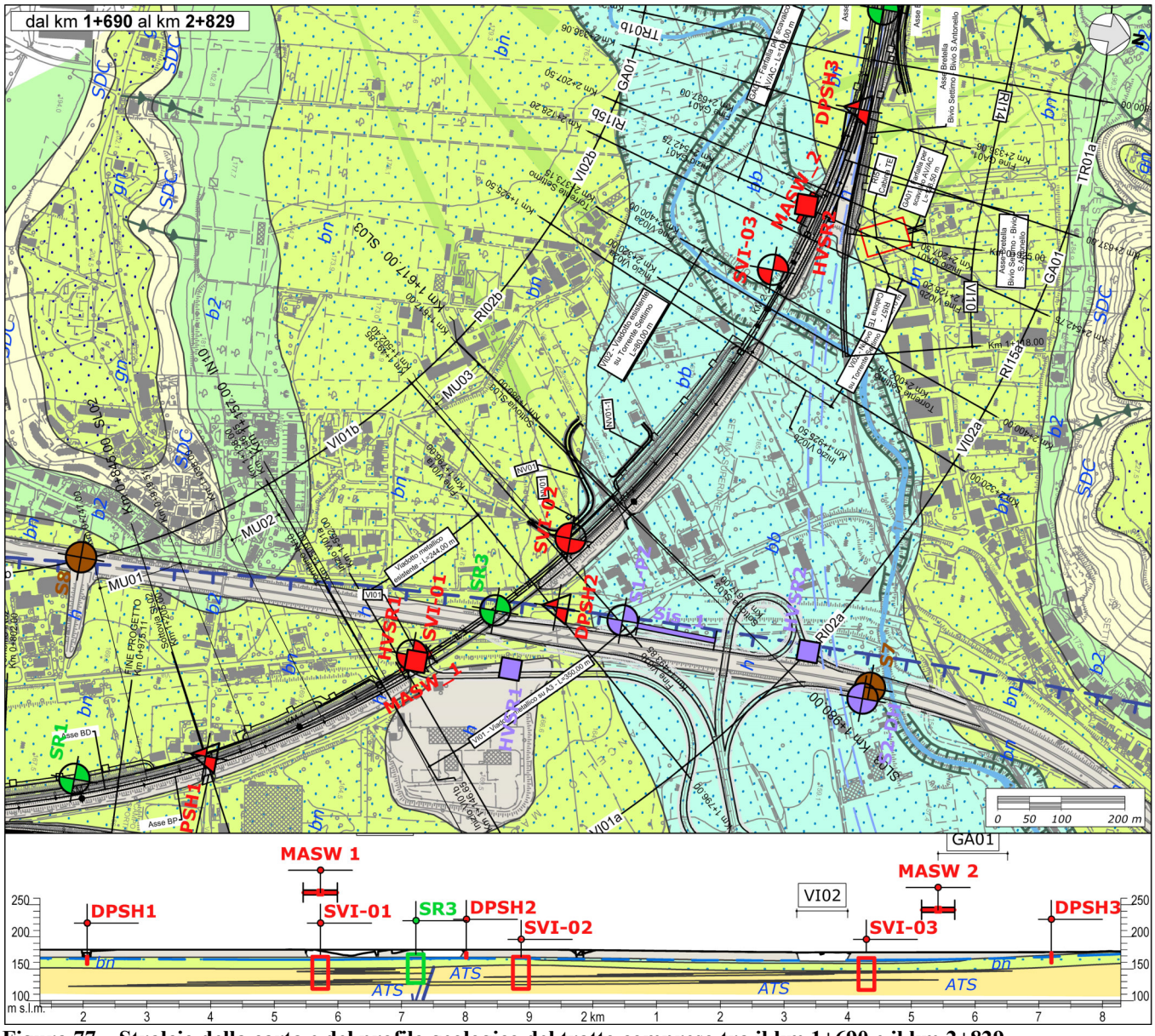


Figura 77 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 1+690 e il km 2+829.

15.1.2 Opere all'aperto (km 2+829– km 3+975)

Il tratto in questione si colloca nella porzione più orientale dell'area di studio e interessa interamente la piana del Torrente Settimo. Il tracciato è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote di progetto comprese tra i 177.3 e i 183.3 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 176.7 e i 196.6 m circa s.l.m.

Il tracciato attraversa per tutto il suo sviluppo i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali terrazzati (**bn**), che presentano uno spessore variabile tra 5 e 18 m (Figura 78). Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici (**h**) con uno spessore massimo di circa 6 m. Il substrato geologico dell'area è rappresentato ovunque dai

litotipi limoso-argillosi delle Argille limose del T. Settimo (**ATS**), che si rinvengono tra 5 e 18 m dal p.c. e localmente, in rapporto di eteropia laterale e verticale, dai depositi sabbioso-conglomeratici delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (**SCM**).

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto, per l'assetto generalmente sub-pianeggiante dell'area. L'unico elemento potenzialmente interferente col tracciato ferroviario è rappresentato, quindi, dall'alveo del T. Settimo, spesso soggetto a importanti fenomeni di alluvionamento e generalmente caratterizzato da evidenti fenomeni di erosione laterale delle sponde.

Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali terrazzati (**bn**), posta a quote assolute variabili tra 174.5 e 185.8 m s.l.m..

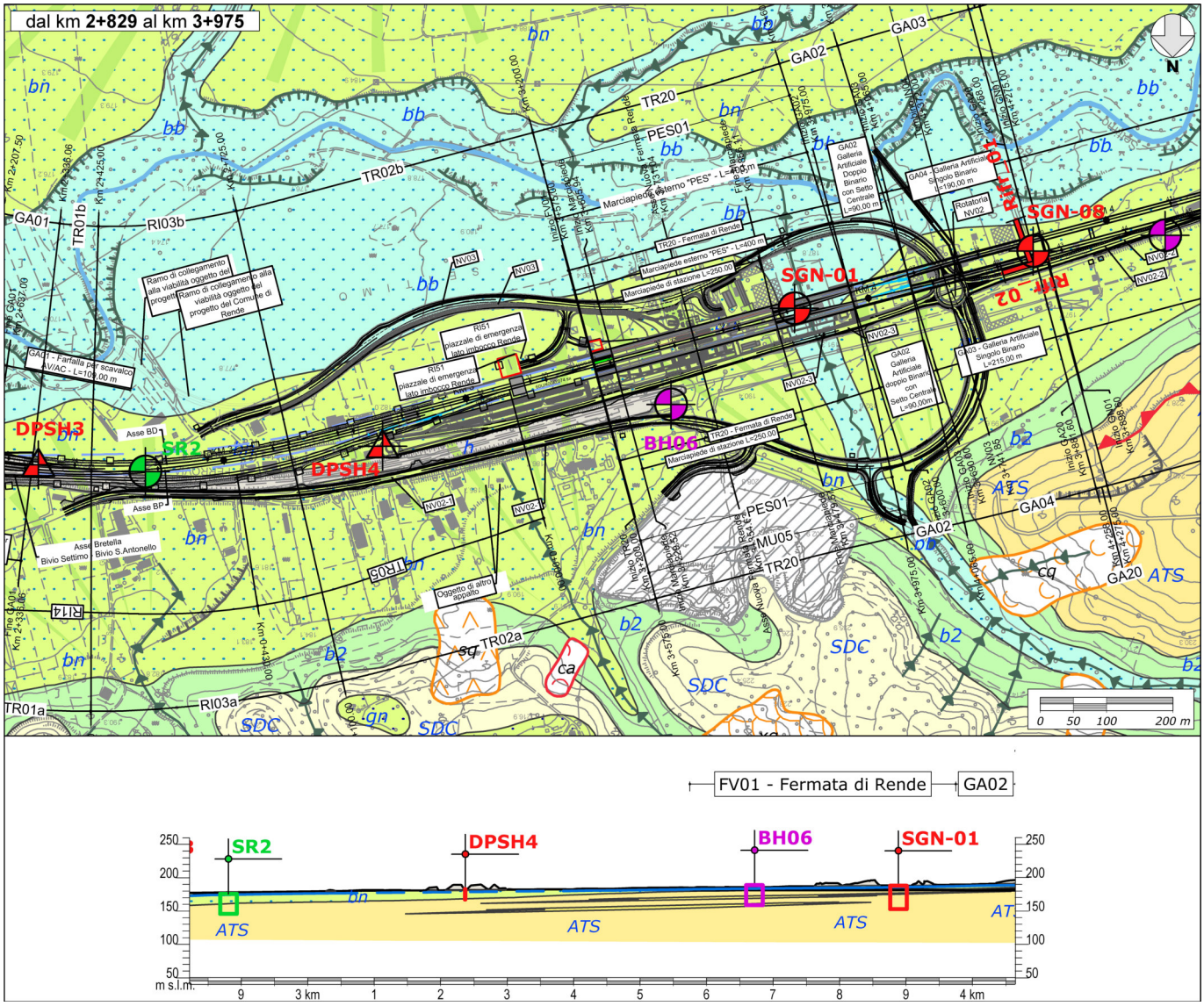


Figura 78 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 2+829 e il km 3+975.

15.1.3 Galleria naturale/galleria artificiale (km 3+975 – km 6+984)

Il tratto in questione si colloca nella porzione orientale dell'area di studio e interessa inizialmente la piana alluvionale del Torrente Settimo, in corrispondenza dell'imbocco est della Galleria Santomarco, e alcuni rilievi collinari della fascia pedemontana. Le quote di progetto sono comprese tra i 149.7 e 182.7 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 189.7 e i 265.9 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di due gallerie artificiali tra la km 3+975 e la km 4+065, mentre una galleria naturale è prevista dalla km 4+275.

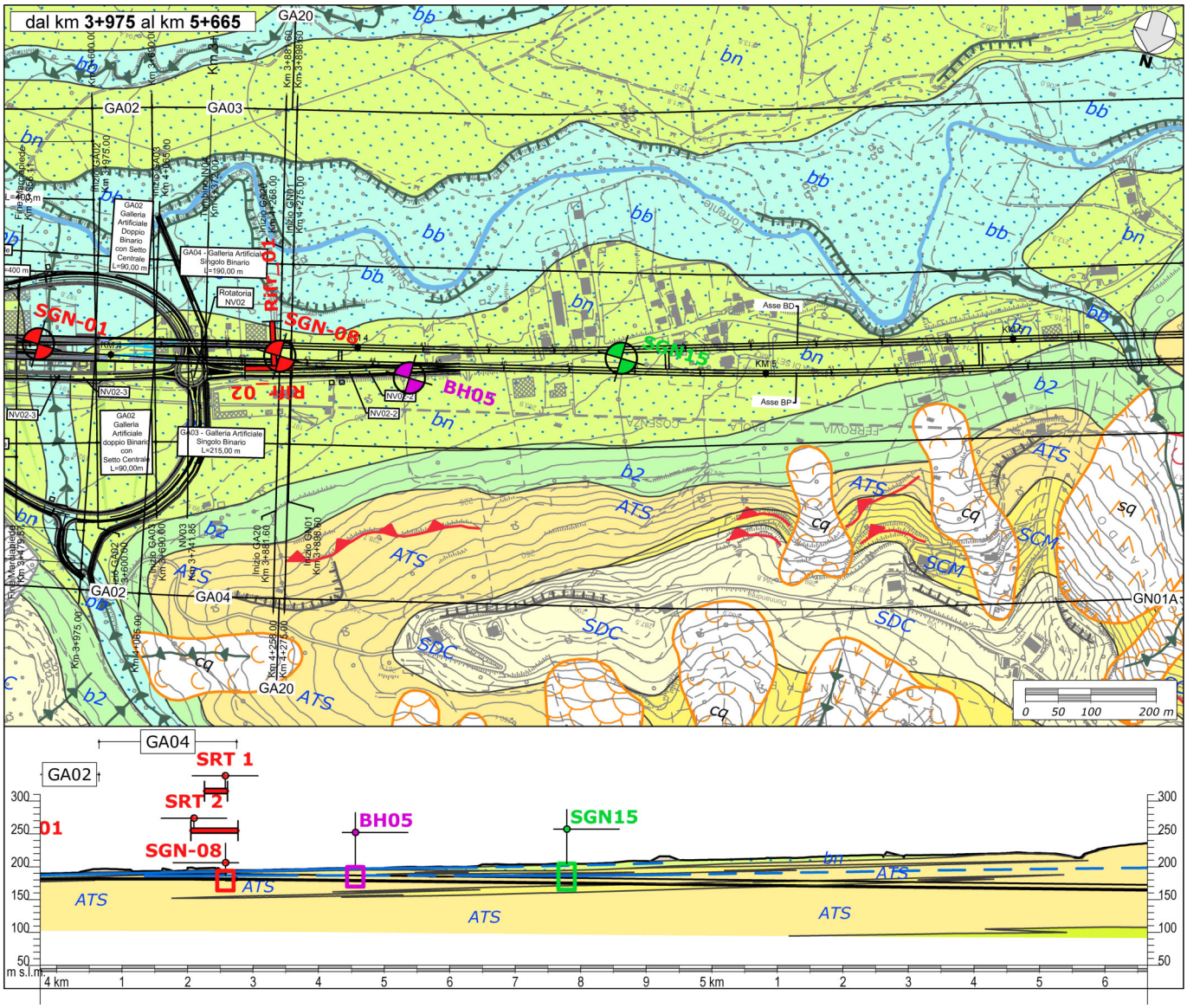


Figura 79 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 3+975 e il km 5+665.

Il tracciato attraversa i litotipi limoso-argillosi delle Argille limose del T. Settimo (**ATS**), ad eccezione del tratto compreso tra la km 4+918 e la km 5+147, dove sono presenti, in rapporto di eteropia laterale e verticale, i depositi sabbioso-conglomeratici delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (**SCM**) (Figura 79, Figura 80). Inoltre,

tra la km 6+519 e la km 6+984 il tracciato attraversa la litofacies costituita da olistostromi di argilliti fogliettate e scisti argillitici grigio-nerastri delle Argille limose del T. Settimo (**ATSa**).

Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio disponibili evidenziano la presenza di una falda freatica superficiale all'interno dei terreni alluvionali terrazzati (**bn**) situati in superficie, posta a quote assolute variabili tra 192.7 e 197.2 m s.l.m.. Inoltre, il monitoraggio evidenzia la presenza di una falda più profonda posta all'interno dei depositi sabbioso-conglomeratici (**SCM**) e delle intercalazioni sabbioso-limose più permeabili contenute nei depositi limoso-argillosi (**ATS**). Tale falda è caratterizzata, secondo i dati diretti di monitoraggio, da un livello piezometrico posto tra 186.47 e 206.9 m s.l.m..

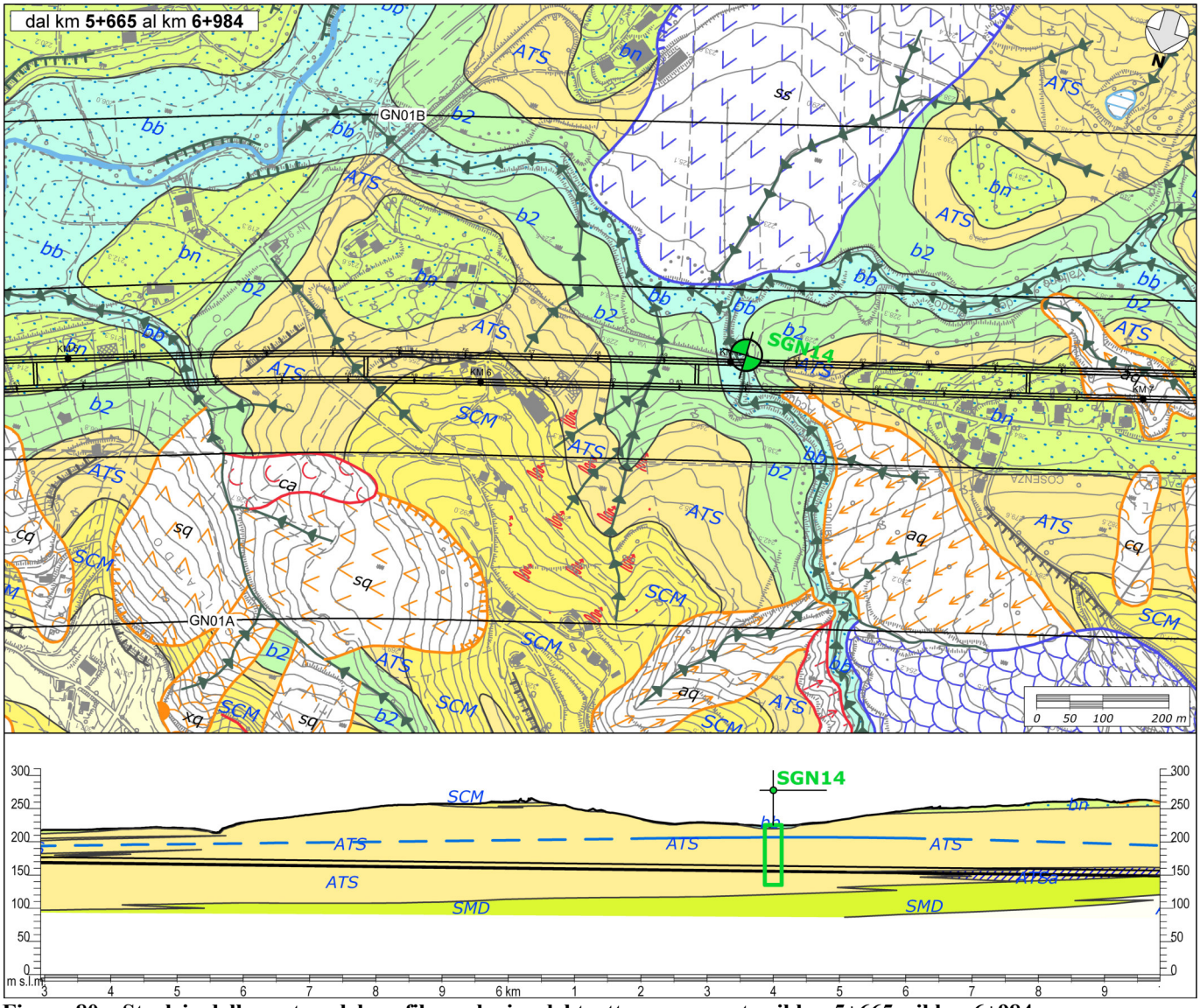


Figura 80 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 5+665 e il km 6+984.

15.1.4 Galleria naturale (km 6+984 – km 8+229)

Il tratto in questione si colloca nella porzione centro-orientale dell'area di studio e interessa i rilievi collinari posti ad est della Catena Costiera. Le quote di progetto sono comprese tra i 134.7 e 149.7 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 245.2 e i 372.8 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di una galleria naturale.

Nella prima parte il tracciato intercetta i litotipi delle Sabbie di Mandrigli (**SMD**), formate da terreni prevalentemente sabbiosi con locali intercalazioni arenacee e conglomeratiche. A partire dalla km 7+252 la galleria intercetta i termini argilloso-marnosi delle Argille marnose del T. Scumalatte (**ASM**) e quindi, dalla km 7+960, i litotipi delle Arenarie di Paola (**RPL**) (Figura 81).

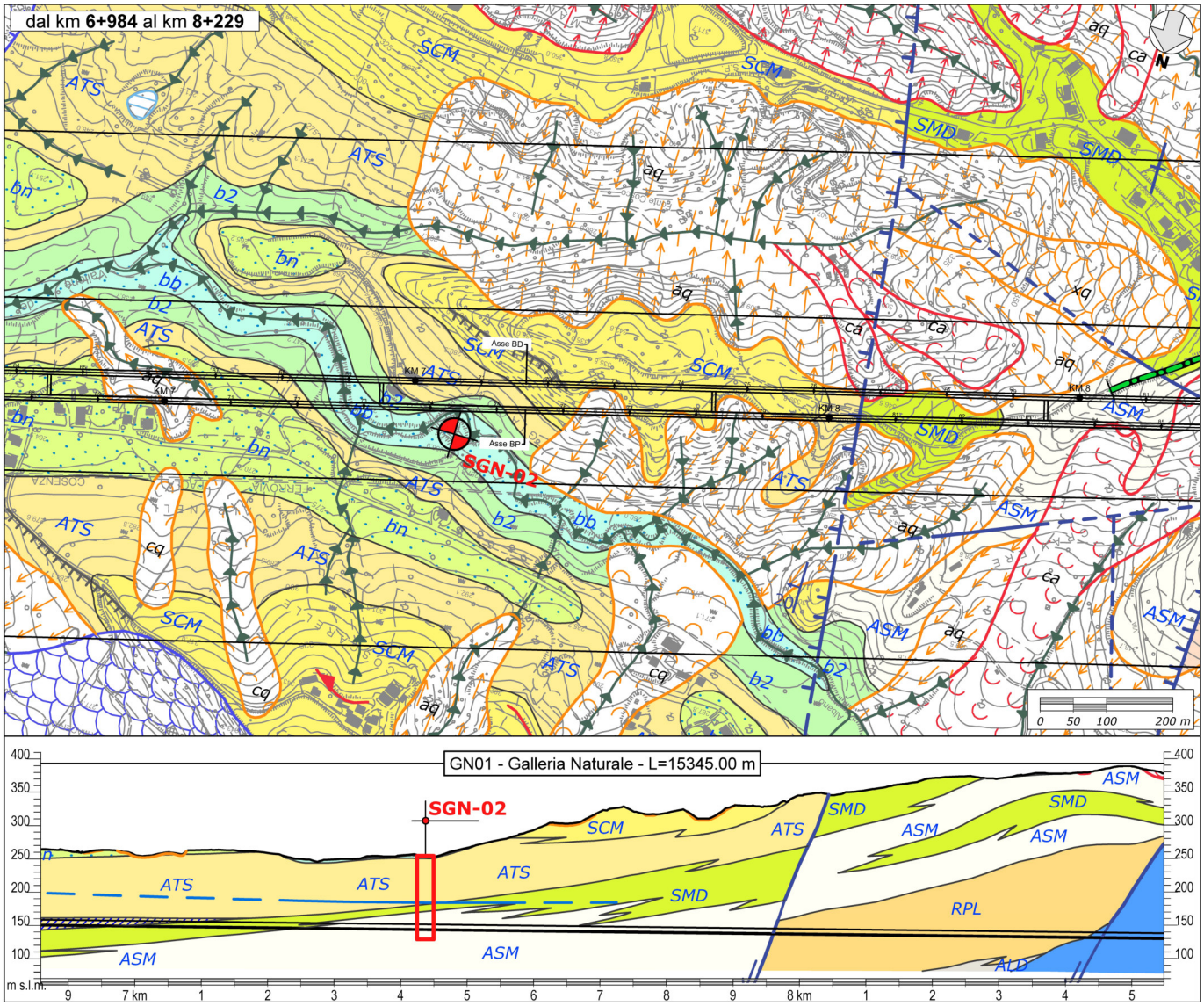


Figura 81 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 6+984 e il km 8+229.

Le Sabbie di Mandrigli (**SMD**) risultano eteropiche lateralmente e verso il basso alle Argille marnose del T. Scumalatte (**ASM**). Invece, il contatto tra le Arenarie di Paola (**RPL**) e le Argille marnose del T. Scumalatte (**ASM**) avviene alla km 7+960 tramite una faglia diretta orientata circa NNW-SSE che ribassa i litotipi più recenti lungo un piano ad alto angolo immergente verso ENE.

Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio disponibili evidenziano la presenza di una falda posta all'interno dei depositi prevalentemente sabbiosi (**SMD**) e delle intercalazioni sabbioso-limose più permeabili contenute nei depositi limoso-argillosi (**ATS, ASM**). Tale falda è caratterizzata, secondo i dati diretti di monitoraggio, da un livello piezometrico posto a 184.03 m s.l.m.. Inoltre, è possibile ipotizzare la presenza di una falda all'interno dei terreni permeabili arenacei e sabbiosi (**RPL**).

15.1.5 Galleria naturale (km 8+229 – km 9+664)

Il tratto in questione si colloca nella porzione centrale dell'area di studio e interessa i rilievi collinari posti ad est della Catena Costiera. Le quote di progetto sono comprese tra i 117.6 e 134.7 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 369.5 e i 510 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di una galleria naturale.

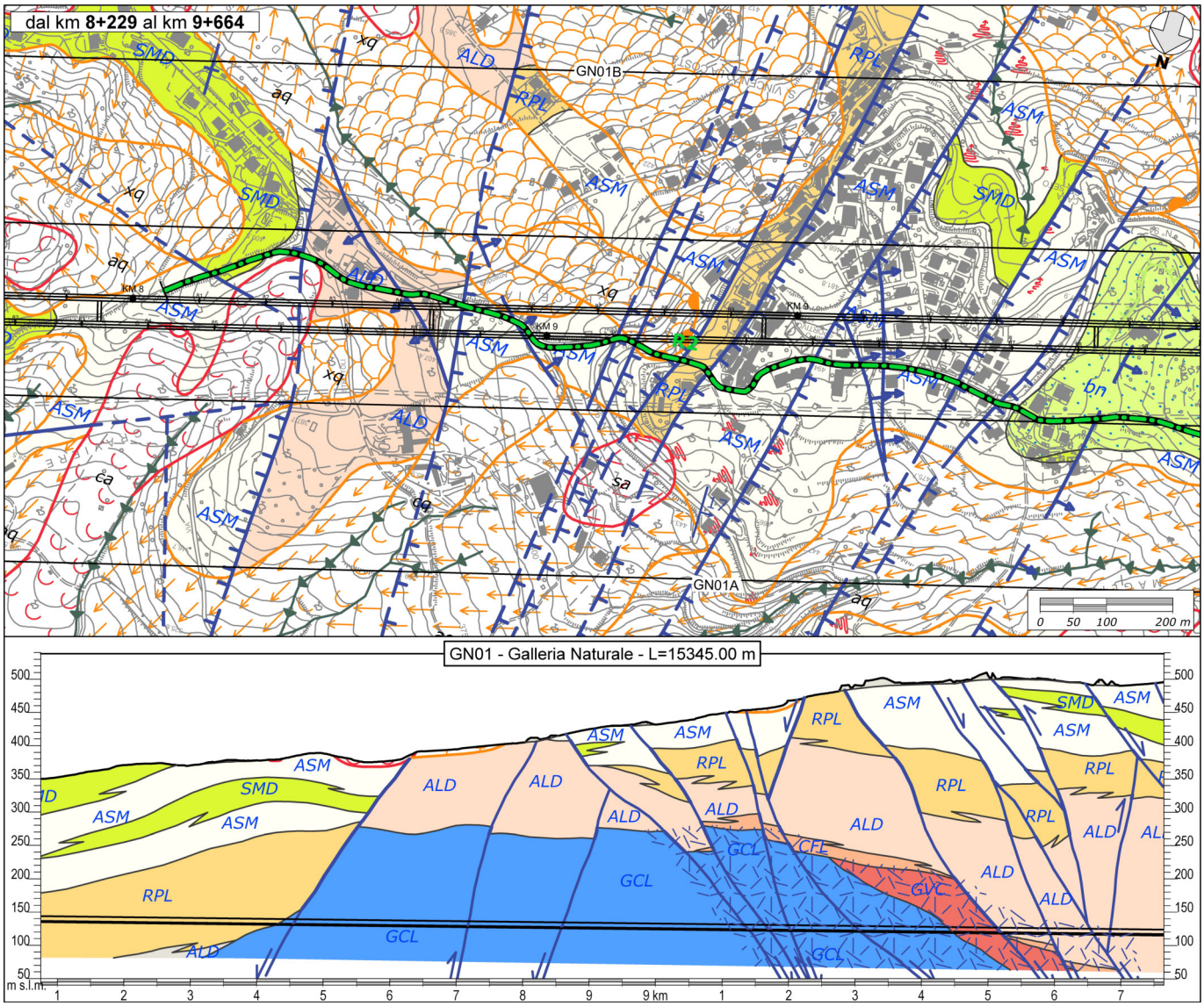


Figura 82 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 8+229 e il km 9+664.

Nella prima parte il tracciato intercetta i litotipi delle Arenarie di Paola (**RPL**), costituite da rocce prevalentemente arenacee con frequenti intercalazioni conglomeratiche. A partire dalla km 8+431 la galleria intercetta i termini litologici degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**) e quindi, a partire dalla km 9+444, i termini granitoidi dei Graniti di Varco Ceraso (**GVC**). Infine, dalla km 9+518, la galleria è interessata dalle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**) (Figura 82).

Il contatto tra il basamento cristallino-metamorfico (**GCL**) ed i depositi post-orogenici (**RPL**) si verifica, alla km 8+431, attraverso un contatto stratigrafico discordante. Inoltre alla km 8+452 il tracciato intercetta una importante faglia diretta ad asse circa N-S, che ribassa i settori orientali lungo un piano ad alto angolo immergente verso est. Questa faglia appartiene all'allineamento strutturale di "*S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano*" e, sulla base degli studi bibliografici disponibili, è da considerarsi attualmente attiva.

Il contatto tra i termini cristallini (**GVC**) e quelli sedimentari (**ALD**) si verifica, alla km 9+518, mediante una faglia diretta orientata circa NNE-SSW, che ribassa i settori più occidentali lungo un piano ad alto angolo immergente verso WNW. Questa faglia presenta un modesto rigetto verticale e forma, insieme alla faglia bordiera della Catena Costiera, un esteso *graben* ad asse circa meridiano che tende a chiudersi poco più a sud del tracciato in progetto.

Alle km 8+452, 8+715, 8+859, 9+139, 9+168, 9+202, 9+306 la successione degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**) è smembrata da faglie dirette orientate circa N-S e NNE-SSW immergenti variamente verso i settori orientali e occidentali. Inoltre, alle km 9+591 e 9+658, le Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**) sono ribassate verso ovest da due faglie dirette orientate circa NNE-SSW. Tali strutture, insieme a quelle precedentemente descritte, costituiscono un *horst* di minore dimensione rispetto a quello della Catena Costiera.

A causa della presenza degli elementi tettonici sopracitati, tra le km 9+111 e 9+717, i litotipi del substrato risultano tettonizzati e destrutturati, assumendo i connotati di una roccia cataclastica o milonitica.

Sotto il profilo idrogeologico, invece, va evidenziata la possibile presenza di diverse falde idriche contenute sia nelle porzioni più fratturate dei litotipi ignei (**GVC**) e metamorfici (**GCL**) che nei terreni permeabili arenacei (**RPL**). Questi complessi sono generalmente comunicanti tra loro e vengono tamponati, localmente, dai depositi di bassa permeabilità di tipo argilloso-marnoso (**ALD**), che funge in questo caso da *acquiclude*.

15.1.6 Galleria naturale (km 9+664 – km 11+390)

Il tratto in questione si colloca nella porzione centrale dell'area di studio e interessa i rilievi collinari posti ad est della Catena Costiera e l'estremità orientale della stessa. Le quote di progetto sono comprese tra i 97.0 e 117.6 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 483.8 e i 695.5 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di una galleria naturale.

La galleria in progetto attraversa inizialmente i litotipi delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**), composte da terreni essenzialmente pelitici con locali intercalazioni arenacee e calcareo-marnose, mentre, a partire dalla km 10+680, attraversa i termini litologici degli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (**EBG**) (Figura 83).

Il contatto tra il basamento cristallino-metamorfico (**EBG**) ed i depositi post-orogenici (**ALD**) si verifica, alla km 10+680, attraverso una importante faglia diretta ad asse circa NNW-SSE, che ribassa i settori orientali lungo un piano ad alto angolo immergente verso NE. Questa faglia, che rappresenta il margine orientale dell'*Horst* della Catena Costiera, appartiene al già citato allineamento di "*S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano*" ed è pertanto da considerarsi attiva.

Inoltre, tra la km 9+682 e la km 11+012, sono presenti una serie di faglie dirette orientate NE-SW e immergenti a NW prima, e orientate NNW-SSE e immergenti a NE poi, che ribassano l'intera sequenza stratigrafica, formando un *graben* che delimita in tale settore la Catena Costiera ad est. I litotipi del substrato, in corrispondenza delle faglie dirette che ribassano tale successione, tra la km 9+664 e la km 9+717, e tra la km 10+654 e la km 11+098, sono caratterizzati da ampie fasce di deformazione con annesse cataclasiti.

Sotto il profilo idrogeologico, invece, va evidenziata la possibile presenza di diverse falde idriche contenute nelle porzioni più fratturate dei litotipi metamorfici (**EBG**) che vengono tamponati, localmente, dai depositi di bassa permeabilità di tipo argilloso-marnoso (**ALD**), che fungono in questo caso da *acquiclude*.

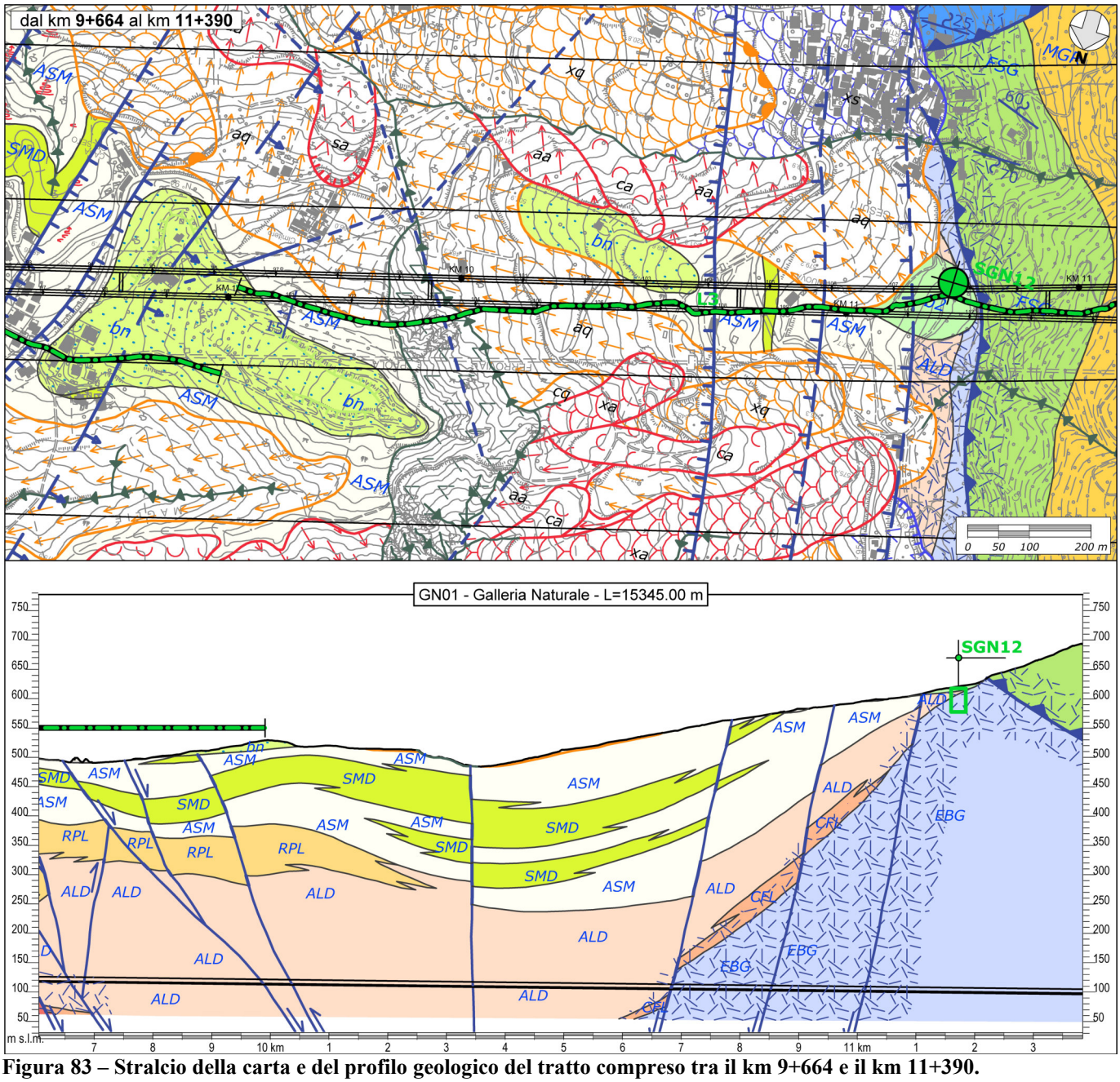


Figura 83 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 9+664 e il km 11+390.

15.1.7 Galleria naturale (km 11+390 – km 13+337)

Il tratto in questione si colloca nella porzione centrale dell'area di studio e interessa i rilievi montuosi della Catena Costiera. Le quote di progetto sono comprese tra i 73.7 e 97.0 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 695.5 e i 1196.0 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di una galleria naturale.

La galleria in progetto attraversa inizialmente i termini litologici degli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (**EBG**), mentre, a partire dalla km 12+364, attraversa i litotipi delle Filladi di San Giovanni (**FSG**) (Figura 84). Il contatto tra le due unità avviene mediante una faglia diretta orientata circa NNE-SSW, che ribassa i settori occidentali lungo un piano ad alto angolo immergente verso WNW e che genera una fascia di deformazione con annessa cataclasite nei litotipi interessati, tra la km 12+290 e la km 12+427. Questa faglia presenta un rigetto verticale di circa 160 m e forma, insieme alle strutture tettoniche del tratto precedente, un esteso *graben* ad asse circa NNE-SSE che ribassa i settori centrali della Catena Costiera. Inoltre, alla km 13+216, la serie delle Filladi di San Giovanni (**FSG**) è rialzata da un sovrascorrimento con direzione circa N-S e con vergenza orientale. Tale sovrascorrimento, tra la km 13+022 e la km 13+337 genera un'estesa fascia di deformazione caratterizzata da rocce cataclastiche.

Infine, per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dell'area, è possibile la presenza di una locale falda in rete posta all'interno delle porzioni più fratturate e tettonizzate dei litotipi metamorfici (**EBG**, **FSG**), intercettati per tutta la lunghezza del tratto in esame.

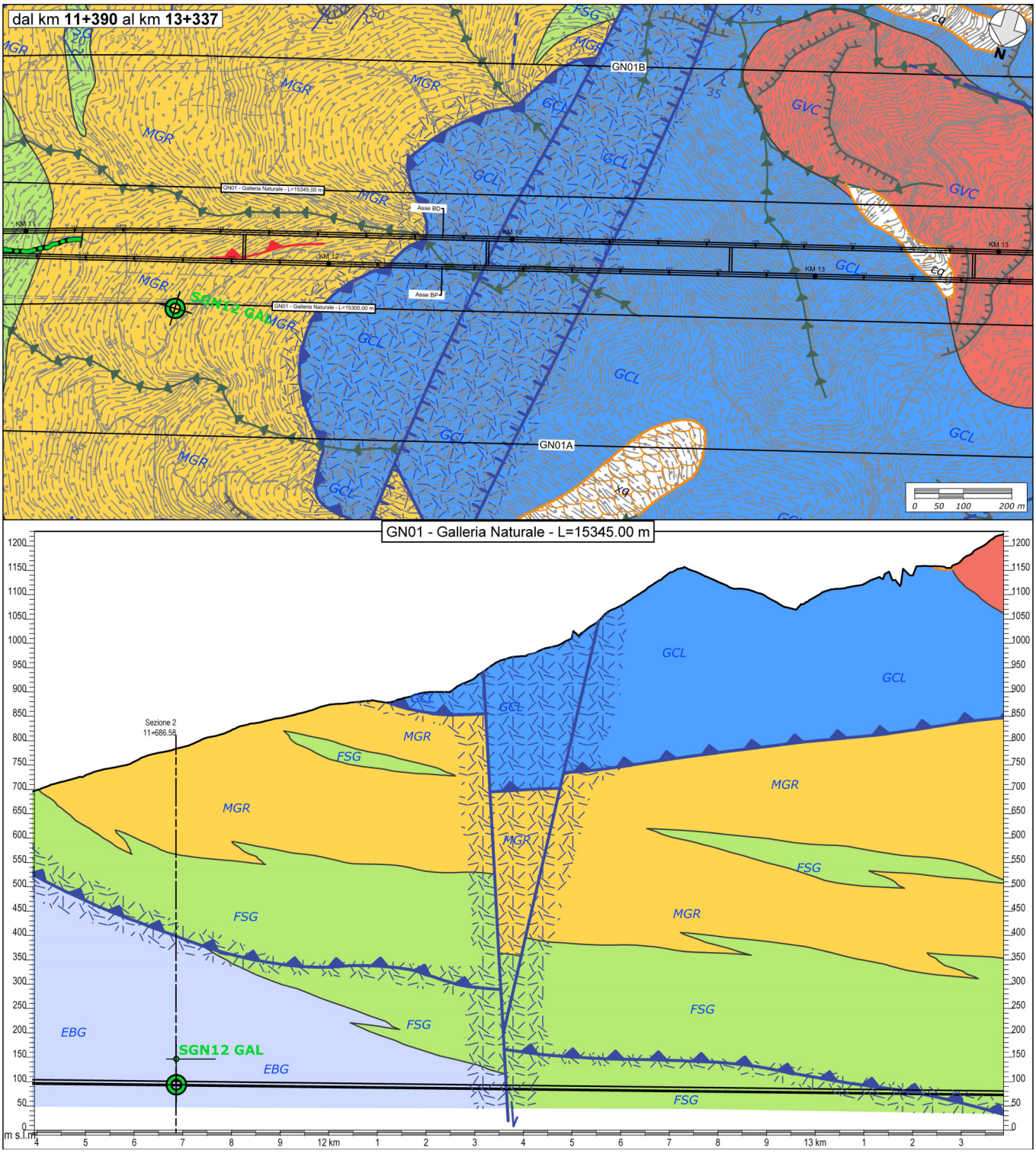


Figura 84 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 11+390 e il km 13+337.

15.1.8 Galleria naturale (km 13+337 – km 16+568)

Il tratto in questione si colloca nella porzione centro-occidentale dell'area di studio e interessa i rilievi montuosi della Catena Costiera. Le quote di progetto sono comprese tra i 35.2 e 73.7 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 775.0 e i 1234.0 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di una galleria naturale.

Il tracciato attraversa inizialmente i litotipi metamorfici delle Filladi di San Giovanni (**FSG**). A partire dal km 14+236 la galleria intercetta i termini litologici degli Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (**EBG**) e quindi, dal km 16+196, nuovamente i litotipi metamorfici delle Filladi di San Giovanni (**FSG**) (Figura 85, Figura 86).

In particolare, le suddette unità geologiche sono messe in contatto, alla km 14+236, da una importante faglia diretta orientata circa NNE-SSW, che ribassa i settori più orientali lungo un piano ad alto angolo mediamente immergente verso ESE. Alla km 16+196, le unità sono nuovamente messe in contatto da una faglia diretta orientata circa N-S, che ribassa i settori occidentali lungo un piano ad alto angolo mediamente immergente verso W. In corrispondenza di tali faglie, tra la km 14+120 e la km 14+300 e nuovamente tra la km 16+170 e la km 16+259, il substrato è caratterizzato da un elevato tasso di fratturazione riferibile a fasce cataclastiche.

Inoltre, tra la km 14+197 e la km 16+196, i termini litologici del substrato sono ulteriormente ribassati da una serie di faglie dirette ad alto angolo, orientate circa N-S e immergenti verso E e verso W.

Infine, per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dell'area, è possibile la presenza di una locale falda in rete posta all'interno delle porzioni più fratturate e tettonizzate dei litotipi metamorfici (**FSG**, **EBG**), intercettati per tutta la lunghezza del tratto in esame.

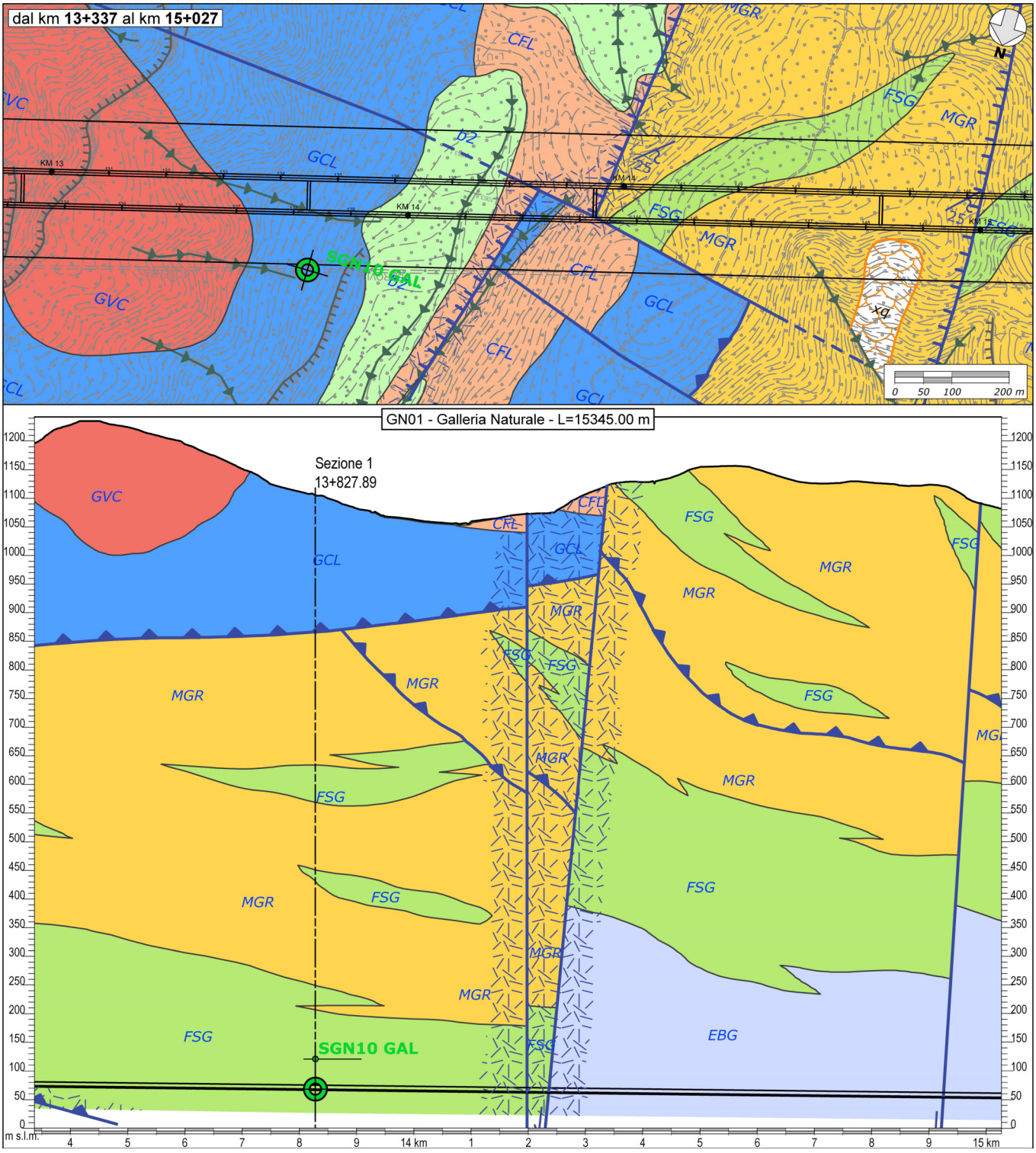


Figura 85 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 13+337 e il km 15+027.

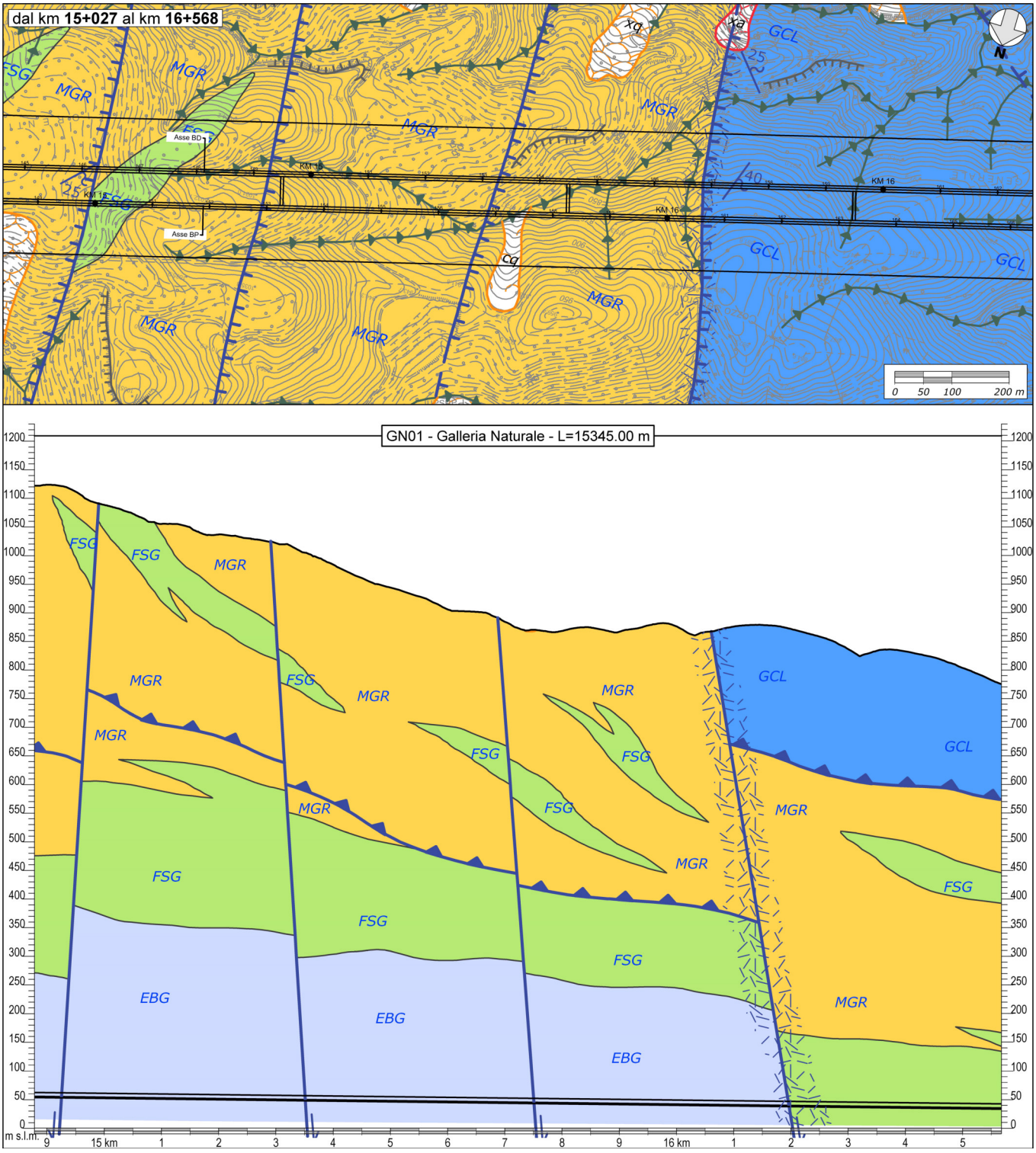


Figura 86 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 15+027 e il km 16+568.

15.1.9 Galleria naturale (km 16+568 – km 18+519)

Il tratto in questione si colloca nella porzione occidentale dell'area di studio e interessa i rilievi montuosi della Catena Costiera. Le quote di progetto sono comprese tra i 24.0 e 35.1 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 202.0 e i 775.0 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di una galleria naturale.

Il tracciato attraversa inizialmente i litotipi metamorfici delle Filladi di San Giovanni (**FSG**). A partire dal km 17+051 la galleria intercetta i termini litologici degli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**) e quindi, dal km 18+341, nuovamente i litotipi metamorfici delle Filladi di San Giovanni (**FSG**) (Figura 87).

In particolare, le suddette unità geologiche sono messe in contatto, al km 17+051 e al km 18+341, da due importanti faglie dirette, orientate circa NNW-SSE, che ribassano i settori più occidentali lungo un piano ad alto angolo mediamente immergente verso WSW. La faglia presente al km 18+341 rappresenta il margine più occidentale dell'*Horst* della Catena Costiera e, sulla base degli studi bibliografici disponibili, è da considerarsi attualmente attiva. Tale faglia è caratterizzata al letto dalla presenza di faglie inverse orientate NNW-SSE immergenti a ENE, al tetto dalla presenza di una faglia diretta orientata NNW-SSE immergenti a ENE che nel complesso generano un'estesa fascia di deformazione caratterizzata da rocce cataclastiche tra la km 18+226 e la km 18+519. Inoltre, al km 17+162 e al km 17+482, gli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**) sono dislocati da due faglie dirette ad alto angolo, orientate circa NNW-SSE, immergenti rispettivamente ad ENE e WSW.

Infine, per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dell'area, è possibile la presenza di una locale falda in rete posta all'interno delle porzioni più fratturate e tettonizzate dei litotipi metamorfici (**FSG**, **MGR**), intercettati per tutta la lunghezza del tratto in esame.

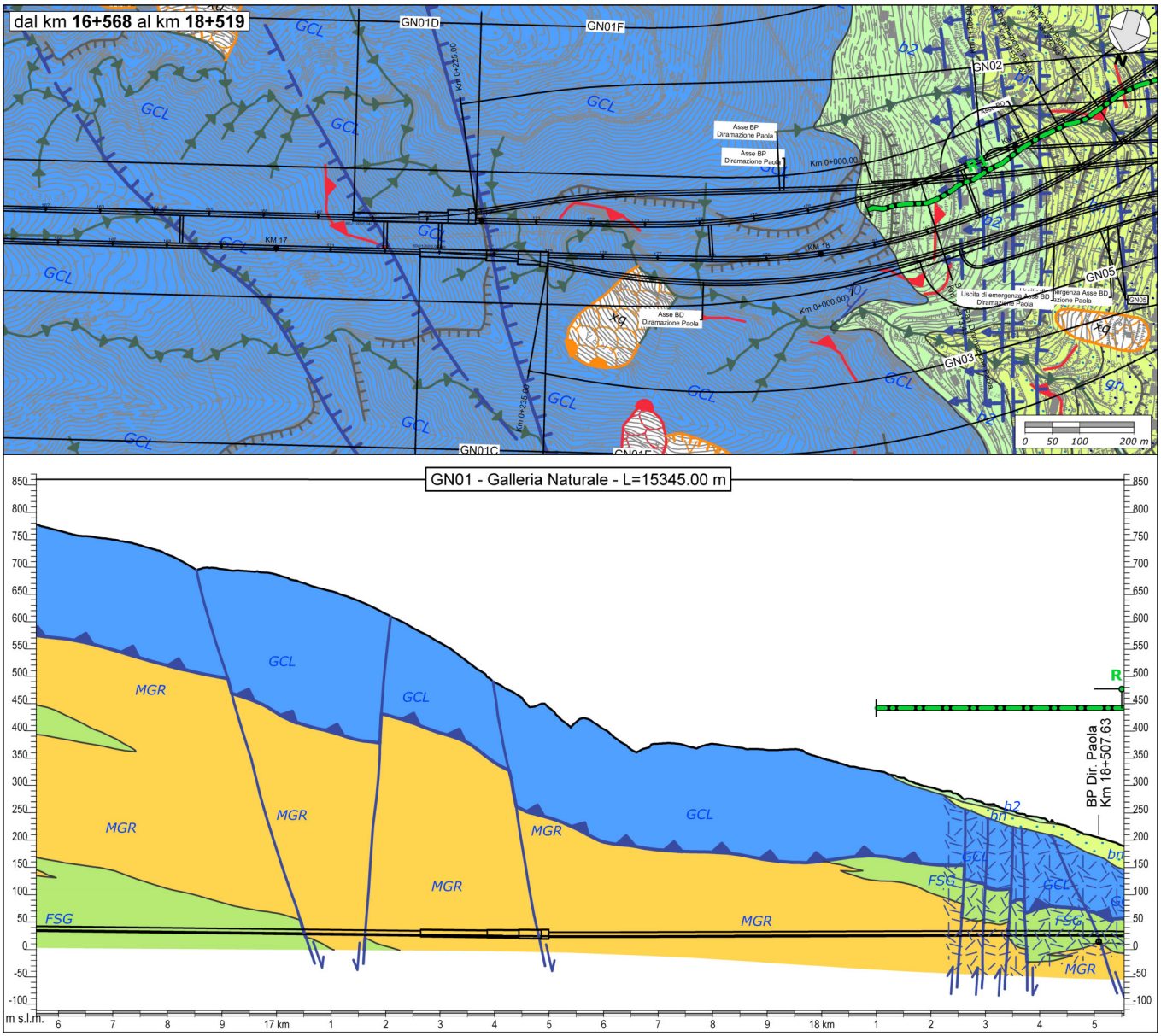


Figura 87 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 16+568 e il km 18+519.

15.1.10 Galleria naturale/galleria artificiale (km 18+519 – km 19+750)

Il tratto in questione si colloca nella porzione occidentale dell'area di studio e interessa l'estremità occidentale della Catena Costiera. Le quote di progetto sono comprese tra i 12.6 e 26.2 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 20.1 e i 202.0 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di una galleria naturale dalla km 18+519 alla km 19+620, mentre è prevista la realizzazione di una galleria artificiale tra la km 19+620 e la km 19+750.

Il tracciato attraversa inizialmente i litotipi metamorfici delle Filladi di San Giovanni (**FSG**), in contatto tettonico, al km 18+718, con i termini litologici degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**). Quindi, la galleria attraversa dal km 19+192 i termini dei Conglomerati di San Fili (**CFL**) e dal km 19+262 i depositi delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**) (Figura 88).

Il contatto tra le Filladi di San Giovanni (**FSG**) e gli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**) si verifica, al km 18+718, attraverso una faglia diretta ad asse circa NNW-SSE, che ribassa i settori occidentali lungo un piano ad alto angolo immergente verso WSW. Il contatto tra i termini cristallini (**GCL**) e quelli sedimentari (**CFL**) si verifica, al km 19+192, mediante un esteso sovrascorrimento, con direzione circa NNW-SSE ed un piano a basso angolo immergente grossomodo verso ENE. I litotipi posti tra la km 18+519 e la km 19+206, in corrispondenza degli elementi tettonici distensivi e compressivi sopra citati, sono caratterizzati da un elevato tasso di fratturazione riferibile a fasce cataclastiche. Infatti, il tracciato, oltre ad essere interessato dalle faglie dirette e dal sovrascorrimento sopra descritti, intercetta ulteriori elementi tettonici alle km 18+611, 18+672, 18+769, 18+912 e 19+034.

Dal punto di vista idrogeologico si evidenzia la presenza di una falda freatica all'interno dei Depositi marini terrazzati (**gn**), parzialmente sorretta dai terreni poco permeabili del substrato argilloso-marnoso. Verso valle la falda è in comunicazione con le acque di saturazione presenti all'interno delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**) e tende a defluire in direzione della costa tirrenica. In corrispondenza delle strumentazioni appositamente realizzate il livello piezometrico posto a quote variabili tra 28.99 e 44.50 m s.l.m.. Inoltre, è possibile ipotizzare la presenza di una falda posta all'interno dei depositi permeabili conglomeratici (**CFL**) e delle porzioni più fratturate e tettonizzate dei litotipi metamorfici (**FSG**, **GCL)**. Tali complessi sono caratterizzati dalla presenza di numerose emergenze sorgentizie allineate lungo la struttura bordiera della Catena Costiera e sono tamponate, verso ovest, dai terreni poco permeabili argilloso-marnosi (**ALD**).

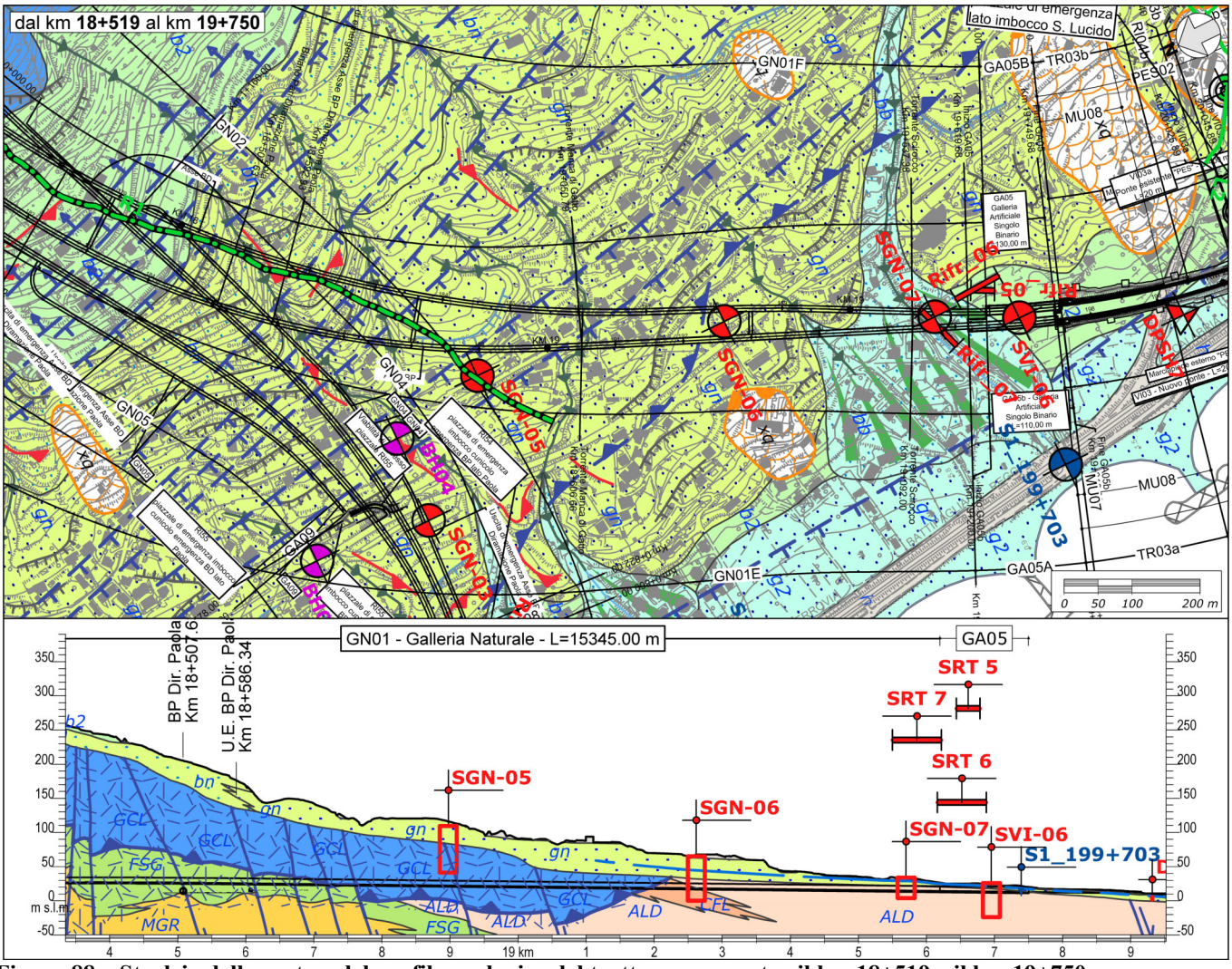


Figura 88 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 18+519 e il km 19+750.

15.1.11 Opere all'aperto (km 19+750 – km 20+727)

Il tratto in questione si colloca nell'estrema porzione occidentale dell'area di studio e interessa un settore prossimo alla costa, poco a sud del centro abitato di Paola. Le quote di progetto sono comprese tra i 9.4 e 12.5 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 4.3 e i 20 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di opere all'aperto.

Il tracciato attraversa inizialmente i Depositi marini terrazzati (**gn**), composti da terreni ghiaioso-sabbiosi con spessori compresi tra 6 e 14 metri. I suddetti termini litologici poggiano, in discordanza, sui litotipi delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**), costituiti da depositi prevalentemente pelitici con locali passaggi arenacei e calcareo-marnosi. Dal km 19+927, il tracciato attraversa i Depositi marini attuali e recenti (**g2**), composti principalmente da ghiaie e sabbie, con spessori compresi tra 1 e 18 m, in contatto stratigrafico discordante sui

Depositi marini terrazzati (**gn**). Tali terreni sono spesso ricoperti, specialmente nel tratto da finale, dai Riporti antropici (**h**) con uno spessore compreso tra 1 e 5 m (Figura 89).

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto, per l'assetto generalmente sub-pianeggiante dell'area.

Dal punto di vista idrogeologico si evidenzia la presenza di una falda freatica all'interno dei Depositi marini terrazzati (**gn**) e marini attuali e recenti (**g2**), parzialmente sorretta dai terreni poco permeabili del substrato argilloso-marnoso. In corrispondenza delle strumentazioni appositamente realizzate il livello piezometrico è posto ad una quota di circa 0.39 m s.l.m., mentre la direzione di flusso è indirizzata verso la costa tirrenica.

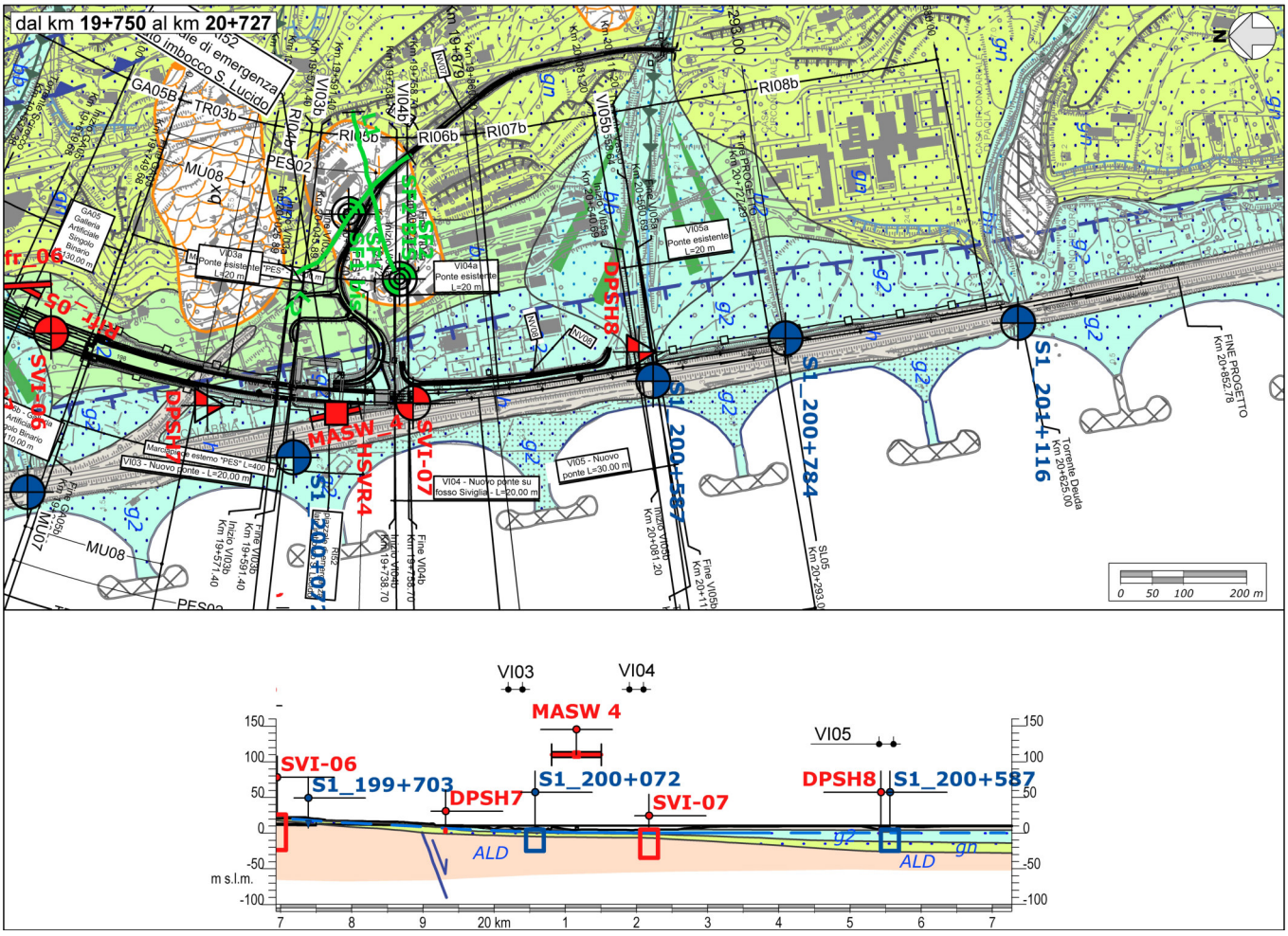


Figura 89 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 19+750 e il km 20+727.

15.2 Interconnessione

Di seguito vengono descritti da Est a Ovest, i diversi tratti relativi del tracciato ferroviario "*Interconnessione*", compresi tra la km 0+000 e la km 3+139, opportunamente distinti in funzione della tipologia di opere in progetto e delle principali caratteristiche geologiche, stratigrafiche e strutturali dell'area.

15.2.1 Galleria naturale (km 0+000 – km 1+228)

Il tratto in questione si colloca nella porzione occidentale dell'area di studio e interessa i rilievi montuosi della Catena Costiera. Le quote di progetto sono comprese tra i 12.2 e 26.8 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 200.5 e i 581.0 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di una galleria naturale.

Il tracciato attraversa inizialmente i litotipi metamorfici degli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**), mentre a partire dalla km 1+110 la galleria intercetta i termini litologici delle Filladi di San Giovanni (**FSG**) (Figura 90).

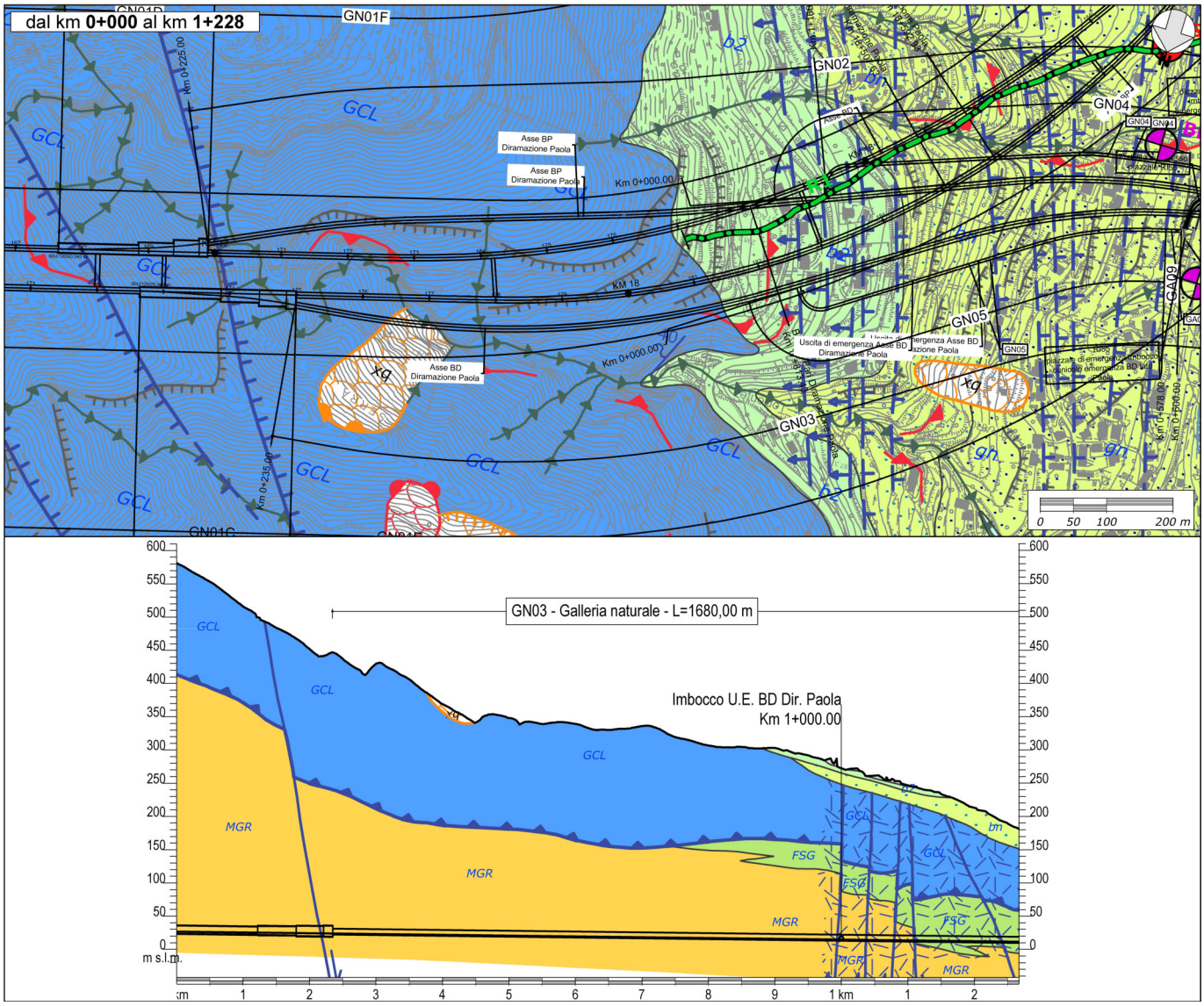


Figura 90 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 0+000 e il km 1+228.

In particolare, le suddette unità geologiche sono messe in contatto, alla km 1+110, da una faglia diretta, orientata circa NNW-SSE, che ribassa i settori più occidentali lungo un piano ad alto angolo mediamente immergente verso WSW. Tale faglia rappresenta il margine più occidentale dell'*Horst* della Catena Costiera e, sulla base degli studi

bibliografici disponibili, è da considerarsi attualmente attiva. Inoltre, alla km 0+221, gli Scisti muscovitici di Greco (**MGR**) sono dislocati da una faglia diretta ad alto angolo, orientata circa NNW-SSE, e immergente a WSW, mentre alle km 0+994, 1+036 e 1+078 gli stessi litotipi sono dislocati da tre faglie inverse immergenti a WSW e orientate NNW-SSE.

Infine, per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dell'area, è possibile la presenza di una locale falda in rete posta all'interno delle porzioni più fratturate e tettonizzate dei litotipi metamorfici (**FSG**, **MGR**), intercettati per tutta la lunghezza del tratto in esame.

15.2.2 Galleria naturale/galleria artificiale (km 1+228 – km 1+967)

Il tratto in questione si colloca nella porzione occidentale dell'area di studio e interessa l'estremità occidentale della Catena Costiera. Le quote di progetto sono comprese tra i 6.9 e 12.2 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 9.8 e i 200.5 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di una galleria naturale dalla km 1+228 alla km 1+914, mentre è prevista la realizzazione di una galleria artificiale tra la km 1+915 e la km 1+936 e di uno scatolare tra la km 1+936 e la km 1+967.

Il tracciato attraversa inizialmente i litotipi metamorfici delle Filladi di San Giovanni (**FSG**), in contatto per limite stratigrafico discordante, alla km 1+474, con i depositi delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**). A partire dalla km 1+530 la galleria intercetta i termini litologici degli Gneiss di Cozzo Luparello (**GCL**) e quindi, dalla km 1+819, i Depositi marini terrazzati (**gn**) sui quali poggiano per contatto stratigrafico discordante, dal km 1+959, i terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**), con uno spessore variabile tra 1 e 4 m. Tali terreni sono localmente ricoperti, dai Riporti antropici (**h**) con uno spessore compreso tra 0.5 e 4 m (Figura 91).

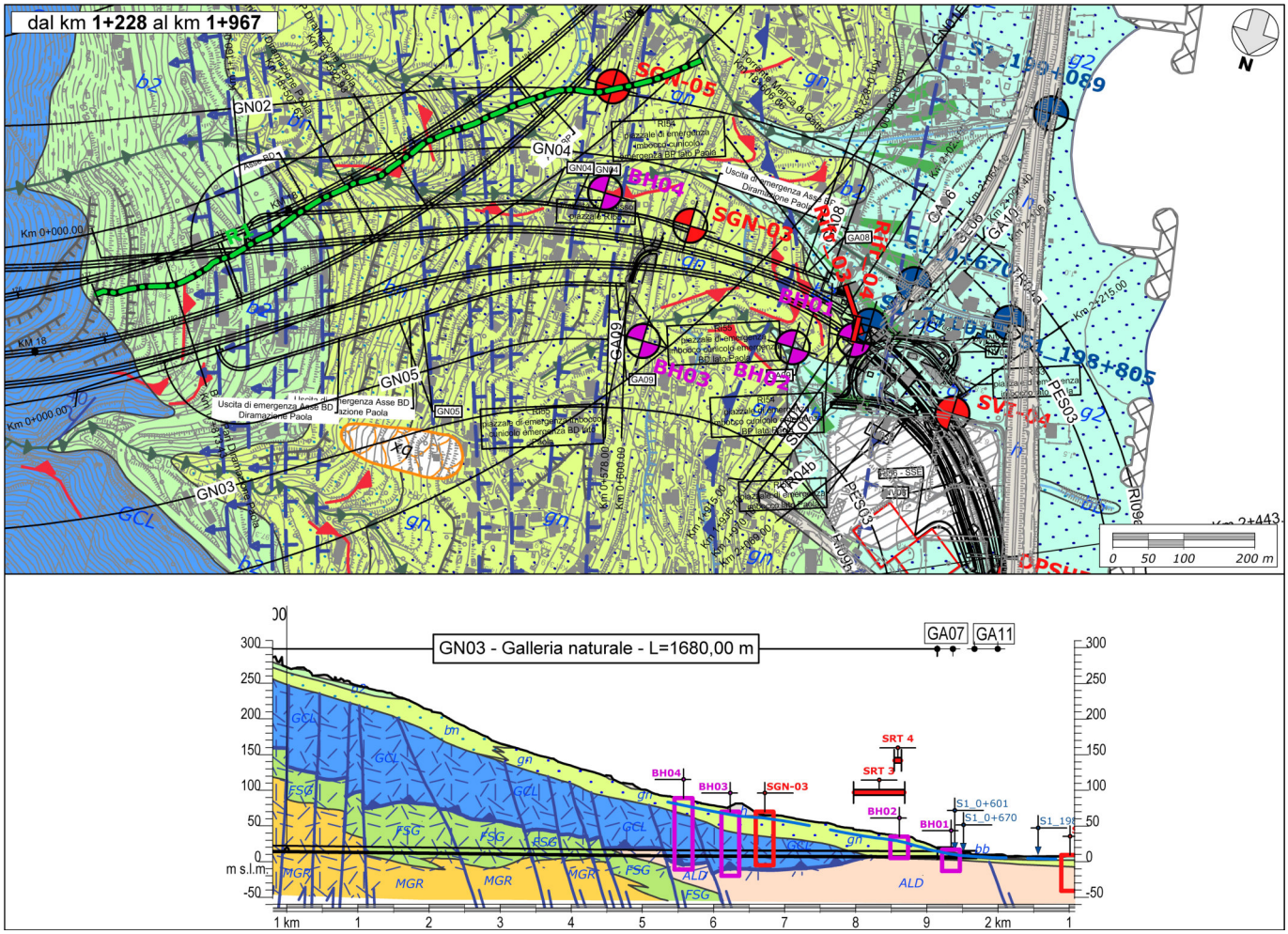


Figura 91 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 1+228 e il km 1+967.

Il contatto tra il basamento cristallino-metamorfico (**GCL**) ed i depositi post-orogenici (**ALD**) si verifica, alla km 1+530, attraverso una faglia diretta ad asse circa NNW-SSE, che ribassa i settori occidentali lungo un piano ad alto angolo immergente verso WSW. A tale elemento tettonico è associata un'altra faglia diretta che ribassa ulteriormente la successione e interseca la galleria alla km 1+590. Il contatto tra i termini cristallini (**GCL**) e quelli di copertura (**gn**) si verifica, alla km 1+819, mediante un contatto stratigrafico discordante. Inoltre, la galleria intercetta nella porzione più bassa, alla km 1+820, un esteso sovrascorrimento, con direzione circa NNW-SSE ed un piano a basso angolo immergente grossomodo verso WSW, che pone a contatto il basamento cristallino-metamorfico (**GCL**) con i termini sedimentari (**ALD**).

I termini delle Filladi di San Giovanni (**FSG**) sono quindi interessati da una serie di faglie dirette con direzione NNW-SSE e immergenti a WSW, che intercettano il tracciato in progetto alle km 1+240, 1+343, 1+388 e 1+448.

La presenza di numerose strutture tettoniche ha generato un'estesa fascia di deformazione, in corrispondenza dei litotipi del substrato, caratterizzata da rocce cataclastiche tra la km 1+228 e la km 1+819.

Dal punto di vista idrogeologico si evidenzia la presenza di una falda freatica all'interno dei Depositi marini terrazzati (**gn**), parzialmente sorretta dai terreni poco permeabili del substrato argilloso-marnoso, e all'interno dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**). Verso valle la falda è in comunicazione con le acque di saturazione presenti all'interno delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**) e tende a defluire in direzione della costa tirrenica. In corrispondenza delle strumentazioni appositamente realizzate il livello piezometrico posto a quote variabili tra 10.80 e 66.10 m s.l.m.. Inoltre, è possibile ipotizzare la presenza di una falda posta all'interno delle porzioni più fratturate e tettonizzate dei litotipi metamorfici (**FSG**, **GCL)**. Tali complessi sono caratterizzati dalla presenza di numerose emergenze sorgentizie allineate lungo la struttura bordiera della Catena Costiera e sono tamponate, verso ovest, dai terreni poco permeabili argilloso-marnosi (**ALD**).

15.2.3 Opere all'aperto (km 1+967 – km 3+137)

Il tratto in questione si colloca nell'estrema porzione occidentale dell'area di studio e interessa un settore prossimo alla costa, in corrispondenza del centro abitato di Paola. Le quote di progetto sono comprese tra i 6.9 e 10 m circa s.l.m., mentre le quote terreno variano tra i 4.1 e i 18.9 m circa s.l.m. In questo settore è prevista la realizzazione di una galleria artificiale tra la km 1+967 e 2+000 e la realizzazione di opere all'aperto dalla km 2+000 fino a fine progetto.

Il tracciato attraversa i Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**) e dal km 2+006 i Depositi marini attuali e recenti (**g2**), composti principalmente da ghiaie e sabbie, con spessori compresi tra 4 e 12 m, in contatto stratigrafico discordante sui Depositi marini terrazzati (**gn**). I suddetti termini litologici poggiano, in discordanza, sui litotipi delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**), costituiti da depositi prevalentemente pelitici con locali passaggi arenacei e calcareo-marnosi. Tali terreni sono spesso ricoperti, dai Riporti antropici (**h**) con uno spessore compreso tra 0.5 e 11 m (Figura 92).

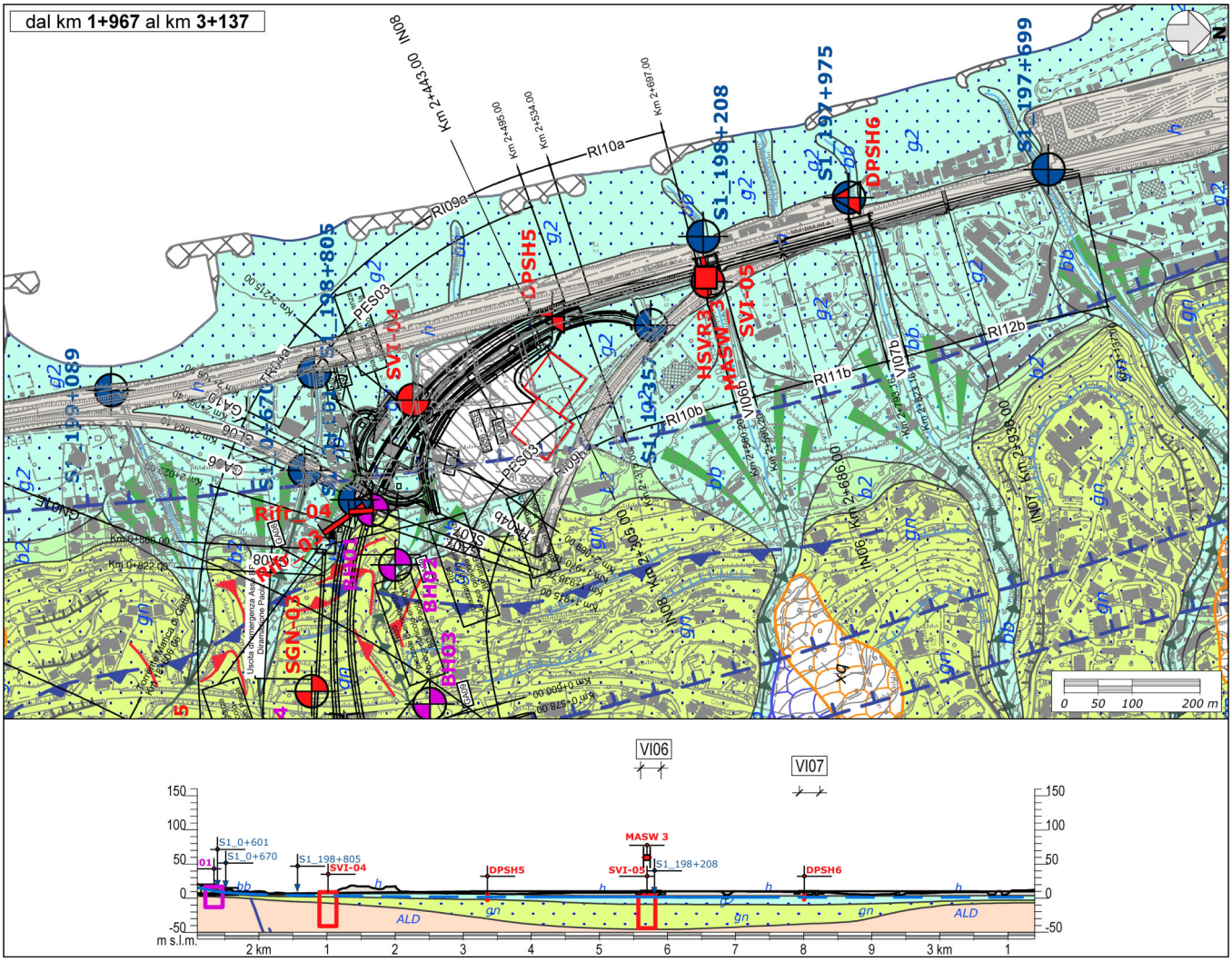


Figura 92 – Stralcio della carta e del profilo geologico del tratto compreso tra il km 1+970 e il km 3+137.

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto, per l'assetto generalmente sub-pianeggiante dell'area.

Dal punto di vista idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica posta all'interno dei terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi marini attuali e recenti (**g2**) e dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**), posta a quota di circa 1.60 m s.l.m.

15.3 Nuove viabilità

Di seguito vengono descritte le principali caratteristiche geologiche, stratigrafiche e strutturali delle aree interessate dalle nuove viabilità in progetto.

15.3.1 Nuova viabilità NV01

Il tratto in questione si colloca nella porzione più orientale dell'area di studio e interessa un'area compresa tra la piana del Torrente Settimo e la piana del Fiume Crati. Il tracciato è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote terreno comprese tra i 165 e i 170 m circa s.l.m.

Nel settore sud-orientale, il tracciato attraversa per circa un terzo della sua lunghezza i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali terrazzati (**bn**), che presentano uno spessore variabile tra circa 7 e 12 m (Figura 93). Nel settore più settentrionale, il tracciato intercetta i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**), con uno spessore massimo di circa 2 m. Infine, nella porzione più occidentale, il tracciato attraversa nuovamente i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali terrazzati (**bn**), con spessore variabile tra circa 7 e 10 m.. Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi limoso-argillosi delle Argille limose del T. Settimo (**ATS**), che si rinvengono a circa 13 m dal p.c. e localmente, in rapporto di eteropia laterale e verticale, dai depositi sabbioso-conglomeratici delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (**SCM**).

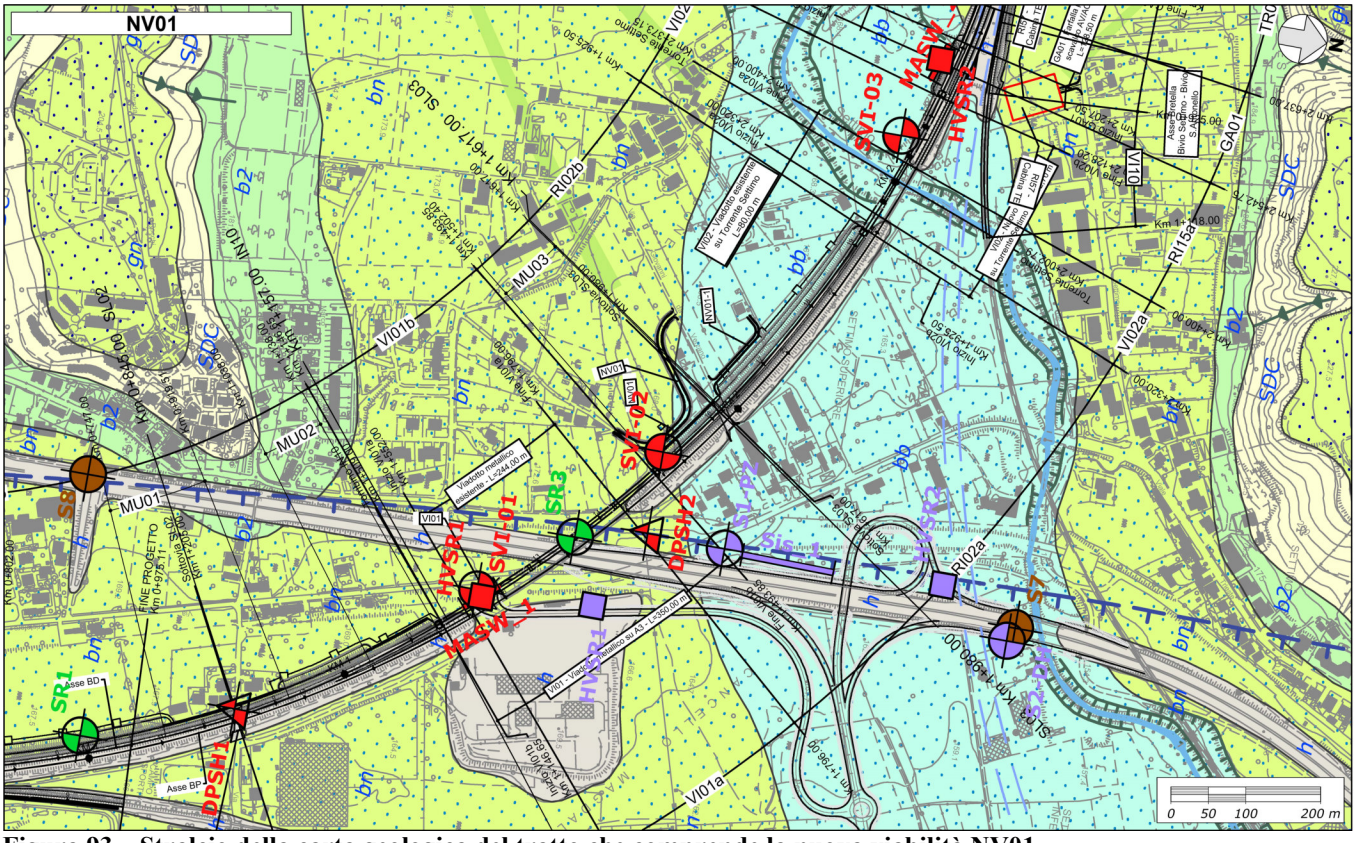


Figura 93 – Stralcio della carta geologica del tratto che comprende la nuova viabilità NV01.

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto, per l'assetto generalmente sub-pianeggiante dell'area.

Sotto il profilo idrogeologico, va evidenziata la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali terrazzati (**bn**) e attuali e recenti (**bb**).

15.3.2 Nuova viabilità NV02

Il tratto in questione si colloca nella porzione più orientale dell'area di studio e interessa interamente la piana del Torrente Settimo. Il tracciato è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote terreno comprese tra i 160 e 195 m circa s.l.m..

Nel settore più orientale, il tracciato attraversa per un breve tratto i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**), con uno spessore limitato (Figura 94). Successivamente, il tracciato intercetta i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali terrazzati (**bn**), che presentano uno spessore variabile di alcuni metri. Inoltre, nella porzione occidentale, in corrispondenza dell'alveo del Vallone della Mola, il tracciato attraversa nuovamente i Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**). Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici (**h**). Il substrato geologico dell'area è rappresentato ovunque dai litotipi limoso-argillosi delle Argille limose del T. Settimo (**ATS**), e localmente, in rapporto di eteropia laterale e verticale, dai depositi sabbioso-conglomeratici delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (**SCM**).

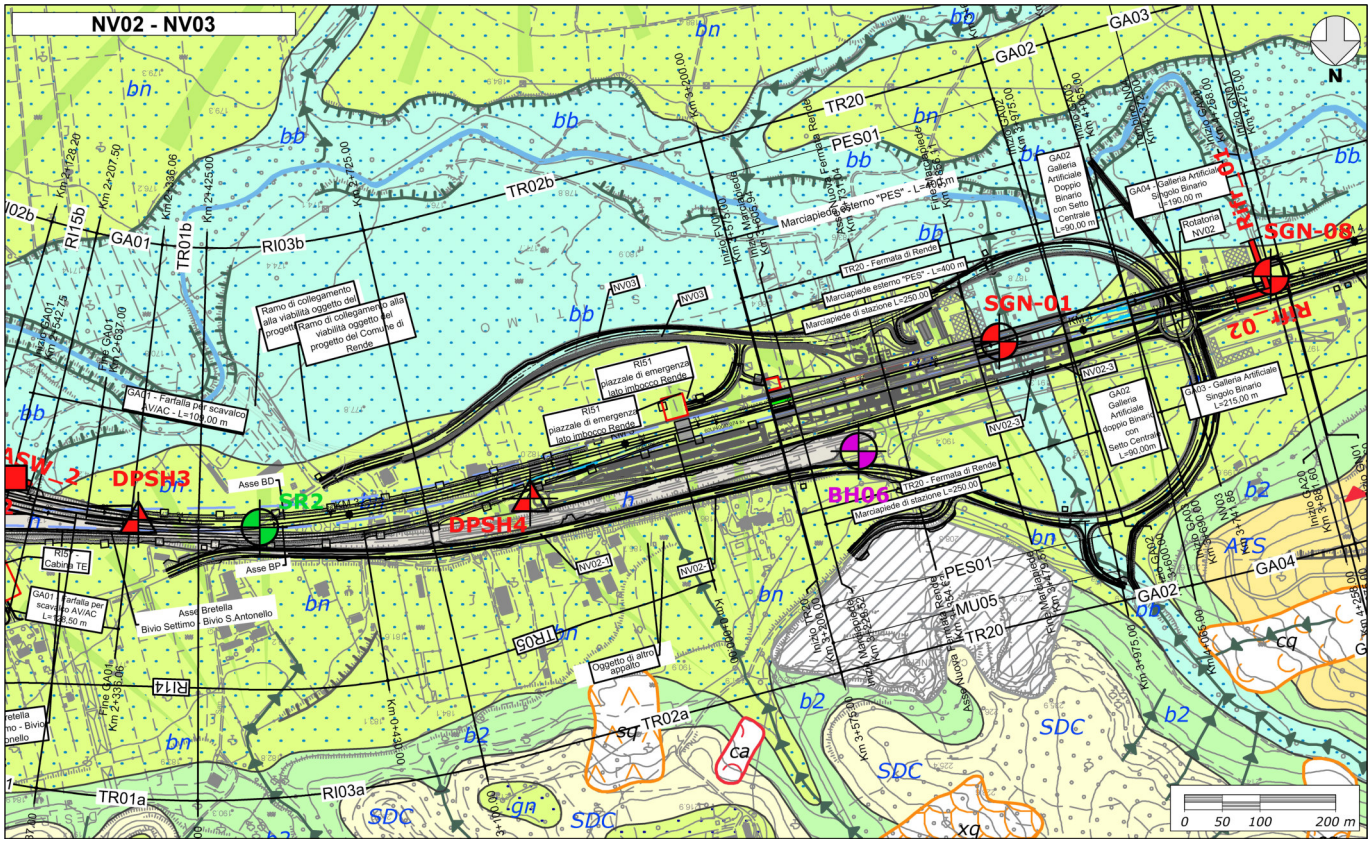


Figura 94 – Stralcio della carta geologica del tratto che comprende la nuova viabilità NV02.

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto, per l'assetto generalmente sub-pianeggiante dell'area. Gli unici elementi potenzialmente interferenti col tracciato sono rappresentati, quindi, dall'alveo del T. Settimo, spesso soggetto a importanti fenomeni di alluvionamento e generalmente caratterizzato da evidenti fenomeni di erosione laterale delle sponde e, in minor modo, dall'alveo del Vallone della Mola. Si evidenzia, quindi, la presenza di diverse conoidi alluvionali interferenti con il tracciato, che

visto lo stato di inattività e le opere di regimentazione delle aste fluviali ad esse associate, non rappresentano un elemento di criticità per le opere in progetto.

Sotto il profilo idrogeologico, va evidenziata la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali terrazzati (**bn**) e attuali e recenti (**bb**).

15.3.3 Nuova viabilità NV03

Il tratto in questione si colloca nella porzione più orientale dell'area di studio e interessa interamente la piana del Torrente Settimo. Il tracciato è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote terreno comprese tra i 178 e 195 m circa s.l.m..

Il tracciato attraversa alle estremità occidentali e orientali e nel settore centrale i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali terrazzati (**bn**), con uno spessore massimo di alcuni metri (Figura 95). Invece, nelle porzioni centro-occidentali e centro-orientali il tracciato intercetta i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**) con uno spessore massimo di alcuni metri. Il substrato geologico dell'area è rappresentato ovunque dai litotipi limoso-argillosi delle Argille limose del T. Settimo (**ATS**), e localmente, in rapporto di eteropia laterale e verticale, dai depositi sabbioso-conglomeratici delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (**SCM**).

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto, per l'assetto generalmente sub-pianeggiante dell'area. L'unico elemento potenzialmente interferente col tracciato è rappresentato, quindi, dall'alveo del T. Settimo, spesso soggetto a importanti fenomeni di alluvionamento e generalmente caratterizzato da evidenti fenomeni di erosione laterale delle sponde. Si evidenzia, quindi, la presenza di una conoide alluvionale interferente con il tracciato, che visto lo stato di inattività e le opere di regimentazione dell'asta fluviale ad essa associata, non rappresenta un elemento di criticità per le opere in progetto.

Sotto il profilo idrogeologico, va evidenziata la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali terrazzati (**bn**) e attuali e recenti (**bb**).

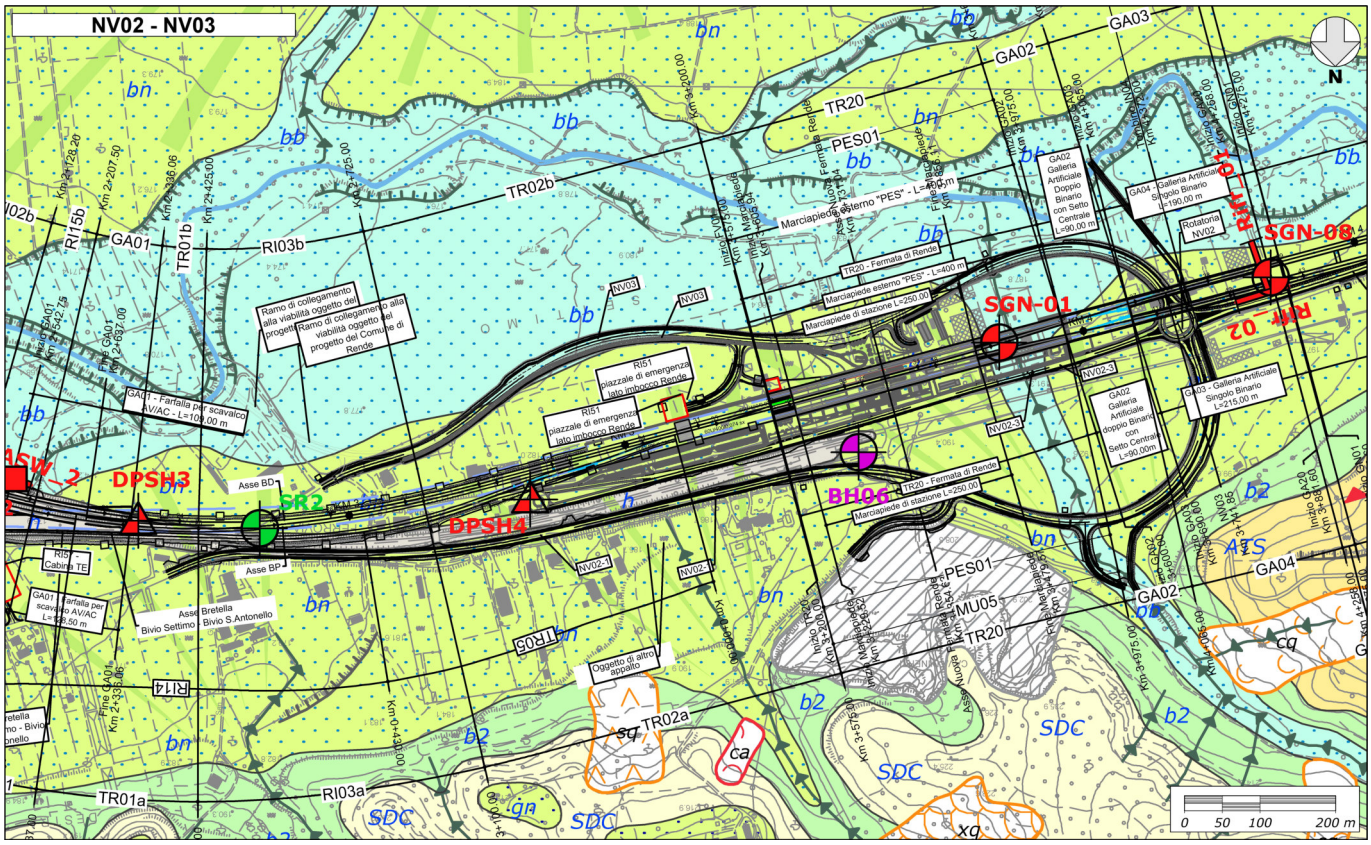


Figura 95 – Stralcio della carta geologica del tratto che comprende la nuova viabilità NV03.

15.3.4 Nuova viabilità NV04

Il tratto in questione si colloca nell'estrema porzione occidentale dell'area di studio e interessa un settore prossimo alla costa, poco a sud del centro abitato di Paola. In questo settore è prevista la realizzazione di opere all'aperto, a quote terreno comprese tra i 3 e 25 m circa s.l.m...

Il tracciato attraversa i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**) nella porzione orientale, mentre intercetta i Depositi marini attuali e recenti (**g2**), composti principalmente da ghiaie e sabbie, nel settore occidentale (Figura 96). Entrambe le tipologie di depositi presentano spessori nell'ordine di qualche metro e poggiano in contatto stratigrafico discordante sui Depositi marini terrazzati (**gn**). I suddetti termini litologici poggiano, in discordanza, sui litotipi delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**), costituiti da depositi prevalentemente pelitici. Tali terreni sono localmente ricoperti dai Riporti antropici (**h**) e Depositi detritico-colluviali (**b2**) con spessori limitati.

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto. Si evidenzia unicamente la presenza di due conoidi alluvionali con stato di attività quiescente che lambiscono il tracciato, e, considerate le opere di regimentazione dell'asta fluviale ad essa associata, non rappresenta un elemento di criticità per le opere in progetto.

Dal punto di vista idrogeologico, si evidenzia la presenza di una falda freatica posta all'interno dei terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi marini attuali e recenti (**g2**) e dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**).

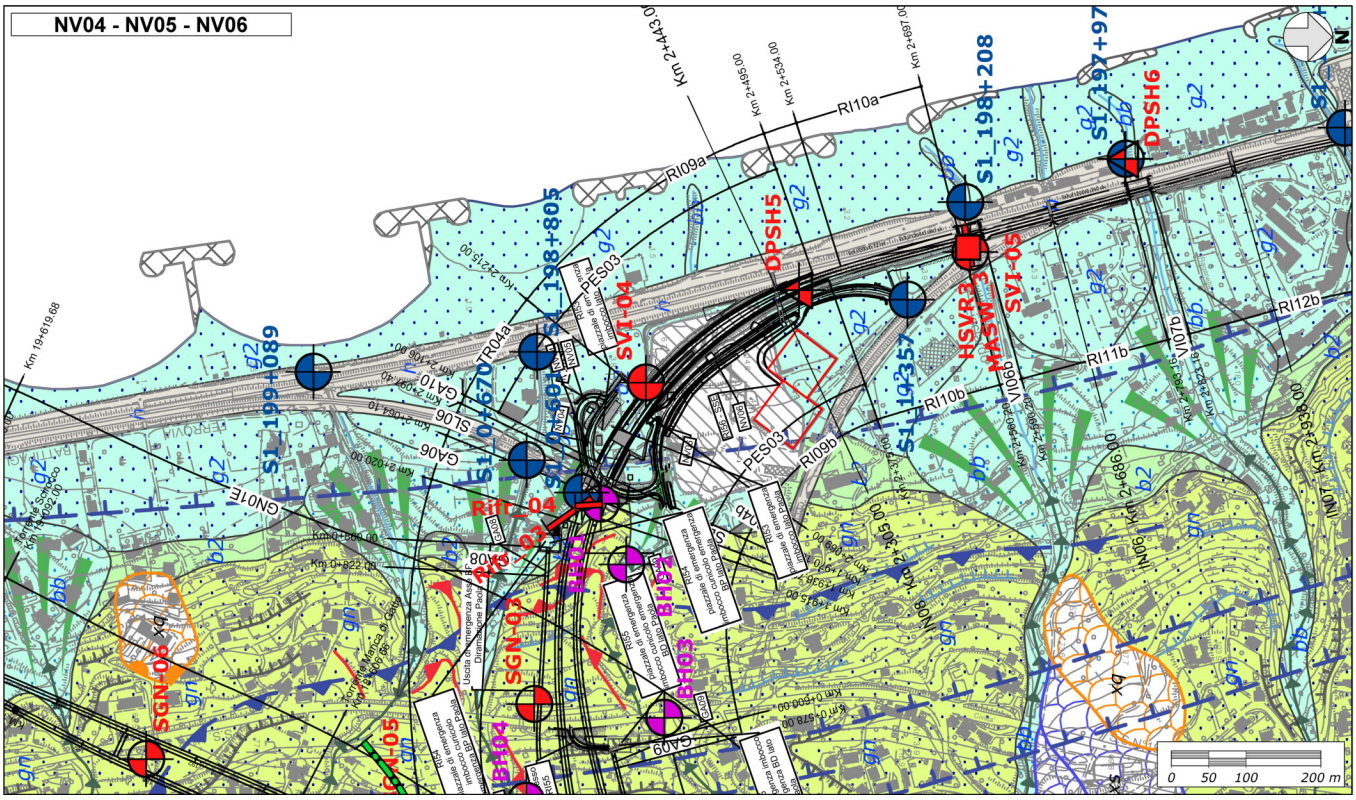


Figura 96 – Stralcio della carta geologica del tratto che comprende la nuova viabilità NV04.

15.3.5 Nuova viabilità NV05

Il tratto in questione si colloca nell'estrema porzione occidentale dell'area di studio e interessa un settore prossimo alla costa, poco a sud del centro abitato di Paola. In questo settore è prevista la realizzazione di opere all'aperto, a quote terreno comprese tra i 3 e 10 m circa s.l.m..

Il tracciato attraversa i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**) nella porzione orientale, mentre intercetta i Depositi marini attuali e recenti (**g2**), composti principalmente da ghiaie e sabbie, nel settore occidentale (Figura 97). Entrambe le tipologie di depositi presentano spessori nell'ordine di qualche metro e poggiano in contatto stratigrafico discordante sui Depositi marini terrazzati (**gn**). I suddetti termini litologici poggiano, in discordanza, sui litotipi delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**), costituiti da depositi prevalentemente pelitici. Tali terreni sono localmente ricoperti dai Riporti antropici (**h**) con spessori limitati.

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto. Si evidenzia unicamente la presenza di una conoide alluvionale con stato di attività quiescente interferente con il tracciato, che, considerate le opere di regimentazione dell'asta fluviale ad essa associata, non rappresenta un elemento di criticità per le opere in progetto.

Dal punto di vista idrogeologico, si evidenzia la presenza di una falda freatica posta all'interno dei terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi marini attuali e recenti (**g2**) e dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**).

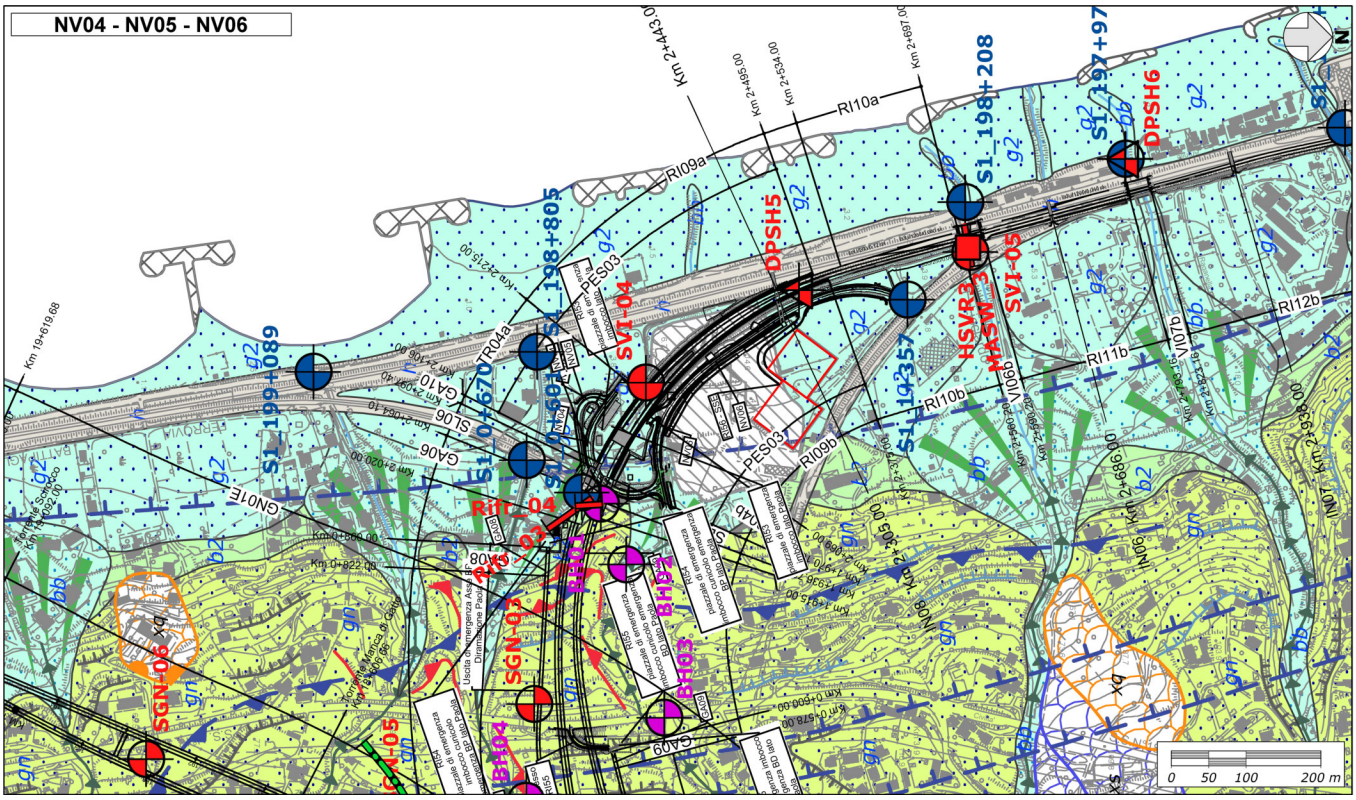


Figura 97 – Stralcio della carta geologica del tratto che comprende la nuova viabilità NV05.

15.3.6 Nuova viabilità NV06

Il tratto in questione si colloca nell'estrema porzione occidentale dell'area di studio e interessa un settore prossimo alla costa, poco a sud del centro abitato di Paola. In questo settore è prevista la realizzazione di opere all'aperto, a quote terreno comprese tra i 3 e 25 m circa s.l.m...

Nel settore orientale, il tracciato attraversa per un breve tratto i terreni da ghiaioso a limosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**) con uno spessore massimo di qualche metro (Figura 98). Successivamente, il tracciato intercetta i Depositi marini attuali e recenti (**g2**), composti principalmente da ghiaie e sabbie, con spessori variabili da qualche metro a circa 10 m. Tali depositi poggiano in contatto stratigrafico discordante sui Depositi marini terrazzati (**gn**). I suddetti termini litologici poggiano, in discordanza, sui litotipi delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**), costituiti da depositi prevalentemente pelitici. Tali terreni sono localmente ricoperti dai Riporti antropici (**h**) con spessori limitati.

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto. Si evidenzia unicamente la presenza di una conoide alluvionale con stato di attività quiescente interferente con il tracciato nell'estremo settore orientale, che, considerate le opere di regimentazione dell'asta fluviale ad essa associata, non rappresenta un elemento di criticità per le opere in progetto.

Dal punto di vista idrogeologico, si evidenzia la presenza di una falda freatica posta all'interno dei terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi marini attuali e recenti (**g2**) e dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**).

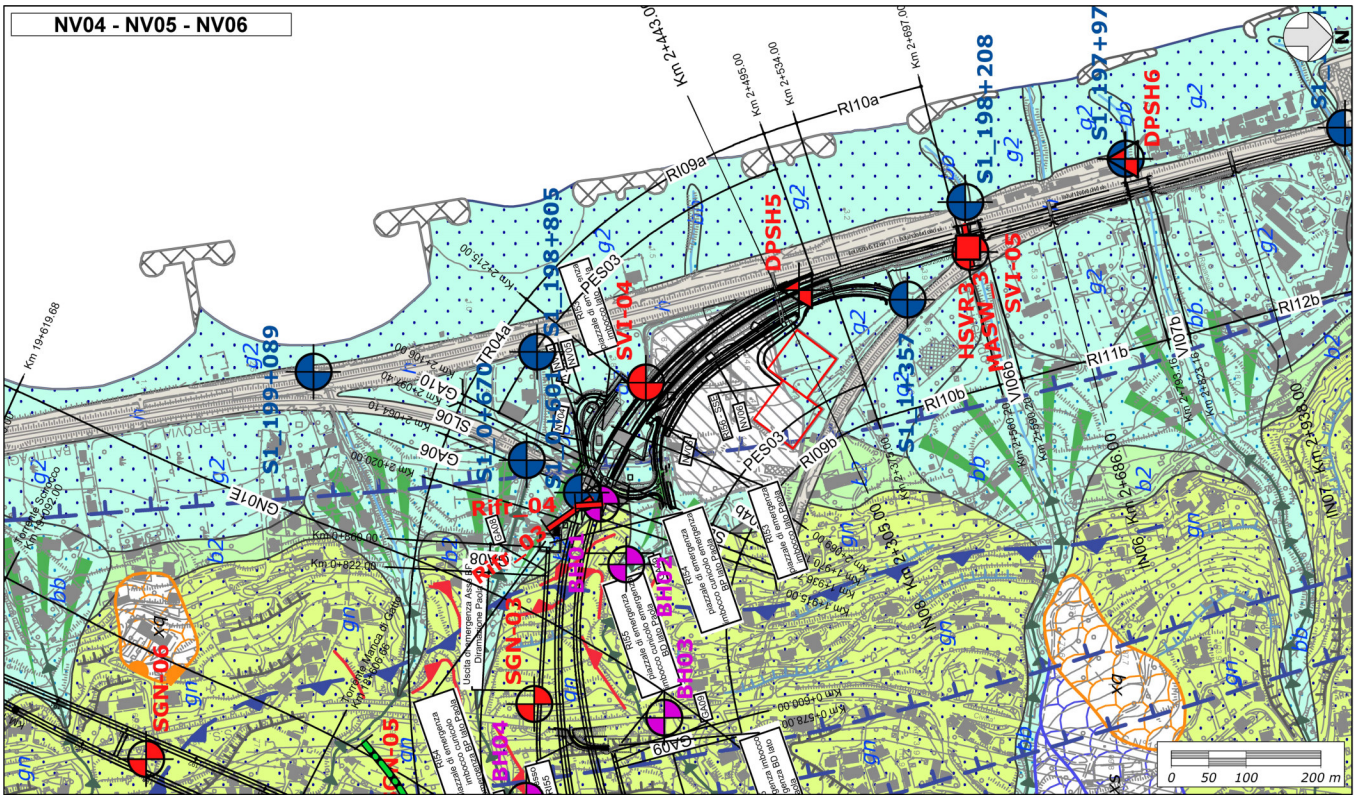


Figura 98 – Stralcio della carta geologica del tratto che comprende la nuova viabilità NV06.

15.3.7 Nuova viabilità NV07

Il tratto in questione si colloca nell'estrema porzione sud-occidentale dell'intera area di studio e interessa un settore prossimo alla costa, a sud del centro abitato di Paola e a nord del centro abitato di San Lucido. Le quote di progetto sono comprese tra circa 4 e 46 m circa s.l.m.. In questo settore è prevista la realizzazione di opere all'aperto.

Nel settore più meridionale, il tracciato attraversa per un breve tratto i Depositi alluvionali attuali e recenti (**bb**), con uno spessore limitato (Figura 99). Per circa metà del progetto il tracciato intercetta i Depositi marini terrazzati (**gn**) che caratterizzano il versante tirrenico della Catena Costiera, composti da terreni ghiaioso-sabbiosi con spessori compresi tra pochi metri e 35 metri circa. I suddetti depositi sono interessati da uno scivolamento in terra quiescente e poggiano in discordanza sui litotipi delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**), costituiti da depositi prevalentemente pelitici con locali passaggi arenacei e calcareo-marnosi. Nel settore nord-occidentale, prossimo alla costa, il tracciato attraversa i Depositi marini attuali e recenti (**g2**), localmente ricoperti dalle Coltri detritico-colluviali (**b2**) e dai Riporti antropici (**h**), con uno spessore massimo di circa 2 m.

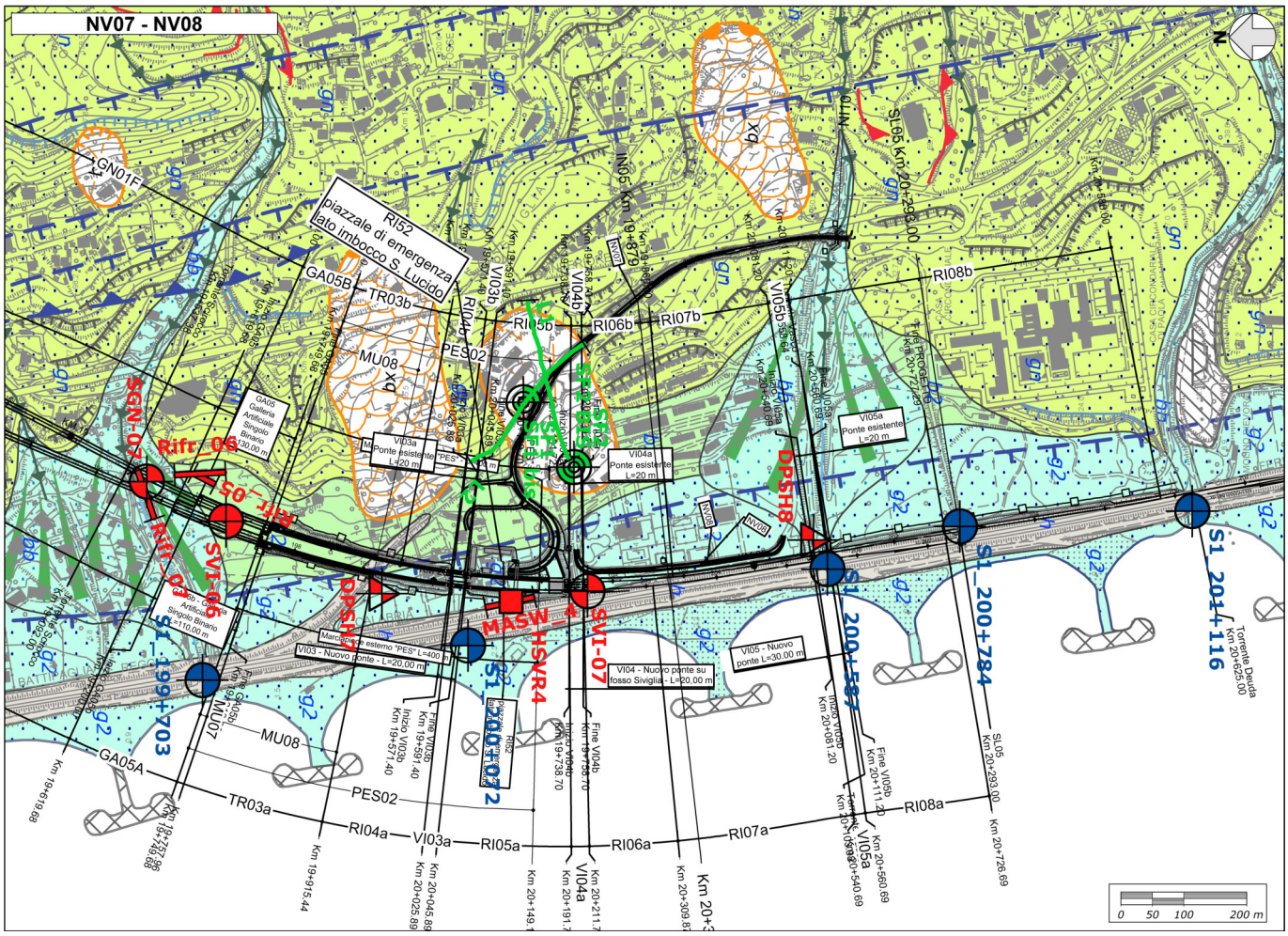


Figura 99 – Stralcio della carta geologica del tratto che comprende la nuova viabilità NV07.

Dal punto di vista geomorfologico il tracciato attraversa per buona parte del suo sviluppo un settore basso-collinare a media acclività, mentre solo nella porzione nord-occidentale è situato in una porzione di territorio sub-pianeggiante prossima alla costa. Il settore collinare è caratterizzato da un'incisione fluviale dovuta al ruscellamento concentrato delle acque meteoriche, che intercetta il tracciato nella porzione più meridionale. Tale incisione ha prodotto, nei settori più a valle, una estesa conoide alluvionale attualmente quiescente.

Nel settore centrale, il tracciato attraversa uno scivolamento in terra quiescente, con uno spessore di circa 8-10 m, così come evidenziato dalle stratigrafie di sondaggio e dalla geofisica di superficie. Il fenomeno interessa i Depositi marini terrazzati (**gn**) e la porzione più superficiale ed alterata delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**). Il movimento franoso presenta una lunghezza di circa 150 m e una larghezza di circa 280 m, coinvolgendo un'area di quasi 35000 m^2. A monte del tracciato in progetto è visibile una estesa zona di alimentazione con concavità verso valle, seguita da un esteso terrazzo di frana connesso al movimento rotazionale nella parte alta del pendio. Il piede di frana presenta una forma convessa e si estende fino ai settori di fondovalle, più a valle del tracciato. L'accumulo di frana è tagliato da numerose scarpate antropiche con altezza variabile tra 2 e 5 m. Ulteriori scarpate antropiche caratterizzano l'intero versante senza mai intercettare il tracciato in progetto. Non sono presenti indizi di

riattivazioni recenti del movimento franoso, mentre si notano sporadiche lesioni e cedimenti lungo la sede stradale esistente (immediatamente a valle della nicchia) e i muri a gravità (nella parte bassa del pendio).

Dal punto di vista idrogeologico si segnala la presenza di un'emergenza sorgentizia a monte della strada statale, parzialmente captata da un canale antropico ad uso irriguo. Si evidenzia, inoltre, la presenza di una falda freatica all'interno dei Depositi marini terrazzati (**gn**), parzialmente sorretta dai terreni poco permeabili del substrato argilloso-marnoso. Verso valle la falda è in comunicazione con le acque di saturazione presenti all'interno delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**) e tende a defluire in direzione della costa tirrenica. In corrispondenza delle strumentazioni appositamente realizzate (SF1 bis e SF2), il livello piezometrico posto a quote variabili tra 9.17 e 27.14 m s.l.m..

15.3.8 Nuova viabilità NV08

Il tratto in questione si colloca nell'estrema porzione occidentale dell'area di studio e interessa un settore prossimo alla costa, a sud del centro abitato di Paola e a nord del centro abitato di San Lucido. In questo settore è prevista la realizzazione di opere all'aperto, a quote terreno comprese tra 3 e 10 m circa s.l.m..

Il tracciato attraversa interamente i Depositi marini attuali e recenti (**g2**), composti principalmente da ghiaie e sabbie, con spessori compresi tra 5 e 15 m circa, in contatto stratigrafico discordante sui Depositi marini terrazzati (**gn**) (Figura 100). I suddetti termini litologici poggiano, in discordanza, sui litotipi delle Argille marnose del T. Lavandaio (**ALD**), costituiti da depositi prevalentemente pelitici. Tali terreni sono localmente ricoperti dai Riporti antropici (**h**) con uno spessore limitato.

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano elementi di particolare rilevanza per le opere in progetto, per l'assetto generalmente sub-pianeggiante dell'area.

Dal punto di vista idrogeologico, si evidenzia la presenza di una falda freatica posta all'interno dei terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi marini attuali e recenti (**g2**).

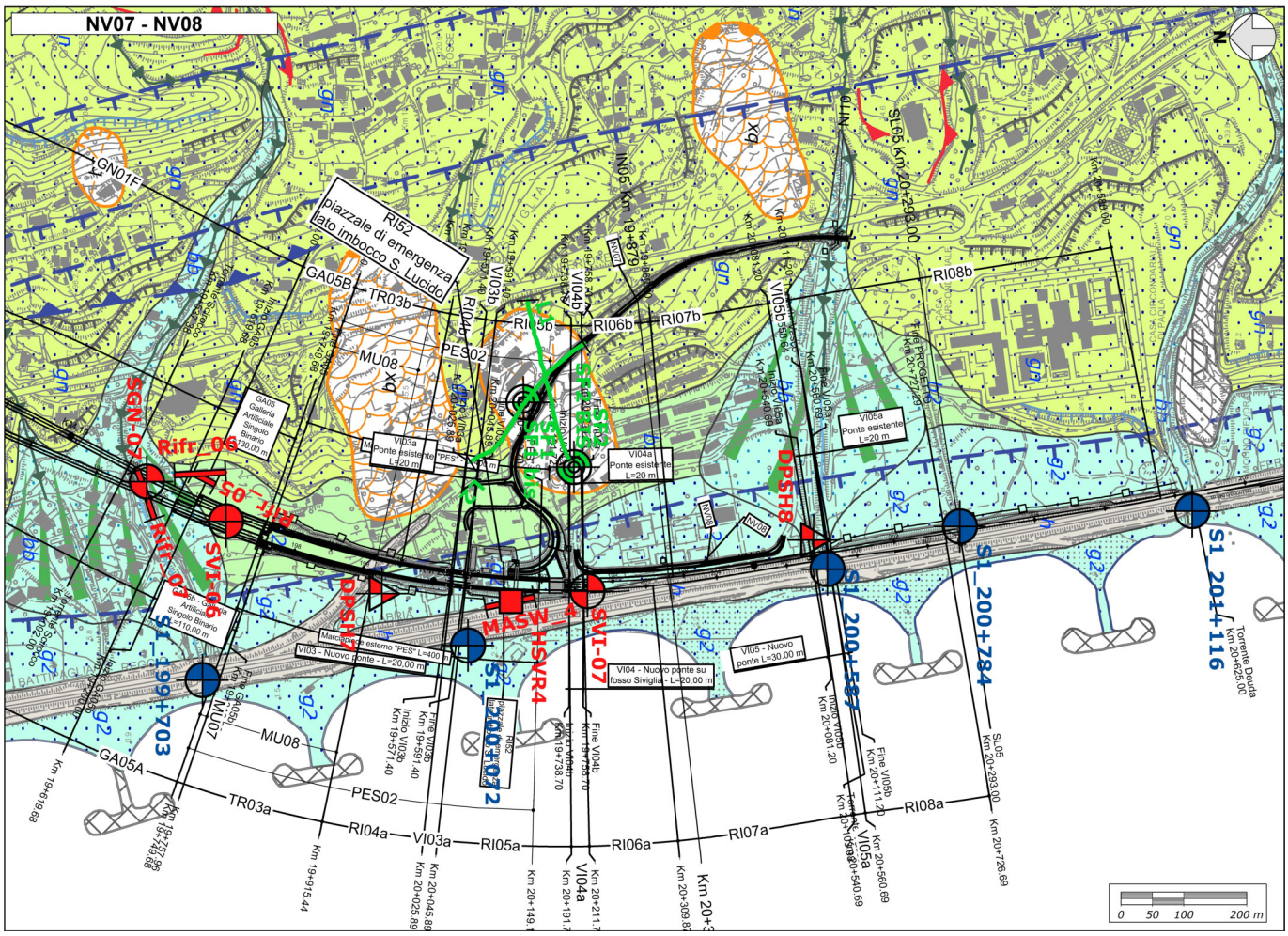


Figura 100 – Stralcio della carta geologica del tratto che comprende la nuova viabilità NV08.

16 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Allocca V., Celico F., Celico P., De Vita P., Fabbrocino S., Mattia S., Monacelli G., Musilli I., Piscopo V., Scalise A.R., Summa G., Tranfaglia G., 2007. Note illustrative della Carta idrogeologica dell'Italia meridionale (Responsabili Scientifici: Celico P., De Vita P., Monacelli G., Tranfaglia G. Celico P., De Vita P., Monacelli G., Tranfaglia G.). Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

Alvarez W., 1976. A former continuation of the Alps. Bulletin of the Geological Society of America 87: 891-896.

Amodio-Morelli L., Bonari G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippoliti F., Liguori V., Lorenzini S., Paglionico A., Perrone V., Piccarreta G., Russo M., Scandone P., Zanettin Lorenzini E., Zuppata A., 1976. L'arco Calabro-Peloritano nell'orogene Appenninico-Maghrebide. Memorie della Società Geologica Italiana 17: 1-60.

Antronico L., 1994. Dati storici preliminari su alcuni eventi franosi nell'area di Montalto Uffugo. CNR-IRPI, R.I. 382: 13, Rende.

APAT, 2007. Rapporto sulle frane in Italia: il Progetto IFFI. Metodologia, risultati e rapporti regionali. Rapporti Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici 78: 681.

Associazione Geotecnica Italiana, 1997. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. Servizi Grafici Editoriali, Padova.

Atkinson J., 1997. Geotecnica. Meccanica delle terre e fondazioni. McGraw-Hill, Milano.

Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale, 2001. Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico UoM regionale Calabria (ITR181) e UoM interregionale Lao (ITI016). Aggiornamento 2020.

Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E., 2008. he Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. Tectonophysics.

Bigi S., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P., 1992. Structural model of Italy. Scale 1:500000 (fogli 1-6). CNR - Progetto Finalizzato Geodinamica 114.

Bloise A., Critelli T., Catalano M., Apollaro C., Miriello D., Croce A., Barrese E., Liberi F., Piluso E., Rinaudo C., Belluso E., 2014. Asbestos and other fibrous minerals contained in the serpentinites of the Gimigliano-Mount Reventino Unit (Calabria, S-Italy). Environmental Earth Sciences 71: 3773-3786.

Bloise A., Punturo R., Catalano M., Miriello D., Cirrincione R., 2016. Naturally occurring asbestos (NOA) in rock and soil and relation with human activities: the monitoring example of selected sites in Calabria (southern Italy). Italian Journal of Geosciences 135: 268-279.

Blumetti A.M., Guerrieri L., Porfido S., 2015. Cataloguing the EEEs induced by the 1783 5th February Calabrian earthquake: implications for an improved seismic hazard. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia 97: 153-164.

Boenzi F., De Marco A., Loiacono F., Balenzano F., 1986. Osservazioni sugli ambienti fluviali Olocenici della media e bassa valle di alcuni fiumi Lucani. Memorie della Società Geologica Italiana 42: 191-196.

Bonardi G., Cello G., Perrone V., Tortorici L., Turco E., Zuppetta A., 1982. The evolution of the northern sector of the Calabria-Peloritani arc in a semiquantitative palynspastic restoration. Bollettino della Società Geologica Italiana 101: 259-284.

Bonardi G., Ciarcia S., Di Nocera S., Matano F., Sgrosso I., Torre M., 2009. Carta delle Principali Unità Cinematiche dell'Appennino Meridionale. Nota Illustrativa. Bollettino della Società Geologica Italiana 128: 47-60.

Bonardi G., D'Argenio B., Perrone V., 1988. Carta geologica dell'Appennino Meridionale alla scala 1:250000. Memorie della Società Geologica Italiana 41: 1341.

Bonardi G., Giunta G., Liguori V., Perrone V., Russo M., Zuppetta A., 1976. Schema geologico dei Monti Peloritani. Bollettino della Società Geologica Italiana 95: 49-74.

Bonardi G., Giunta G., Perrone V., Russo M., Zuppetta A., Ciampo G., 1980. Osservazioni sull'evoluzione dell'arco calabro-peloritano nel Miocene inferiore: la Formazione di Stilo-Capo d'Orlando. Bollettino della Società Geologica Italiana 99: 365-393.

Bonci L., Calcaterra S., Cesi C., Gambino P., Gullà G., Niceforo D., Merli K., Sorriso Valvo M., 2010. Displacements on a slope affected by deep-seated gravitational slope deformation: Greci slope (Lago, Calabria, Italy). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 33: 141-153.

Bordoni P., Valensise G., 1998. Deformation of the 125 ka marine terrace in Italy: tectonic implications. In: Stewart, I.S., Vita-Finzi, C. (Eds.), Coastal Tectonics Geological Society, London Special Publications 146: 71-110.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise L., Gasperini P., 2000. Catalogue of strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997. Annali di Geofisica 43: 609-868.

Bosellini A., Mutti E., Ricci Lucchi F., 1989. Rocce e successioni sedimentarie. Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino.

Brancaccio L., Vallario A., 1968. Osservazioni geomorfologiche nel tratto di costa compreso tra le foci dei fiumi Noce-Castrocucco e Lao (Cosenza). Bollettino della Società dei Naturalisti in Napoli 77: 303-325.

Brozzetti F., Cirillo D., Liberi F., Piluso E., Faraca E., De Nardis R., Lavecchia G., 2017. Structural style of Quaternary extension in the Crati Valley (Calabrian Arc): Evidence in support of an east-dipping detachment fault. Italian Journal of Geosciences 136(3): 434-453.

Bruschi A., 2004. Meccanica delle rocce nella pratica geologica ed ingegneristica. Dario Flaccovio Editore.

Bruschi A., 2010. Prove geotecniche in situ. Guida alla stima delle proprietà geotecniche e alla loro applicazione alle fondazioni. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Butler B.C.M., Bell J.D., 1996. Lettura e interpretazione delle carte geologiche. Zanichelli Editore, Bologna.

Cai M., Kaiser P.K., Uno H., Tasaka Y., Minami M., 2004. Estimation of Rock Mass Deformation Modulus and Strength of Jointed Hard Rock Masses Using the GSI System. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 41: 3-19.

Calcaterra D., Parise M., 2010. Weathering in the crystalline rocks of Calabria, Italy, and relationshiops to landslides. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications 23(1): 105-130.

Campopiano A., Olori A., Spadafora A., Bruno M.S., Angelosanto F., Iannò A., Casciardi S., Giardino R., Conte M., Oranges T., Iavicoli S., 2018. Asbestiform minerals in ophiolitic rocks of Calabria (southern Italy). International Journal of Environmental Health Research 28: 134-146.

Canuti P., Esu F., 1995. Glossario Internazionale per le frane. Rivista Italiana di Geotecnica 2: 143-150.

Carobene L., Dai Pra G., 1990. Genesis, chronology and tectonics of the Quaternary marine terraces of the Tyrrhenian coast of northern Calabria (Italy). Their correlation with climatic variations. Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences 3(2): 75-94.

Carobene L., Dai Pra G., Gewelt M., 1986. Niveaux marins du Pléistocène moyen-supérieur de la côte tyrrhénienne de la Calabre (Italie méridionale). Datations Th 230/U 234 et tectonique récente in Dating Mediterranean shorelines. Zeitschrift für Geomorphologie 62: 141-158.

Carrara A., Sorriso-Valvo M. & Reali C., 1982. Analysis of landslide form and incidence by statistical techniques. Catena 9: 35-62.

Carrara C., Selva L., 1982. Significato paleotettonico delle porzioni conglomeratiche di formazioni terrigene nell'Appennino meridionale. Memorie della Società Geologica Italiana 24: 209-216.

Carraro F., 2012. Geologia del Quaternario. L'evoluzione geologica degli ambienti superficiali. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Casadio M., Elmi C., 1999. Il manuale del geologo. Pitagora Editrice, Bologna.

Casagrande A., 1948. Classification and identification of soils. Transactions of the American Society of Civil Engineers 113: 901-930.

Casati P., 1991. Scienze della terra. Città Studi Edizioni.

Castiglioni G.B., 1991. Geomorfologia (seconda edizione). Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino.

Celico P., 1983. Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionale, Abruzzo, Molise e Campania). Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno 4: 1-225.

Celico P., De Vita P., Aloia A., 1993. Caratterizzazione idrogeologica della Formazione di Monte Sacro (Cilento - Campania meridionale). Geologia Applicata e Idrogeologia 28: 243-252.

Cestari F., 1996. Prove geotecniche in sito. Italgrafica Segale, Segrate.

Chiarabba C., De Gori P., Speranza F., 2008. The southern Tyrrhenian subduction zone: Deep geometry, magmatism and Plio-Pleistocene evolution. Earth and Planetary Science Letters 268: 408-423.

Chiodo G., Dramis F., Gervasi A., Guerra I., Sorriso-Valvo M., 1999. Frane sismo-indotte e pericolosità di sito: Primi risultati dello studio degli effetti di forti terremoti storici in Calabria centro-settentrionale. Atti del 18° Convegno Nazionale GNGTS.

Ciaranfi N., Ghisetti F., Guida M., Iaccarino G., Lambiase S., Pieri P., Rapisardi L., Ricchetti G., Torre M., Tortorici L.E., Vezzani L., 1983. Carta Neotettonica dell'Italia meridionale. CNR - Progetto Finalizzato Geodinamica: 515.

Ciarcia S., Torre M., Di Nocera S., Basso C., Matano F., 2003. Carta geologica del settore Irpino-Dauno dell'Appennino meridionale. Geologica in scala 1:60000.

Cinque A., Ascione A., Caiazzo C., 2000. Distribuzione spazio-temporale e caratterizzazione della fagliazione quaternaria in Appennino meridionale. CNR-GNDT: 203-218.

CNR-PFG, 1985. Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980. In: Postpischl D. (ed), CNR-PFG V. 2B, Bologna.

Colella A., 1987. Pliocene-Olocene fan-deltas and braid deltas in the Crati basin, southern Italy: a conseguence of varying tectonic conditions. in: Nemec W. & Steel R.J. (eds), Fan deltas: sedimentology and tectonic setting: 61-85.

Colella A., 1988. Gilbert type fan deltas in the Crati basin (Pliocene-Holocene, Southern Italy). International Workshop on Fan Deltas, Calabria, Italy.

Colella A., De Boer P.L., Nio S.D., 1987. Sedimentology of a marine intermontane Pleistocene Gilbert-type fan-delta complex in the Crati Basin, Calabria, Southern Italy. Sedimentology 34: 721-736.

Colombo P., Colleselli F., 1996. Elementi di geotecnica (seconda edizione). Zanichelli Editore, Bologna.

Colonna V., Compagnoni R., 1982. Guida all'escursione sulle unità cristalline della Catena Costiera (Calabria). Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia 38: 1141-1152.

Cremonini G., 1994. Rilevamento geologico. Realizzazione e interpretazione delle carte geologiche. Pitagora Editrice, Bologna.

Critelli S., 1999. The interplay of lithospheric flexure and thrust accomodation in forming stratigraphic sequences in the southern Apennines foreland basin system, Italy. Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei 10: 257-326.

Cruden D.M., Varnes D.J., 1993. Landslides: investigation and mitigation chapter 3: landslide type and process. National Academy of sciences.

Cruden D.M., Varnes D.J., 1996. Landslide types and processes. In: Turner A.K., Schuste R.L. (eds) Landslide investigation and mitigation, special report 247, National Academy of Sciences: 36-75.

Damiani A.V., Pannuzzi L., 1978. Terrazzi marini e neotettonica pleistocenica della costa tirrenica calabro-lucana tra Maratea e Cetraro. Memorie della Società Geologica Italiana 19: 597-604.

De Vita P., Allocca V., Celico F., Fabbrocino S., Mattia C., Monacelli G., Musilli I., Piscopo V., Scalise A.R., Summa G., Tranfaglia G., Celico P., 2018. Hydrogeology of continental southern Italy. Journal of Maps 14 (2): 230-241.

Di Nocera S., Ortolani F., Russo M., Torre M., 1974. Successioni Sedimentarie Messiniane e Limite Miocene-Pliocene nella Calabria Settentrionale. Bollettino della Società Geologica Italiana 93: 575-607.

Di Nocera S., Ortolani F., Torre M., 1976. Fase tettonica messiniana nell'Appennino meridionale. Bollettino della Società dei Naturalisti di Napoli 84: 1-17.

Discenza M.E., Esposito C., 2021. State-of-art and remarks on some open questions about DSGSDs: Hints from a review of the scientific literature on related topics. Italian Journal of Engineering Geology and Environment 1: 31-59.

DISS Working Group, 2021. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0.: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. http://diss.rm.ingv.it/diss/. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Dramis F., Bisci C., 1997. Cartografia geomorfologica. Pitagora Editrice, Bologna.

Fabbri M., Garbin F., Lanzini M., Scarapazzi M., 2007. Interpretazione dei parametri geotecnici di laboratorio. Di Virgilio Editore, Roma.

Faccenna C., Civetta L., D'Antonio M., Funiciello F., Margheriti L., Piromallo C., 2005. Constraints on mantle circulation around the deforming Calabrian slab. Geophysical Research Letters 32.

Filice F., Liberi F., Cirillo D., Pandolfi L., Marroni M., Piluso E., 2015. Geology map of the central area of Catena Costiera: insights into the tectono-metamorphic evolution of the Alpine belt in Northern Calabria. Journal of maps 11(1): 114-125.

Finetti I., Lentini F., Carbone S., Catalano S., Del Ben A., 1996. Il Sistema Appennino Meridionale - Arco Calabro - Sicilia nel Mediterraneo Centrale: Studio Geologico-Geofisico. Bollettino della Società Geologica Italiana 115: 529-559.

Finetti I.R., 2005. The Calabrian Arc and subducting Ionian slab from new CROP seismic data. in: I. R. Finetti (ed.), CROP Project: deep seismic exploration of the Central Mediterranean and Italy, Elsevier.

Galli P., Bosi V., 2002. Paleoseismology along the Cittanova fault: Implications for seismotectonics and earthquake recurrence in Calabria (southern Italy). Journal of Geophysical Research: 107.

Galli P., Scionti V., Spina V., 2007. New Paleoseismic Data from the Lakes and Serre Faults: Seismotectonics Implications for Calabria (Southern Italy). Bollettino della Società Geologica Italiana 126: 347-364.

Gargini A., De Nardo M.T., Piccinini L., Segadelli S., Vincenzi V., 2014. Spring discharge and groundwater flow systems in sedimentary and ophiolitic hard rock aquifers: Experiences from Northern Apennines (Italy). Fractured Rock Hydrogeology 20: 129-146.

Gasparini C., Iannacone G., Scandone P., Scarpa R., 1982. Seismotectonics of the Calabrian Arc. Tectonophysics 82: 267-286.

Goodman R.E., 1989. Introduction to rock mechanics. John Wiley and Sons.

Goodman R.E., Moye D.G., Van Schalkmyk A., Javandel I., 1965. Ground water inflow during tunnel driving. Engineering Geology 2(1): 39-56.

Griffith A.A., 1920. The phenomena of rupture and flow in soils. Philosophical Transactions for the Royal Society of London 221: 163-198.

Guerra I., 1986. Osservazioni strumentali della sismicità della Calabria. Atti 5° Conv. Ann. Gr. Naz. Geofis. Terra Solida: 525-536.

Guerra I., 1999. Il database delle faglie capaci della Calabria: stato attuale delle conoscenze. GNDT - Progetto 5.1.2 "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili".

Guerricchio A., Ronconi M.L., 1997. The geomorphic modifications produced by the 1783 Calabrian earthquakes on the coastal slope of S. Lucido (Tyrrhenian Calabria). Geologia Applicata e Idrogeologica 32: 99-120.

Hallam A., 1985. Interpretazione delle facies e stratigrafia. Pitagora Editrice, Bologna.

Hoek E., 1983. Strength of jointed rock masses. Géotechnique 33: 187-223.

Hoek E., 1994. Strength of rock and rock masses. ISRM News Journal 2(2): 4-16.

Hoek E., Brown E.T., 1980. Empirical strength criterion for rock masses. Journal of the Geotechnical Engineering Division 106 (GT9): 1013-1035.

Hoek E., Brown E.T., 1997. Practical Estimates of Rock Mass Strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 34: 1165-1186.

Hoek E., Brown E.T., 2018. The Hoek-Brown failure criterion and GSI-2018 edition. Journal of Rock Mechanics and geotechnical Engineering: 1-19.

Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S., 2013. Quantification of the geological strength index chart Proceedings of the 47th US rock mechanics/geomechanics symposium. American Rock Mechanics Association: 672.

Hoek E., Marinos P., 2000. GSI: a geologically friendly tool for mass strength estimation. Proceeding of GeoEng 2000 Conferece, Melbourne, Australia.

Hoek E., Marinos P., Benissi M., 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses. The Case of the Athens Schist Formation. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 57: 151–160.

Hungr O., Leroueil S., Picarelli L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides 11: 167-194.

Hutchinson J.N., 1985. Mass movements. In: Fair Bridge R.W. (ed): Encyclopedia of Geomorphology: 688-695.

Hutchinson J.N., 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings of 5th International Symposium on Landslide: 10-15.

Iannace A., Vitale S., D'Errico M., Mazzoli S., Di Staso A., Macaione E., Messina A., Reddy S.M., Somma R., Zamparelli V., Zattin M., Bonardi G., 2007. The carbonate tectonic units of northern Calabria (Italy): a record of Apulian palaeomargin evolution and Miocene convergence, continental crust subduction, and exhumation of HP–LT rocks. Journal of the Geological Society 164: 1165-1186.

International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI), 1993. A suggested method for describing the activity of a landslide. Bulletin of the International association of engineering geology 47: 53-57.

International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI), 1995. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bulletin of the International association of engineering geology 52: 75-78.

ISRM, 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 15: 319-368.

ISRM, 1993. Metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità nelle masse rocciose. Rivista Italiana di Geotecnica 2: 151-197.

ITHACA Working Group, 2019. ITHACA (ITaly HAzard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. Web Portal http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx. ISPRA Geological Survey of Italy.

Ladd C.C., Foott R., Ishihara K., Schlosser F., Poulos H.G., 1977. Stress-deformation and strength characteristics. SOA Report, Proceedings of IX ICSMFE, Tokyo 2: 421-494.

Lambe T.W., Whitman R.V., 1997. Meccanica dei terreni. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Lancellotta R., 2004. Geotecnica (terza edizione). Zanichelli Editore, Bologna.

Lanzafame G., Spadea P., Tortorici L., 1979. Mesozoic ophiolites of northern Calabrian and Lucanian Apennine (southern Italy). Ofioliti 4: 173-182.

Lanzafame G., Tortorici L., 1980. Le successioni giurassico-eoceniche dell'area compresa tra Bocchigliero, Longobucco e Cropalati (Calabria). Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia 86: 31-54.

Lanzafame G., Tortorici L., 1981. La tettonica recente della Valle del Fiume Crati (Calabria). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 4: 11-22.

Lanzafame G., Zuffa G., 1976. Geologia e petrografia del Foglio di Bisignano (bacino del F. Crati, Calabria). Geologica Romana 15: 223-270.

Lentini F., Carbone S., Catalano S., 1994. Main structural domains of the Central Mediterranean Region and their Neogene tectonic evolution. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata 36(141): 103-125.

Lentini F., Carbone S., Catalano S., Grasso M., 1995. Principali lineamenti strutturali della Sicilia nord-orientale. Studi Geologici Camerti vol. spec. 2: 319-329.

Lentini F., Vezzani L., 1975. Le unità meso-cenozoiche della copertura sedimentaria del basamento cristallino peloritano (Sicilia nord-orientale). Bollettino della Società Geologica Italiana 94: 537-554.

Liberi F., Piluso E., 2009. Tectonometamorphic Evolution of the Ophiolitic Sequences from Northern Calabrian Arc. Bollettino della Società Geologica Italiana 128: 483-493.

Lindeburg M.R., 1989. Civil Engineering Reference Manual. Belmont: Professional Publications.

Lo Giudice E., 1988. Particolari aspetti del rischio sismico nell'area Etnea". Atti del Convegno Internazionale di Studio -L'organizzazione territoriale delle aree sismiche e vulcaniche, Zafferana E.: 59-85.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A., 2022. Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Malinverno A., Ryan W.B.F., 1986. Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines ad result of arc migration driven by sinking of the lithosphere. Tectonics 5: 227-245.

Marinos V., Marinos P., Hoek E., 2007. The geological strength index (GSI): a characterization tool for assessing engineering properties for rock masses. In: Olalla C. Perucho A., Romana M. (eds) Proceedings of the ISRM workshop W1: Madrid, Spain. Taylor & Francis: 328-337.

Matano F., Tansi C., 1994. Influenza delle strutture tettoniche sul profilo d'alterazione e sulla franosità negli gneiss dell'area di San Pietro in Guarano (Calabria Settentrionale). Geologica Romana 30: 361-370.

Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1.

Meletti C., Valensise G., 2004. Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo. Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Monaco C., Tortorici L., 1995. Tectonic role of ophiolite-bearing terranes in the development of the Southern Apennines orogenic belt. Terra nova 7(2): 153-160.

Moretti A., Guerra I., 1997. Tettonica dal Messiniano ad Oggi in Calabria: Implicazioni sulla Geodinamica del Sistema Tirreno-Arco Calabro. Bollettino della Società Geologica Italiana 116: 125-142.

Murphy W., 1992. Seismically induced landslides, Calabria, southern Italy. UK, University College of London.

Muto F., Robustelli G., Scarciglia F., Spina V., Critelli S., 2003. Geomorphology, Tectonics and Sedimentology of Late Quaternary Fans between Guardia Piemontese and Paola (Tyrrhenian Coast of Calabria, Southern Italy). Il Quaternario 16: 217-229.

Ogniben L., 1969. Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano. Memorie della Società Geologica Italiana 8: 453-763.

Ogniben L., 1973. Carta del modello strutturale d'Italia. Fogli Sud n. 1-2, scala 1:1000000, Roma.

Ogniben L., 1973. Schema geologico della Calabria, in base ai dati odierni. Geologica Romana 12: 243-585.

Ogniben L., 1985. Relazione sul modello geodinamico "conservativo" della regione italiana. ENEA, Roma 357.

Ortolani F., 1978. Alcune considerazioni sulle fasi tettoniche mioceniche e plioceniche dell'Appennino meridionale. Bollettino della Società Geologica Italiana 97: 609-616.

Pánek T., 2020. Landslides and Related Sediments. Earth Systems and Environmental Sciences: 1-22.

Pasquarè G., Abbate E., Castiglioni G.B., Merenda M., Mutti E., Ortolani F., Parotto M., Pignone R., Polino R., Sassi F.P., 1992. Carta geologica d'Italia 1:50000, Guida al Rilevamento. Quaderni serie III 1: 203.

Patacca E., Scandone P., 1989. Post-Tortonian mountain building in the Apennines, the role of the passive sinking of a relic lithospheric slab. In: The Lithosphere in Italy - Advances in Earth Science Research. Atti dei convegni Lincei 80: 157-176.

Pennetta M., 1996. Margine Tirrenico Orientale: Morfologia e Sedimentazione Tardo Pleistocenica-Olocenica del Sistema Piattaforma Scarpata Continentale tra Capo Palinuro e Paola. Bollettino della Società Geologica Italiana 115: 339-354.

Pepe F., Sulli A., Bertotti G., Cella F., 2010. Architecture and Neogene to Recent evolution of the western Calabrian continental margin: An upper plate perspective to the Ionian subduction system, central Mediterranean. Tectonics 29.

Pescatore T., Renda P., Tramutoli M., 1988. Rapporti tra le unità lagonegresi e le unità sifilidi nella media valle del Basento, Lucania (Appennino meridionale). Memorie della Società Geologica Italiana 41: 353-361.

Pierattini D., Scandone P., Cortini M., 1975. Età di messa in posto ed età di metamorfismo delle “Limburgiti” nord calabresi. Bollettini della Società Geologica Italiana 94: 367-376.

Piluso E., Cirrincione R., Morten L., 2000. Ophiolites of the Calabrian Peloritan Arc and their relationship with the cristalline basement (Catena Costiera and Sila Piccola, Calabria, Southern Italy). Ofioliti 25: 117-140.

Piluso E., Morten L., 2004. Hercynian High Temperature Granulites and Migmatites from the Catena Costiera, Northern Calabria, Southern Italy. Periodico di Mineralogia 73: 159-172.

Poulos H.G., Davis E.H., 1974. Elastic solutions for soil and rock mechanics. John Wiley and Sons, New York.

Praeg, D., Ceramicola, S., Barbieri, R., Unnithan, V., Wardell, N., 2009. Tectonically driven mud volcanism since the late Pliocene on the Calabrian accretionary prism Central Mediterranean Sea. Marine and Petroleum Geology 26: 1849-1865.

Punturo R., Bloise A., Critelli T., Catalano M., Fazio E., Apollaro C., 2015. Environmental implications related to natural asbestos occurrences in the ophiolites of the Gimigliano-Mount Reventino Unit (Calabria, Southern Italy). International Journal of Environmental Research 9: 405-418.

Punturo R., Fiannacca P., Lo Giudice A., Pezzino A., Cirrincione R., Liberi F. & Piluso E., 2004. Le Cave storiche della “Pietra Verde” di Gimigliano e Monte Reventino (Calabria): studio petrografico e geochimico. Bollettino della Società Gioenia di Scienze Naturali 37: 37-59.

Rauch A.F., 1998. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using Cone Penetration Test. Canadian Geotechnical Journal 35: 442-459.

Regione Calabria, 2001. Progetto del Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico. Carta dei vincoli, tavola 9.

Regione Calabria, 2009. Piano di Tutela delle Acque. SOGESID S.p.A., Servizio Tutela Acque Regione Puglia.

Ricci Lucchi F., 1980. Sedimentologia. Cooperativa Libraria Universitaria Editrice, Bologna.

Riga G., 2007. La liquefazione dei terreni. Analisi, valutazione, calcolo. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Rizzo V., Bozzo C., 1998. Problematiche di geologia applicata nella realizzazione della galleria ferroviaria Paola-Cosenza. GEAM Geoingegneria Ambientale e Mineraria, Suppl. 21 (1): 13-18.

Robertson P.K., Wride C.E., 1998. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal 35: 442-459.

Ross M., Nolan R.P., 2003. History of asbestos discovery and use and asbestos-related disease in context with the occurrence of asbestos within ophiolite complexes. Geological Society of America Bulletin Special Papers 2003: 447-470.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Scandone P., 1979. Origin of the Tyrrhenian Sea and Calabrian Arc. Bollettino della Società Geologica Italiana 98: 27-34.

Scesi L., Papini M., Gattinoni P., 2003. Geologia applicata. Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

Schmid S.M., Fugenschuh B., Kissling E., Schuster R., 2004. Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. Eclogae Geologicae Helvetiae 97: 93-117.

Scionti V., Chiodo G., Galli P., 2004. La sismicità nella Calabria a cavallo del viceregno: silenzio delle fonti o sorgenti silenti?. Il caso del forte terremoto del 1744. GNGTS, XXIII Convegno Nazionale: 151-154.

Seed H.B., Idriss I.M., 1982. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland.

Skempton A.W., 1986. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation. Géotechnique 36: 425-447.

Sorriso-Valvo M., Tansi C., 1996. Attività Franosa in Relazione all'Attività Tettonica Recente nella Media Valle del Fiume Crati. Il Quaternario 9: 345-352.

Sorriso-Valvo M., Tansi C., 1996. Grandi frane e deformazioni gravitative profonde di versante della Calabria. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 19: 395-408.

Sorriso-Valvo M., Tansi C., Antronico L., 1996. Relazioni tra Frane, Forme del Rilievo e Strutture Tettoniche nella Media Valle del Fiume Crati (Calabria). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 19: 107-117.

Spina V., Tondi E., Mazzoli S., 2011. Complex basin development in a wrench-dominated back-arc area: Tectonic evolution of the Crati Basin, Calabria, Italy. Journal of Geodynamics 51: 90-109.

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Valensise G., 2004. Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Tansi C., 1993. Definizione del “pattern” strutturale della fascia compresa tra San Fili e Montalto Uffugo (CS). Riflessi dell’asseto tettonico sui movimenti gravitativi. CNR, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica di Cosenza, Rapporto interno 385.

Tansi C., Fòlino Gallo M., 2006. La frana di Cavallerizzo di Cerzeto (CS) del 7 marzo 2005. Geologi Calabria: 4-13.

Tansi C., Gallo F., Muto F., Perrotta P., Russo L., Critelli S., 2016. Seismotectonics and landslides of the Crati Graben (Calabrian Arc, Southern Italy). Journal of Maps 12: 363-3372.

Tansi C., Iovine G., Gallo M.F., 2005. Tettonica Attiva e Recente, e Manifestazioni Gravitative Profonde, lungo il Bordo Orientale del Graben del Fiume Crati (Calabria Settentrionale). Bollettino della Società Geologica Italiana 124: 563-578.

Tansi C., Muto F., Critelli S., Iovine G., 2007. Neogene-Quaternary strike-slip tectonics in the central Calabrian Arc (southern Italy). Journal of Geodynamics 43: 393-414.

Tanzini M., 2001. Fenomeni franosi e opere di stabilizzazione. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Tanzini M., 2001. Gallerie: Aspetti geotecnici nella progettazione e costruzione. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Tanzini M., 2002. L'indagine geotecnica. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Terzaghi K., 1943. Theoretical soil mechanics. John Wiley and Sons, New York.

Terzaghi K., 1950. Mechanism of Landslides. Geological Society of America Bulletin (Berkley): 83-123.

Torre M., Di Nocera S., Ortolani F., 1988. Evoluzione post-tortoniana nell'Appennino meridionale. Memorie della Società Geologica Italiana 41: 47-56.

Tortorici L., 1979. Osservazioni microtettoniche sulle deformazioni rigide dei sedimentari miocenici della Catena costiera tirrenica (Calabria). Rendiconti della Società Geologica Italiana 2: 33-35.

Tortorici L., 1982. Lineamenti geologico-strutturali dell'arco calabro-peloritano. Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia 38(3): 927-940.

Tortorici L., Monaco C., Tansi C., Cocina O., 1995. Recent and Active Tectonics in the Calabrian Arc (Southern Italy). Tectonophysics 243: 37-55.

Vai G.B., 1992. Il segmento Calabro-Peloritano nell'orogene ercinico. Disaggregazione palinspastica. Bollettino della Società Geologica Italiana 111: 109-129.

Vallario A., 1992. Frane e territorio. Le frane nella morfogenesi dei versanti e nell'uso del territorio. Liguori Editore, Napoli.

Van Dijk J.P., Bello M., Brancaleoni G.P., Cantarella G., Costa V., Frixa A., Golfetto F., Merlini S., Riva M., Torricelli S., Toscano C., Zerilli A., 2000. A regional structural model for the northern sector of the Calabrian Arc (southern Italy). Tectonophysics 324: 267-320.

Van Dijk J.P., Scheepers P.J.J., 1995. Neotectonic rotations in the Calabrian Arc: implications for a Pliocene-Recent geodynamic scenario for the Central Mediterranean. Earth Science Reviews 39: 207-246.

Varnes D.J., 1978. Slope movement types and processes. Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington.

Vespasiano G., Apollaro C., De Rosa R., Muto F., Larosa S., Fiebig J., Mulch A., Marini L., 2015. The Small Spring Method (SSM) for the definition of stable isotope-elevation relationships in Northern Calabria (Southern Italy). Applied Geochemistry 63: 333-346.

Vespasiano G., Apollaro C., Muto F., Dotsika E., De Rosa R., Marini L., 2014. Chemical and isotopic characteristics of the warm and cold waters of the Luigiane Spa near Guardia Piemontese (Calabria, Italy) in a complex faulted geological framework. Applied geochemistry 41: 73-88.

Vignaroli G., Rossetti F., Belardi G., Billi A., 2011. Linking rock fabric to fibrous mineralization: a basic tool for the asbestos hazard. Natural Hazards and Earth System Sciences 11: 1267-1280.

Vittori E., Maschio L., Ferreli L., Michetti A.M., Serva L., 1997. Carta e Base Dati delle Faglie Capaci per l'Italia Centro-Meridionale: Presentazione e Stato di Avanzamento del Progetto Ithaca. Il Quaternario 10: 305-312.

Westaway R., 1993. Quaternary uplift of southern Italy. Journal of Geophysical Research 98: 21741-21772.

Zakrzewska A.M., Capone P.P., Iannò A., Tarzia V., Frijia A., Campopiano A., Olori A., Basili F., 2007. Affioramenti ofiolitici in Calabria. In: anfiboli fibrosi: nuove problematiche relative al rischio ambientale e sanitario: 140-142.

Zaruba Q., Mencl V., 1982. Landslides and their control. Elsevier, Amsterdam, Academia-Praha, 2nd ed..

Zischinsky U., 1966. On the deformation of high slopes. Proceedings, 1st. Congress of the International Society of Rock Mechanics 2: 179-185.