

S.S. 106 "JONICA"

Variante all' abitato di Palizzi della SS 106 Jonica
2° LOTTO dal Km 49+485 al Km 51+750
Lavori di completamento della carreggiata di valle
(II° Stralcio funzionale)

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTISTA / DIRETTORE DEI LAVORI:

Ing. Antonio DIENI

Ordine Ingegneri di Reggio Calabria n.2038



GEOLOGO / RESPONSABILE AMBIENTALE:

Geol. Mimmo PRESTA

Albo Geol. della Regione Calabria n.371

Visto: il Responsabile Unico del Procedimento

Ing. Antonella PIRROTTA

STUDI GENERALI E INDAGINI

Geologia e Idrogeologia

Relazione geologica

CODICE PROGETTO

DP CZ0301 E18

NOME FILE

T00GE00GEORE01_D.dwg

FOGLIO

- - DI - -

SCALA:

-

CODICE ELAB.

T00GE00GEORE01D

EMISSIONE

DESCRIZIONE

DATA

REV. 0	PRIMA EMISSIONE	Sett. 2018
REV. 1	AGGIORNAMENTO SITI DI DEPOSITO	Ott. 2018
REV. 2	EMISSIONE	Ott. 2020
REV. 3	EMISSIONE	Lug. 2021

INDICE

1.	<u>Introduzione</u>	4
2.	<u>Riferimenti normativi</u>	7
3.	<u>Inquadramento geografico</u>	9
4.	<u>Schema geologico-strutturale generale</u>	10
	<u>4.1 La Calabria Meridionale</u>	12
	<u>4.1.1 Evoluzione tettonica dal Messiniano al Pleistocene e sue implicazioni stratigrafiche</u>	14
	<u>4.1.2 Evoluzione tettonico - dinamica attuale</u>	16
5.	<u>Inquadramento geologico-strutturale dell'area di studio</u>	18
	<u>5.1 La deformazione duttile</u>	19
	<u>5.2 Assetto stratigrafico-giaciturale dei sedimenti terziari e quaternari</u>	22
	<u>5.3 La deformazione fragile</u>	23
	<u>5.3.1 Classificazione delle zone di faglia</u>	24
	<u>5.3.2 I sistemi di faglie e di fotolineamenti</u>	28
	<u>5.3.3 Le principali faglie che interessano il tracciato dell'opera</u>	30
	<u>5.3.4 I sistemi di giunti</u>	36
6	<u>Successione stratigrafica locale</u>	40
	<u>6.1 Il basamento cristallino (Paleozoico)</u>	40
	<u>6.2 La sequenza sedimentaria di copertura (Miocene – Pleistocene)</u>	43
	<u>6.2.1 Le formazioni del Miocene Inferiore</u>	43
	<u>6.2.2 Il ciclo Serravalliano – Tortoniano</u>	44
	<u>6.2.3 Le formazioni plioceniche</u>	45

<u>6.2.4</u>	<u>I depositi pleistocenici</u>	<u>47</u>
<u>6.2.5</u>	<u>I depositi Olocenici</u>	<u>48</u>
<u>7</u>	<u>Schema Geomorfologico</u>	<u>52</u>
<u>7.1</u>	<u>Area indagata e metodo di indagine</u>	<u>52</u>
<u>7.1.1</u>	<u>Elementi di carattere geomorfologico</u>	<u>53</u>
<u>7.1.1.1</u>	<u>Attività di versante</u>	<u>53</u>
<u>7.1.1.2</u>	<u>Attività fluvio-torrentizia e marina</u>	<u>55</u>
<u>7.1.1.3</u>	<u>Attività antropica</u>	<u>56</u>
<u>7.2</u>	<u>Risultati e confronto con la cartografia PAI</u>	<u>57</u>
<u>7.2.1</u>	<u>Inizio progetto – Località Peristeri</u>	<u>57</u>
<u>7.2.2</u>	<u>Località Peristeri – Fine Progetto</u>	<u>60</u>
<u>8</u>	<u>Schema Idrogeologico</u>	<u>64</u>
<u>8.1</u>	<u>Complessi idrogeologici</u>	<u>64</u>
<u>8.2</u>	<u>Sintesi delle misure piezometriche</u>	<u>68</u>
<u>8.3</u>	<u>Caratterizzazione dei punti d'acqua</u>	<u>70</u>
<u>8.4</u>	<u>Analisi dell'aggressività delle acque</u>	<u>72</u>
<u>9</u>	<u>Sismicità</u>	<u>74</u>
<u>10</u>	<u>Indagini geognostiche e geofisiche</u>	<u>79</u>
<u>10.1</u>	<u>Indagini geognostiche</u>	<u>79</u>
<u>10.2</u>	<u>Indagini geofisiche</u>	<u>80</u>
<u>11</u>	<u>Modello Geologico di Riferimento</u>	<u>82</u>
<u>11.1</u>	<u>Settore di raccordo tra il lotto 1 ed il lotto 2</u>	<u>83</u>
<u>11.2</u>	<u>Galleria Palizzi Marina</u>	<u>85</u>

<i>11.3 Galleria Ambusena</i>	<i>87</i>
<i>11.4 Rilevato tra Ambusena e Peristeri</i>	<i>88</i>
<i>11.5 Galleria Peristeri</i>	<i>91</i>
<i>11.6 Rilevato tra Peristeri e Sant'Antonino</i>	<i>93</i>
<i>11.7 Galleria Sant'Antonino</i>	<i>95</i>
<i>12 Analisi geologica–geomorfologica dei siti di deposito definitivo</i>	<i>97</i>
<i>12.1 Siti PA3a, PA3b, P13 – Fiumara Palizzi</i>	<i>97</i>
<i>12.2 Siti PA15a, PA15b e PA15c - Riserva – Fiumara Spartivento</i>	<i>98</i>
<i>13 Bibliografia</i>	<i>100</i>

1. Introduzione

La presente relazione geologica fa parte della documentazione allegata al Progetto Esecutivo dei "Lavori di completamento della carreggiata di valle della Variante all'abitato di Palizzi della SS 106 "Jonica" – 2° lotto dal km 49+485 al km 51+750, 2° stralcio funzionale".

L'area di studio comprende l'immediato entroterra di Palizzi Marina, a partire dal rilievo presente ad Ovest dell'abitato (inizio lotto), fino a poco oltre lo sbocco a mare della valle del torrente Simmero, all'altezza del cimitero di Palizzi Marina, e la sua estensione complessiva varia, rispetto alla linea di costa orientata circa Ovest-Est, da un minimo di circa 300 metri alle estremità Ovest ed Est, fino ad un massimo di circa 1300 metri nella parte centrale. Dal punto di vista altimetrico la zona si estende dal livello del mare fino ad una quota massima di circa 200 m s.l.m. Lo studio più dettagliato (cfr. capp. 5, 6 e 7), con rilevamento di terreno alla scala 1:2000 – 1:1000 è stato invece eseguito lungo una fascia di circa 400–500 metri a cavallo dell'asse di progetto della variante stradale.

La presente nota descrive inizialmente i contesti stratigrafico, geomorfologico ed idrogeologico generali dell'area; successivamente analizza gli interventi in progetto distribuiti lungo la tratta interessata.

Il modello geologico qui definito è il risultato degli studi svolti, dei dati raccolti e delle indagini effettuate nel corso degli anni per i precedenti progetti/le precedenti fasi progettuali.

In dettaglio, il lavoro si è articolato nelle seguenti fasi:

- analisi della documentazione dei precedenti progetti/precedenti fasi progettuali.
- Rilevamento geologico-strutturale di dettaglio in scala da 1:2.000 a 1:1.000. Tale attività di rilevamento ha avuto come fine quello di fornire una cartografia geologica di dettaglio dell'area interessata dal progetto e si è svolta seguendo la procedura seguente:

- ubicazione in carta degli affioramenti e descrizione delle caratteristiche litologiche e tessiturali delle rocce osservate;
- misura dell'angolo e direzione di immersione (dip/dip dir) delle strutture osservate (superfici di stratificazione, layering compositazionale, scistosità, famiglie di giunti sistemati e principali giunti non sistemati ecc);
- caratterizzazione delle zone di faglia: con descrizione del tipo e potenza delle rocce di faglia, sul tipo e potenza delle salbande di fratturazione e dei settori rocciosi interposti tra piani di faglia sistematicamente associati e sulla misura dell'angolo e direzione di immersione dei piani di faglia e delle strutture associate (clivaggio di faglia, piani coniugati ecc);
- ubicazione in carta e descrizione degli elementi geomorfologici (orli di scarpate, terrazzi fluviali e di arretramento morfologico, nicchie ed accumuli di frana, colamenti superficiali o profondi ecc);
- censimento dei punti d'acqua, rappresentati per lo più da pozzi e corsi d'acqua nelle zone adiacenti il tracciato dell'opera e loro caratterizzazione mediante la misura della conducibilità elettrica specifica, parametro di prima indicazione qualitativa sul grado di mineralizzazione e quindi potenziale aggressività nei confronti del calcestruzzo.
- Realizzazione di stendimenti strutturali con misura e caratterizzazione delle discontinuità osservate, secondo le specifiche generali ISRM, propedeutici alla classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi; limitatamente ai settori di affioramento del basamento cristallino, per la cui descrizione si rimanda alla relazione sui rilievi di dettaglio (elaborato n. T00GE00GEORE02A).

- Analisi fotogeologica in stereoscopia di fotogrammi prodotti dalla Compagnia Generale Riprese Aeree (Volo Calabria 2001) alla scala 1:17.000 circa, appositamente acquisite per lo studio.
- Caratterizzazione idrogeologica dei litotipi affioranti mediante definizione dei complessi idrogeologici.

Gli elaborati prodotti riassumono i dati geologici, strutturali, geomorfologici e idrogeologici del settore analizzato e rappresentano il dato di partenza fondamentale per ogni tipo di previsione geologica circa le condizioni attese durante lo scavo in sottoterraneo delle gallerie, la realizzazione dei viadotti, e dei tagli e rilevati stradali.

La presente nota fa specifico riferimento ai seguenti elaborati:

Relazione geostrutturale

Documentazione indagini geognostiche

Documentazione prove di laboratorio

Documentazione indagini geofisiche

Planimetria ubicazione indagini (4 tavole) 1:2.000

Carta geologica generale (2 tavole) 1:5.000

Carta geologica di dettaglio (4 tavole) 1:2.000

Carta geomorfologica (4 tavole) 1:2.000

Carta idrogeologica (4 tavole) 1:2.000

Profilo geologico (2 tavole) 1:2.000

Profilo geologico-geomeccanico Galleria "Palizzi Marina" 1:1.000/1.000

Profilo geologico-geomeccanico Galleria "Ambusena" 1:1.000/1.000

Profilo geologico-geomeccanico Galleria "Peristeri" (2 tavole) 1:1.000/1.000

Profilo geologico-geomeccanico Galleria "S.Antonino" 1:1.000/1.000

Sezioni geologiche trasversali (2 tavole) 1:1000

2. Riferimenti normativi

- D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»";
- D.M. 14/01/2018 - "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare Ministero dei LL.PP. 02/02/2009 n. 617 - Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- D. Lgs. n.50 del 18 aprile 2016: "Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture";
- D.M. 11/03/88 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Interventi sulla rete idrografica e sui versanti. Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni. PAI approvato con Delibera del Consiglio Regionale n. 115 del 28.12.2001, DL 180/98 e successive modificazioni;

- Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter; D.L. 180/98 e s.m.i.: "Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti";
- Autorità di Bacino Regionale della Regione Calabria – Delibera di Comitato Istituzionale n. 3/2016 - 11 aprile 2016 - Aggiornamento Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI Calabria)

3. Inquadramento geografico

La S.S. 106 "Jonica" costituisce un'arteria fondamentale per collegare, a partire dall'autostrada A2 del Mediterraneo, la Calabria e la Puglia e l'A14, oltre che per il trasporto interno fra l'area della Sibaritide, il Crotonese, lo Ionio Catanzarese, la Locride e il versante sud-orientale dell'Aspromonte.



Figura 1 – Ubicazione della S.S. 106 "Jonica"

La porzione di tracciato oggetto dell'intervento in progetto, denominato "Variante all'abitato di Palizzi della S.S. 106 Jonica – 2° Lotto – dal km 49+485 al km 51+750 – Lavori di completamento della carreggiata di valle (II° Stralcio funzionale – Completamento Carreggiata SUD)" consente di portare a ultimazione la "Variante di Palizzi" originariamente prevista a doppia carreggiata e a suo tempo autorizzata con DECVIA 6385 del 2001, DICOTER 171 del 2004 etc.

4. Schema geologico-strutturale generale

L'area oggetto di studio fa parte dell'Arco calabro-peloritano, che rappresenta uno degli elementi arcuati del sistema perimediterraneo e collega la catena appenninica, ad andamento NW-SE, con la catena siciliano-maghrebide ad andamento E-W. Il blocco crostale calabro-peloritano è composto essenzialmente da un basamento ercinico plutono-metamorfico delimitato da grandi sistemi di faglie (linea Sanginetto/Pollino, a nord, e linea di Taormina, a sud) che lo pongono appunto in contatto con le unità litostratigraficamente differenti dell'Appennino Meridionale a Nord e delle Maghrebidi siciliane a Sud. Può pertanto essere definito come un "terreno esotico", ovvero una porzione crostale caratterizzata da significativa alloctonia nei confronti dei terreni adiacenti. Il blocco calabro-peloritano rappresenta, cioè, un frammento di crosta continentale distaccatosi progressivamente dal margine meridionale della placca europea a partire dall'Oligocene come risultato dell'avanzato stato di collisione tra la placca africana e quella europea.

Più in dettaglio l'Arco Calabro è costituito da un complesso edificio a falde di ricoprimento che si estende dai confini settentrionale della Calabria fino ai Monti Peloritani in Sicilia. L'ossatura della catena è formata da rocce metamorfiche di basso e medio grado costituite in parte da scaglie di basamento continentale, in parte da meta-granitoidi tardo-ercinici ed in minore misura da depositi carbonatici e terrigeni meso-cenozoici e da frammenti di crosta oceanica fortemente laminata e tettonizzata (Moretti & Guerra, 1997).

L'Arco calabro-peloritano fa parte di un sistema più ampio in cui è possibile riconoscere i seguenti domini (Tortorici, 1982 con referenze):

- un avampaese, rappresentato nei domini apulo e ragusano da sedimenti carbonatici poggianti su crosta continentale e nel bacino ionico da sedimenti clastici di età neogenica;

- un'avanfossa rappresentata dalla fossa bradanica e dalla sua prosecuzione in mare nel Golfo di Taranto e costituita da sedimenti clastici plio-pleistocenici;

- la piana batiale tirrenica, un'area oceanizzata di età neogenica.

Il quadro geologico di questo settore del Mediterraneo occidentale è ulteriormente complicato dai seguenti fattori:

- una sismicità profonda in corrispondenza della zona di massima curvatura dell'Arco calabro-peloritano (Gasparini et al., 1982);

- un vulcanesimo calc-alcalinico pleistocenico (Isole Eolie) i cui prodotti si ritrovano intercalati nelle sequenze plio-pleistoceniche del settore meridionale della Calabria (Barberi et al., 1973).

Attualmente il massiccio calabro-peloritano si presenta frammentato in una serie di blocchi strutturali delimitati da elementi tettonici di primo ordine, disposti sia in senso longitudinale che in senso trasversale all'Arco stesso.

Macroscopicamente è possibile riconoscere due settori principali, distinguibili sia per la diversa evoluzione durante l'orogenesi Alpina sia per la diversa evoluzione tettonica neogenica:

1. La Calabria settentrionale, orientata circa NNE-SSW e limitata a nord dal fascio di strutture Sanginetto – basso Crati e a sud dalla Faglia di Catanzaro (Fabbri et al., 1982, Moretti & Guerra, 1997);

2. La Calabria meridionale che si estende a sud della faglia di Catanzaro fino allo stretto di Messina. Il margine tirrenico di questo settore è rappresentato dal Bacino di Gioia mentre quello ionico è dato dal Bacino di Spartivento.

L'area oggetto di studio è localizzata nel settore della Calabria Meridionale, che sarà descritto più in dettaglio nel paragrafo successivo.

La costruzione della catena calabro-peloritana si conclude sostanzialmente nel Tortoniano in quanto a partire dal Messiniano inferiore l'Arco Calabro è soggetto ad una dinamica prevalentemente estensionale che ne ha causato il distacco dal massiccio Sardo-Corso e la rapida traslazione verso SE, con conseguente apertura ed espansione del bacino oceanico tirrenico tra i due blocchi continentali.

All'interno di questo quadro geodinamico si assiste alla formazione del bacino calabro-ionico di avanarco (Bacino di Spartivento), ovvero di un bacino sedimentario, presente perlomeno dall'Oligocene superiore, lungo il margine meridionale del settore calabro-peloritano della placca europea, cui sono riferibili i terreni sedimentari affioranti nell'area oggetto di studio.

4.1 *La Calabria Meridionale*

Della successione di unità lito-stratigrafiche che caratterizzano questo dominio strutturale, le unità strutturalmente più profonde comprendono l'unità Longi-Taormina (formata da rocce di basamento di età pre-ercinica e coperture meso-cenozoiche) e l'unità di Mandanici (costituita da una successione di filladi, quarziti e calcari interessata da metamorfismo ercinico).

In posizione strutturale più elevata si pone l'unità dell'Aspromonte, formata da paragneiss biotitici e micascisti granatiferi con locali intercalazioni di anfiboliti, con intercalati corpi migmatitici e numerose intrusioni tardo-erciniche di rocce leuco-granitoidi. Le rocce incassanti appartenenti a questa unità sono affette da metamorfismo ercinico in facies anfibolitica (Atzori et al, 1976 con referenze).

In posizione ancora superiore ed al top della sequenza strutturale, si trova l'Unità di Stilo, il cui basamento, rappresentato da due unità erciniche di diverso grado metamorfico, è

costituito in generale da paragneiss biotitici, micascisti granatiferi ed anfiboliti (in facies da scisti verdi ad anfibolitica) e da filladi con intercalazioni di metareniti e metacalcari cristallini (di grado molto basso). Le sequenze metamorfiche dell'unità di Stilo sono interessate da intrusioni polifasiche di graniti, granodioriti e tonaliti. La copertura dell'unità di Stilo (affiorante prevalentemente nelle Serre) è costituita da una successione calcareo – dolomitica di età compresa tra il Trias ed il Cretaceo.

Le rocce del basamento cristallino affioranti nell'area di Palizzi Marina sono di pertinenza di quest'ultima unità strutturale in posizione più elevata ed in particolare sono riferibili ai paragneiss o scisti biotitici ed alle filladi, con intercalazioni di calcari cristallini.

Il basamento metamorfico ercinico è ricoperto dalla sequenza sedimentaria depostasi, a partire dall'Oligocene superiore, all'interno del bacino calabro – ionico di avanarco. Questa sequenza costituisce il riempimento di quella che, dal punto di vista paleogeodinamico, è considerata la porzione prossimale del bacino calabro-ionico di avanarco, tuttora attivo tra la zona di subduzione ionica, a sud-est, ed i vulcani calcalcalini delle Isole Eolie, a nord-ovest.

Ad eccezione di alcuni rari e sottili affioramenti di unità clastiche tardo-oligoceniche, di ambiente variabile da continentale a marino, la sequenza sedimentaria inizia con la Formazione di Stilo-Capo d'Orlando (Aquitaniense – Langhiano), rappresentata da una successione di torbiditi arenaceo – conglomeratiche ed arenaceo – pelitiche. Questa successione costituisce il riempimento di canyon sottomarini e depositi di trascinamento e di scarpata.

Alla formazione di Stilo – Capo d'Orlando segue, in continuità, il mélange delle "argille varicolori", rappresentate da un complesso caotico con una matrice di argille variegata e scagliose inglobanti lembi di arenarie riferibili al Flysch Numidico (Guerrera e Wezel, 1974).

In discordanza sulle formazioni sopra descritte e sullo stesso basamento metamorfico segue, con contatto erosivo, una seconda unità silicoclastica del Miocene medio-superiore (Serravalliano - Tortoniano) ed una successione messiniana pre-evaporitica, francamente evaporitica ed alluvionale progradazionale.

I caratteristici ritmi calcareo-marnosi della Formazione dei Trubi (Pliocene inf.) ricoprono in onlap i depositi messiniani e tutte le altre unità precedenti, marcando il passaggio dalla precedente sedimentazione silicoclastica extrabacinale a quella carbonatica intrabacinale.

Al top della successione sedimentaria si rinvencono, infine, i depositi sedimentari plio-pleistocenici costituiti da un mosaico di facies eteropiche da francamente marine a transizionali indicanti un'intensa attività tettonica con suddivisione del basamento pre-pleistocenico in blocchi durante questo intervallo di tempo, testimoniata pure dal complesso sistema di terrazzi marini e continentali, rinvenuti talora anche a quote molto elevate, in ragione del veloce innalzamento del blocco calabro-peloritano durante il Quaternario.

4.1.1 Evoluzione tettonica dal Messiniano al Pleistocene e sue implicazioni stratigrafiche

Dal punto di vista tettonico la Calabria meridionale è interessata da un sollevamento differenziale, che ha dato origine ad una serie di blocchi tettonici tipo horst e graben, ed è attraversato da importanti strutture tettoniche, quali la Linea Scilla-Roccella e la Linea Marina di Nicotera-Gioiosa Ionica, entrambe caratterizzate da scorrimenti trascorrenti lungo piani di faglia orientati da NW-SE a E-W.

Tradizionalmente l'attività che ha portato a definire tale assetto tettonico è stata attribuita alle dislocazioni compressive sul margine esterno (ionico) della catena calabro-

peloritana, connesse con l'avanzamento verso ESE dell'Arco calabro e la conseguente consunzione di litosfera ionica (Scandone, 1982; Malinverno e Ryan, 1986).

Analisi più recenti hanno invece permesso di ipotizzare un carattere estensionale dell'evoluzione tettonica a partire dal Messiniano, espressa da sei fasi deformative (Moretti e Guerra, 1997 con referenze). Le prime cinque, collegate all'evoluzione di strutture orientate NE-SW e trasporto tettonico verso SE, hanno portato allo sviluppo di alti e bassi strutturali e hanno causato estese ingressioni marine. La sesta fase è invece caratterizzata dallo sviluppo di faglie normali con andamento N-S e da un forte sollevamento regionale che ha condotto all'emersione di tutta la catena neogenica. L'inizio di quest'ultima pulsazione è marcato dalla deposizione di potenti corpi di sabbie e conglomerati di ambiente fluvio-deltizio, attualmente rinvenibili fino a quote superiori ai 400 m, testimoniando che il sollevamento regionale ha coinvolto gli stessi bacini pleistocenici.

Sulla sommità dei maggiori massicci cristallini è inoltre ben conservata una paleo-superficie morfologica. Le rocce granitoidi che ne costituiscono il substrato sono profondamente alterate per la quasi totale scomparsa delle specie feldspatiche e trasformate in un materiale incoerente pseudo-sabbioso (Moretti e Guerra, 1997), testimoniando una lunga attività pedogenetica in un clima caldo-umido.

La fine del Pleistocene rappresenta una tappa importante nell'evoluzione geologica della Calabria meridionale anche per l'instaurarsi di movimenti verticali che possono raggiungere la velocità di 2-4 mm/anno (Ghisetti e Vezzani, 1982).

L'area di Palizzi Marina, secondo Guerricchio (1988) si trova all'interno di un vasto settore della Calabria sud orientale interessato da lentissimi movimenti gravitativi con sprofondamento verso il mare Jonio, delimitato a Nord e a Ovest rispettivamente dalle fiumare Buonamico e Amandolea. Questi movimenti gravitativi sarebbero da collegarsi al

sollevamento tettonico recente dell'Aspromonte cui si è fatto cenno nel paragrafo precedente. Mentre sul versante tirrenico lo sprofondamento costiero si esprime con modalità propriamente tettoniche (faglie dirette), in questo settore del lato jonico esso avverrebbe con scivolamenti al limite tra la tettonica gravitativa ed i movimenti gravitativi profondi. A supporto di questa teoria l'autore riporta evidenze geologiche, stratigrafiche e geomorfologiche tra cui la diffusa presenza di coltri di argille varicolori che potrebbero funzionare da "lubrificante" per i movimenti e il complesso assetto geologico, forse complicato dai movimenti pseudo tettonici. Per quanto attiene gli aspetti stratigrafici mette in evidenza l'assenza di un livello caratteristico nei depositi tirreniani (120.000 anni) a Strombus Bubonius, che sul lato tirrenico si trova sollevato fino a 130 m di quota, mentre su quello jonico dovrebbe essere sommerso, insieme all'antica linea di costa eutirreniana. Dal punto di vista geomorfologico gli indizi sarebbero la diffusa erosione costiera e l'assenza, in tutto il settore compreso tra le fiumare Amandolea e Buonamico, di una spiaggia vera e propria, che, grazie al notevole apporto solido delle due fiumare non avrebbe motivo per non essersi formata in assenza di questi movimenti di sprofondamento.

4.1.2 Evoluzione tettonico - dinamica attuale

Il perdurare fino ad oggi dell'attività tettonica nella regione calabro-peloritana è confermata dagli alti livelli energetici raggiunti dai fenomeni sismici in epoca storica, quale ad esempio i terremoti del 27 Marzo e 8 Giugno 1638, del 5, 6 e 7 Febbraio 1783 ed il più recente terremoto di Messina – Reggio Calabria del 28 Dicembre 1908.

Sebbene negli ultimi anni nella regione calabro-peloritana non si siano ripetuti eventi sismici di elevata energia come quelli avvenuti in epoca storica, la configurazione degli epicentri dimostra l'attività di molti elementi tettonici individuati in superficie (quali ad

esempio la faglia di Catanzaro). All'interno della crosta le soluzioni dei piani di faglia disponibili indicano una assoluta prevalenza dei movimenti distensivi e trascorrenti. Le direzioni di massima estensione variano all'incirca da E-W a NW-SE.

Sempre secondo Guerricchio (1988), in merito alla descrizione del lento movimento gravitativo che interesserebbe la zona oggetto del presente progetto, si rileva come , a differenza dei principali terremoti verificatisi nella Calabria meridionale, quelli che hanno interessato più da vicino l'area (ad esempio il terremoto di Ferruzzano del 1978) presentano profondità relativamente superficiali, e sarebbero da connettersi con saltuari incrementi di spostamento e scivolamento verso il mare della zona.

5. Inquadramento geologico-strutturale dell'area di studio

Nel presente capitolo verrà discusso l'assetto tettonico e strutturale, con particolare attenzione alla deformazione fragile. Nel capitolo successivo, invece, verranno analizzati i litotipi affioranti e la loro distribuzione areale.

L'insieme delle strutture osservate nell'area di studio rappresenta il risultato di una sequenza di eventi tettonici e sedimentari legati all'evoluzione di questo settore dell'Arco calabro a partire dal Paleozoico. Questa sequenza di eventi tettonici può essere suddivisa in fasi deformative duttili e fasi deformative fragili.

Le prime riflettono l'evoluzione delle rocce del basamento cristallino in condizioni duttili, ovvero a profondità maggiori di 5-10 km (tipiche dei settori di crosta profonda).

Le fasi deformative fragili coinvolgono invece sia le rocce di basamento che le sequenze di copertura (marine e continentali) e riflettono l'evoluzione di questo settore dell'Arco calabro, a partire dal Miocene, in condizioni crostali superficiali (ovvero inferiori ai 5-10 km di profondità).

Nell'ambito del presente progetto le fasi deformative fragili risultano quindi particolarmente importanti, sia perché coinvolgono l'intera sequenza dei litotipi presenti e non solo le rocce cristalline, sia perché la presenza di dette strutture influenza significativamente le caratteristiche dell'ammasso roccioso attraversato dalle opere in progetto. Tra le strutture di tipo duttile risultano invece importanti quelle milonitiche pervasive a medio e basso angolo di inclinazione, probabilmente sviluppatesi durante l'orogenesi alpina, sulle quali si sono reimpostate successivamente strutture deformative di tipo fragile che hanno riattivato le strutture preesistenti, con conseguente scadimento delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso. Nel prosieguo della relazione questo tipo di strutture verranno caratterizzate sulla base della presenza di roccia di faglia definibile

come "milonite riattivata". Le strutture di tipo duttile legate alle fasi precedenti possono invece dislocare nello spazio porzioni differenti di ammasso roccioso senza per questo variarne significativamente le caratteristiche geomeccaniche.

Di conseguenza verrà offerto sia un inquadramento delle evidenze legate alla deformazione duttile, con particolare risalto per quelle strutture probabilmente riattivate durante le deformazioni fragili, sia alle strutture legate più direttamente alla deformazione fragile.

5.1 La deformazione duttile

Nelle catene orogenetiche (e le rocce di basamento dell'Arco calabro hanno acquisito le loro caratteristiche attuali durante l'orogenesi ercinica) l'evoluzione duttile può essere normalmente suddivisa in fasi di deformazione. Ogni fase deformativa è caratterizzata da geometrie delle strutture e da associazioni mineralogiche proprie, che dipendono essenzialmente dalle condizioni di temperatura e pressione nelle quali la fase deformativa si sviluppa. Ad ogni fase deformativa corrisponde quindi lo sviluppo di una foliazione, scistosità o clivaggio, che rappresenta l'evidenza di quella specifica fase di deformazione.

Nell'area di indagine è stato possibile osservare una scistosità pervasiva principale, verosimilmente di importanza regionale, ripiegata da almeno una fase deformativa successiva secondo pieghe con stile da blando ad aperto. Si può quindi parlare di almeno due fasi deformative duttili che hanno interessato le rocce di basamento durante l'evoluzione ercinica.

La scistosità pervasiva è molto sviluppata nei litotipi metamorfici (scisti e paragneiss biotitici e filladici) descritti nel paragrafo 6.1. Essa è legata all'isorientazione di fasi metamorfiche quali la biotite, la muscovite (se presente) ed eventualmente l'anfibolo e la

sillimanite. La scistosità mostra un'immersione prevalente verso direzioni comprese tra Sud e Ovest-SudOvest, con inclinazione variabile e compresa tra circa 10° e circa 70° (fig. 2).

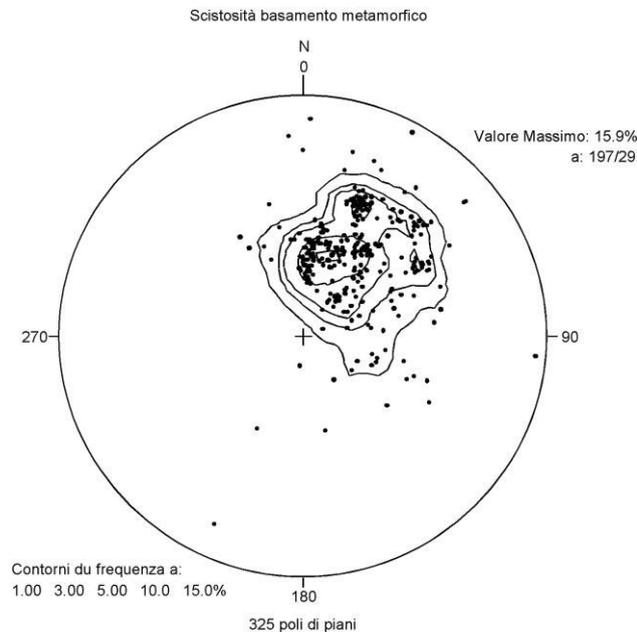


Figura 2 – Proiezione stereografica su reticolo di Schmidt – emisfero inferiore, delle giaciture della scistosità misurate nel basamento metamorfico (scisti e paragneiss biotitici e scisti filladici).

Le variazioni di inclinazione evidenziano la presenza di una fase duttile successiva alla formazione della scistosità ercinica e responsabile di strutture plicative alla macro-scala, che tuttavia non sono ben visibili sul terreno anche a causa del limitato areale rilevato per le finalità progettuali. Pieghe serrate di ampiezza centimetrica, con associate crenulazioni, sono riconoscibili alla scala dei singoli affioramenti e sulle carote dei sondaggi, e ed in particolar modo nei livelli di scisti più ricchi in biotite e negli scisti filladici (questi litotipi, proprio a causa dell'abbondanza di biotite, hanno registrato meglio le fasi deformative duttili).

Oltre alla deformazione duttile legata all'orogenesi ercinica, le rocce metamorfiche del basamento cristallino dell'Aspromonte sono state sottoposte a deformazione di tipo duttile anche durante gli eventi deformativi Alpini. In letteratura (Messina et. al, 1992) viene

descritta la sovrimpronta metamorfica che le rocce dell'Unità dell'Aspromonte hanno subito durante l'orogenesi alpina, con diversi livelli di riequilibrio a seconda dell'area geografica, mostrandoci una maggior grado di deformazione verso nord rispetto al settore meridionale dell'Aspromonte.

Nelle aree maggiormente deformate la riequilibrio si esplica attraverso l'estensiva o parziale ricristallizzazione delle paragenesi metamorfiche erciniche in nuovi assemblaggi mineralogici tipici delle condizioni metamorfiche alpine, con sviluppo di una nuova foliazione ed una riduzione di grana generalizzata della roccia. Nelle zone con minore grado di riequilibrio la deformazione si esplica invece prevalentemente con meccanismi di tipo cataclastico – milonitico concentrati lungo fasce di taglio, che probabilmente hanno riutilizzato per svilupparsi la partizione preesistente determinata dalla foliazione ercinica.

Nel settore di basamento metamorfico rilevato, questo secondo tipo di deformazione alpina sembra essere molto comune. Si sono infatti osservate numerose zone di taglio a basso – medio angolo di inclinazione, di spessore variabile da pochi centimetri ad alcuni metri (fino ad una decina almeno). Queste zone di taglio, di aspetto tipicamente fragile, con rocce di faglia di natura eterogenea riflettenti diversi gradi di deformazione e variabili da miloniti riattivate fino a breccia e gouge, sono probabilmente il risultato della riattivazione in regime fragile ed in un contesto distensivo, delle zone di taglio duttile (shear bands) formatesi, in un contesto probabilmente compressivo, durante le fasi di deformazione legate all'orogenesi alpina descritte in precedenza. Si riprenderà con maggior dettaglio la descrizione di queste strutture nel successivo paragrafo dedicato alla deformazione fragile.

5.2 Assetto stratigrafico–giaciturale dei sedimenti terziari e quaternari

Le unità di copertura sedimentaria, di età variabile dal miocene al pleistocene, presentano un assetto giaciturale che riflette le dinamiche sedimentarie e l'evoluzione del bacino di deposizione, oltre alle successive deformazioni di tipo duttile e fragile subite sia in fase sinsedimentaria, sia in fasi successive alla loro deposizione. Nel complesso delle argille varicolori non si individua una strutturazione coerente da un affioramento all'altro, confermando l'assetto caotico della formazione e la probabile deposizione contemporanea ad una intensa attività tettonica e anche con processi gravitativi lungo le scarpate dei bacini, delle coltri di argille varicolori al di sopra del basamento roccioso e delle sottostanti formazioni detritiche tipo Stilo–Capo d'Orlando, cui possono essere riferite le sabbie ed arenarie del Miocene Inferiore.

Le stesse argille marnose Serravalliane appaiono notevolmente tettonizzate, specie in prossimità del contatto con il complesso delle argille policrome, per cui la stratificazione appare obliterata e sostituita da un fitto reticolo di clivaggi di deformazione fragile, subparalleli al possibile contatto tettonico con le argille varicolori ed immergenti mediamente verso Sud–SudEst, con inclinazioni variabili tra 20-25° e 85-90°. Allontanandosi dal contatto con le argille la stratificazione diventa riconoscibile ed è materializzata dalla presenza di strati sabbiosi alternati alle prevalenti argille marnose e sabbiose, ed immerge verso Sud–SudEst con inclinazione media di 20°–30°.

Le formazioni plioceniche soprastanti presentano un contatto di base erosionale, con discordanza angolare di pochi gradi con una stratificazione, molto evidente nelle alternanze ritmiche dei Trubi, che immerge mediamente verso Sud–SudEst con inclinazioni variabili tra 15 e 20 gradi. Nella bassa valle del Torrente Simmero, lungo il versante sinistro idrografico, si osserva l'appoggio dei Trubi sui sottostanti depositi sabbiosi a ciottoli, con la stratificazione

della successione marnoso-siltosa che immerge invece verso Nord–Nord Ovest, configurando una ondulazione sinforme allungata lungo un asse avente direzione circa Est–Ovest.

I lembi di depositi pleistocenici infine, ricoprono in discordanza le stesse formazioni plioceniche ed il basamento metamorfico e presentano giaciture debolmente inclinate, immergenti in diverse direzioni a seconda del basculamento subito in fase successiva alla loro deposizione a causa delle deformazioni recenti di tipo estensionale, dal blocco di basamento su cui si sono depositi.

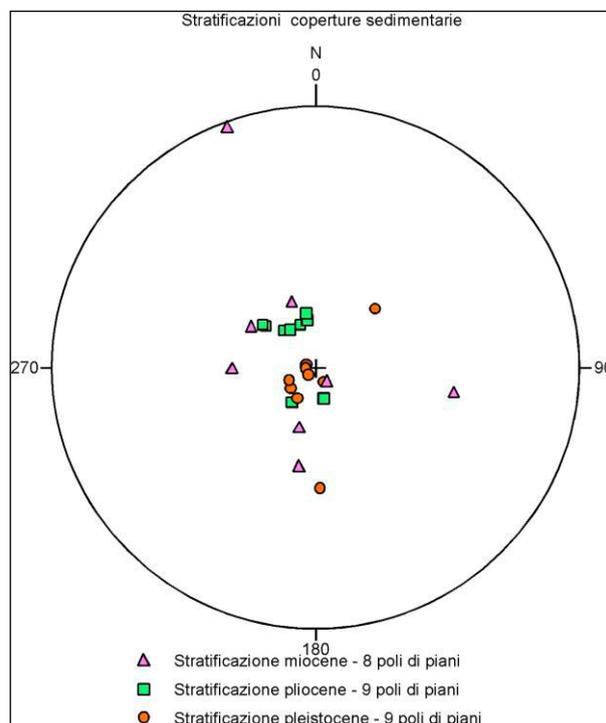


Figura 3 – Proiezione stereografica su reticolo di Schmidt–emisfero inferiore, delle giaciture della stratificazione misurate nei depositi sedimentario di copertura di età Miocenica–Pleistocenica.

5.3 La deformazione fragile

La zona di studio è caratterizzata dalla presenza di sistemi di faglie molto evoluti e caratterizzati da persistenze laterali che, nel caso delle strutture principali, possono essere di carattere ettometrico o fino a chilometrico. In un contesto di questo tipo, pertanto,

l'estrapolazione delle faglie dall'affioramento al tracciato in esame e alla quota del progetto risulta facilitata, anche tenendo conto delle coperture generalmente limitate (dell'ordine di 80–90 metri al massimo) per le gallerie naturali. E' infatti opportuno ricordare che la persistenza laterale delle zone di faglia, osservata sul terreno o misurata grazie all'analisi delle foto aeree, è paragonabile, come ordine di grandezza, alla persistenza in profondità delle stesse strutture (e.g. Dershowitz et al., 1991).

Per quanto riguarda la classificazione delle zone di faglia osservate, queste possono essere distinte sia sulla base dell'orientazione sia sulla base dello spessore della zona deformata. Viene pertanto fornita una prima classificazione che tiene conto della potenza della zona deformata, che influenza direttamente il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso. In seguito i sistemi di faglie e di giunti misurati verranno analizzati e distinti attraverso l'analisi della loro orientazione, anche con l'ausilio delle risultanze dello studio fotogeologico. Verranno inoltre descritte brevemente le principali faglie individuate con particolare attenzione a quelle che intersecano il tracciato dell'opera nei tratti in galleria. Nell'ultima parte del capitolo verrà inoltre fornita una descrizione del grado di fratturazione generale dell'ammasso roccioso.

5.3.1 Classificazione delle zone di faglia

All'interno di una zona di faglia è possibile distinguere due porzioni principali (fig. 4):

1. *Le rocce di faglia* costituiscono la parte centrale della zona di faglia e corrispondono al settore in cui maggiormente si è concentrata la deformazione. Il tipo di rocce di faglia prodotte dipende dall'intensità della deformazione, dalla composizione della roccia originaria e dalla presenza o meno di fluidi circolanti all'interno della zona di faglia. Nell'area di studio le tipologie di rocce di faglia osservate sono abbastanza varie e

comprendono miloniti riattivate, protobrecce, brecce e gouges principalmente a matrice argillosa e subordinatamente sabbiosa. Le tipologie di roccia di faglia elencate possono caratterizzare singolarmente le faglie osservate (ad esempio una faglia costituita completamente da solo gouge argilloso), oppure essere presenti, alcune o tutte, all'interno della stessa faglia, ad indicare una eterogeneità del grado di deformazione all'interno dello spessore della faglia stessa e quindi una maggiore complessità strutturale e geomeccanica.

2. *La salbanda di deformazione* corrisponde alle zone adiacenti la porzione centrale in cui sono sviluppate le rocce di faglia vere e proprie ed è caratterizzata, generalmente, da un incremento della fratturazione, da un aumento del grado di tettonizzazione della roccia, inteso generalmente come la comparsa di giunti di riattivazione della foliazione, con riempimento simile a quello della roccia di faglia vera e propria, ed un generale scadimento delle caratteristiche meccaniche rispetto alla media dell'ammasso roccioso al di fuori delle faglie.

Indipendentemente dalla loro orientazione quindi le zone di faglia possono essere distinte in principali o secondarie sulla base della potenza della zona affetta dalla deformazione, ovvero della potenza delle rocce di faglia e della salbanda di deformazione:

- le zone di faglia principali sono caratterizzate da rocce di faglia di potenza plurimetrica. Le salbande di deformazione possono raggiungere una potenza decametrica. Queste salbande possono essere caratterizzate da un incremento del grado di fratturazione e di tettonizzazione rispetto alle porzioni di ammasso roccioso esterne alla zona di faglia, nel qual caso la densità delle fratture è generalmente molto elevata (superiore a 50-60 giunti/m³) oppure dalla presenza di faglie secondarie con spaziatura metrica. Complessivamente (rocce di faglia e salbande di fratturazione) le zone di faglia principali

possono raggiungere potenze di circa 20-30 metri e sono responsabili di un peggioramento significativo delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso. Sulla cartografia geologica prodotta sono state rappresentate le superfici delimitanti l'estensione o involuppo della roccia di faglia. Distinta con apposito sovrasimbolo, utilizzato sia per gli affioramenti osservati, sia per le interpretazioni areali eseguite.

- Le zone di faglia secondarie si distinguono dalle precedenti in quanto sia le rocce di faglia che le salbande di deformazione sono caratterizzate da potenze tipicamente inferiori. Le rocce di faglia arrivano in genere a potenze inferiori al metro e sono costituite da "miloniti riattivate", protobrecce e gouge a matrice sabbioso-argillosa, mentre le salbande di deformazione, definite generalmente da un incremento della fratturazione rispetto alla roccia esterna alla zona di faglia, presentano potenze plurimetriche. Nell'area rilevata le zone di faglia secondarie sono spesso raggruppate a formare fasce di deformazione fragile costituite da faglie di spessore decimetrico-metrico, con andamento anastomosato e giacitura prevalente a basso angolo, con faglie coniugate a medio angolo ma di continuità ridotta, limitata all'interno della fascia principale. Tra le singole faglie presenti all'interno delle fasce di deformazione fragile descritte sono presenti litoni di forma generalmente sigmoidale o "a losanga" costituiti da roccia molto fratturata o con foliazione riattivata. Complessivamente le zone di faglia secondarie possono raggiungere potenze di circa 10-12 metri.



Figura 4 – Zone di faglia secondarie raggruppate a formare una fascia di spessore decametrico presente ad inizio lotto nei pressi dell'imbocco lato Reggio Calabria della galleria Palizzi Marina.

- Le zone di faglia minori mostrano evidenze di movimento scarso o nullo, non sono associate a rocce di faglia e sono caratterizzate da salbande di deformazione assenti o poco potenti. Queste faglie possono essere considerate, dal punto di vista della caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso alla stregua di giunti e pertanto non sono state distinte e rappresentate sulla cartografia prodotta.

Va inoltre sottolineato che al di fuori delle zone di faglia l'ammasso è comunque caratterizzato da un grado di fratturazione pervasiva piuttosto elevato definito da giunti e fratture. Questi aspetti dell'ammasso verranno analizzati nel paragrafo 5.3.4.

5.3.2 I sistemi di faglie e di fotolineamenti

Nell'area direttamente interessata dal rilievo geologico finalizzato al progetto esecutivo, sono state misurate numerose superfici di faglia, sia ad alto angolo di inclinazione, sia principalmente a basso angolo. Sulla base della loro giacitura e indipendentemente dalla potenza delle rocce di faglia e della salbanda di deformazione, si possono distinguere numerosi sistemi discriminabili sia in base alla direzione, sia in base all'inclinazione (fig. 5).

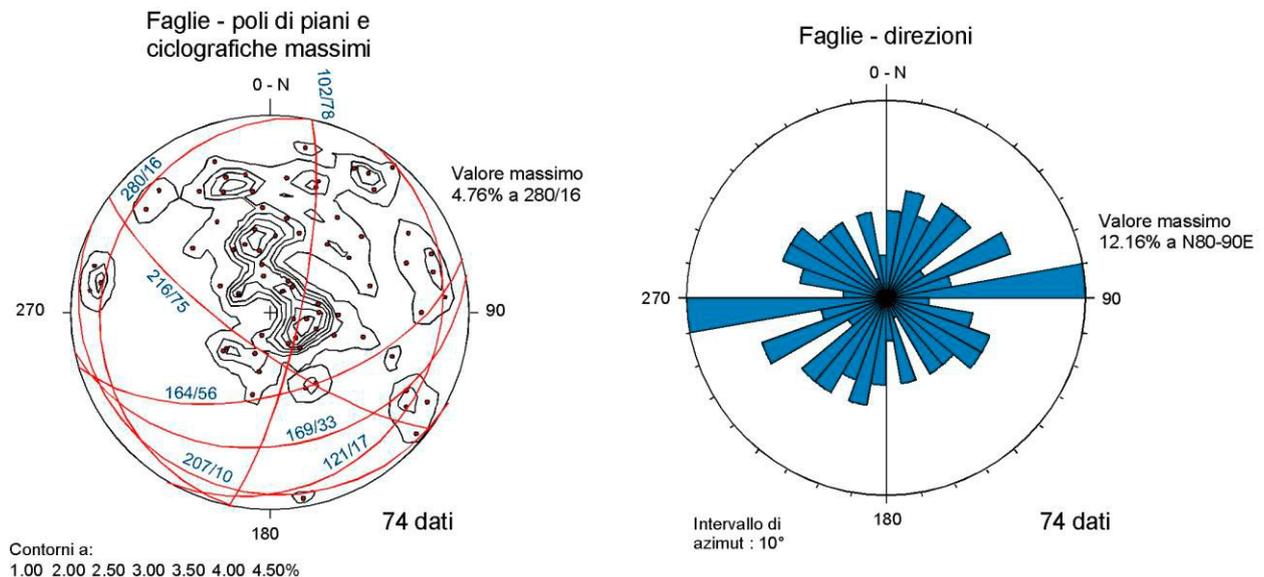


Figura 5 – Proiezione stereografica su reticolo di Schmidt – emisfero inferiore, a contorni di frequenza, poli di piani e ciclografiche dei principali sistemi di faglie – diagramma a rosa delle direzioni delle superfici di faglia misurate nell'area oggetto di studio.

Dall'esame dei diagrammi di proiezione stereografica riportati nella figura soprastante, si osserva come le strutture di faglia più rappresentate siano quelle a medio-basso angolo, con immersione media verso Ovest-Nord Ovest e Sud-SudEst. L'elevato grado di dispersione dei dati rilevati, relativi alle faglie a basso angolo, dipende dal carattere ondulato e anastomosato delle faglie che costituiscono piuttosto delle fasce di deformazione fragile

plurimetriche o decametriche complesse, rispetto a strutture definite, con bordi o superfici laterali nette e più univocamente misurabili.

Tra le faglie ad alto angolo due sono i sistemi evidenziati dalle misure eseguite e presentano direzione NNE–SSW e NW–SE.

La maggior parte delle faglie rilevate è costituita però da faglie minori, in quanto le faglie maggiori, pur rappresentate nell'area di indagine, non presentano spesso superfici nette visibili e misurabili, ma sono state definite più che altro in base alla presenza di affioramenti di roccia di faglia e di evidenze morfologiche (incisioni o forme negative allineate lungo la direzione delle strutture).

Per questo motivo è stato anche realizzato uno studio fotogeologico strutturale allargato ad una zona più ampia rispetto alla sola area interessata dal progetto, finalizzato a definire le principali orientazioni strutturali delle faglie che interessano il basamento roccioso metamorfico e le coperture sedimentarie. La fotointerpretazione è stata eseguita su fotogrammi del Volo Calabria 2001 – strisciate nn. 272 (fotogrammi da 5175 a 5180), 217 (fotogrammi da 1127 a 1131) e 220 (fotogrammi da 2098 a 2102), appositamente acquisiti per lo studio in oggetto. Risultano molto evidenti le incisioni rettilinee e sistematiche presenti nel basamento metamorfico ed in particolar modo nella zona di affioramento degli ortogneiss granitoidi presente poco a Nord dell'area rilevata. Sono altresì evidenti alcuni lineamenti, di notevole sviluppo longitudinale, presenti al bordo del basamento verso la zona di affioramento delle coperture terziarie ed all'interno delle stesse.

Nella sottostante figura 6 è riportato il diagramma a rosa delle direzioni dei fotolineamenti di probabile natura strutturale individuati. Si osserva come, rispetto ai diagrammi realizzati con l'analisi dei dati rilevati sul terreno, siano prevalenti le direzioni orientate NE-SW (che seppur presenti non rappresentano che un massimo minore tra i dati

rilevati direttamente), mentre non sono per nulla messe in evidenza le direzioni che danno il massimo principale tra le strutture rilevate, vale a dire circa Est – Ovest. Questo è sicuramente dovuto al fatto che le superfici di faglia con questa direzione prevalente sono per lo più inclinate a basso o bassissimo angolo, per cui non possono avere evidenza morfologica rilevabile dall'analisi fotogeologica.

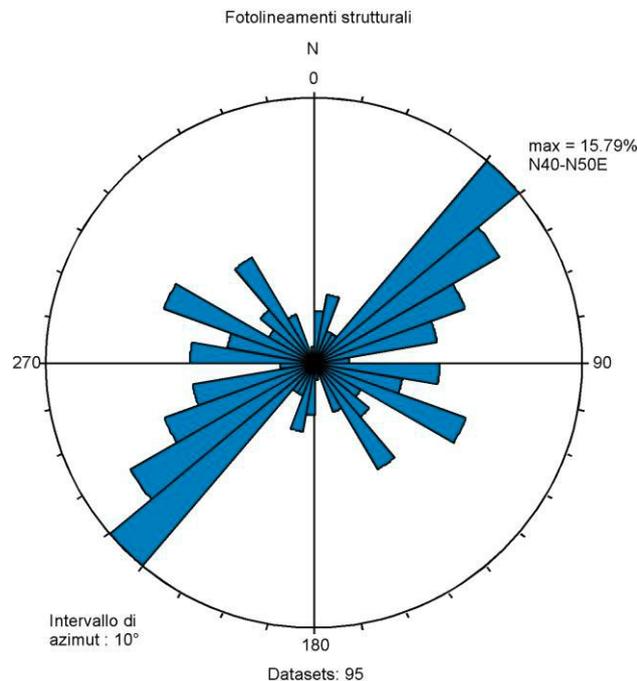


Figura 6 – Diagramma a rosa dei fotolineamenti con probabile natura strutturale – tettonica individuati mediante fotointerpretazione.

5.3.3 Le principali faglie che interessano il tracciato dell'opera

Lo studio di terreno, unito all'analisi fotogeologica ed integrato con le indagini indirette, ha permesso di individuare una serie di faglie importanti che interessano direttamente il tracciato dell'opera. Tra queste rivestono particolare importanza quelle che interferiscono con i tratti in galleria.

Tra le faglie principali che interessano le gallerie, escludendo le faglie secondarie, anche organizzate in fasci compositi, che intersecano il tracciato delle gallerie in progetto e

che saranno descritte in maniera più dettagliata nel capitolo di descrizione della geologia delle singole opere, sono state individuate le seguenti:

- Nel tratto iniziale della galleria Peristeri alla Pk di progetto Km 1+400 circa, una faglia diretta NW-SE ed immergente a SW con inclinazione di circa 70° e movimento normale.



Figura 7 – Dettaglio della faglia osservata a sud della cava Frasca. Sulla sinistra si osserva la roccia di faglia sviluppata negli scisti e paragneiss biotitici, costituita da protobreccia e breccia, sulla destra le sabbie pleistoceniche in appoggio laterale sulla superficie di faglia.

La roccia di faglia è costituita da protobreccia, breccia e gouge a matrice sabbioso-argillosa, di spessore valutabile in circa 2-3 metri almeno. La faglia è stata osservata in affioramento a sud della Cava Frasca (fig. 7), dove pone in contatto laterale il basamento metamorfico con i depositi sabbioso ghiaiosi pleistocenici.

- Sempre nella galleria Peristeri, all'altezza della Pk di progetto Km 1+530 – 1+550, una grossa faglia, anch'essa diretta NW-SE come la precedente, separa le brecce calcaree della cava Frasca (a NE della struttura) dagli scisti del basamento metamorfico a SW. La faglia, in base a considerazioni di tipo geometrico sulla posizione degli affioramenti di calcari e scisti presenti alla sommità ed alla base della cava, sembra avere inclinazione subverticale (85° circa) verso SW. Lo spessore di roccia di faglia, ipotizzabile sulla base della presenza di affioramenti di gouge limoso argilloso in posizione sommitale del rilievo (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e dell'assenza di affioramento in un avvallamento del versante occupato da una piccola frana recente sopra la pista sul lato sud della cava (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), varia tra un minimo di 5 metri circa ad un massimo di 10 metri circa. La roccia di faglia, osservabile negli affioramenti sopracitati, è costituita prevalentemente da gouge o breccia (anche a clasti calcarei) in matrice limoso argillosa color grigio piombo, con probabili settori subordinati di protobreccia e scisti milonitici con foliazione riattivata.



Figura 8 – Affioramento di roccia di faglia costituita da un settore centrale di gouge a matrice limoso-argillosa, contornato da settori con breccia, protobreccia e milonite riattivata.



Figura 9 – Vista della porzione meridionale della Cava Frasca, dove si osserva una frana recente impostata nell'avvallamento probabilmente sede della faglia principale. Il piccolo affioramento a sinistra della frana è di brecce calcaree, mentre quello a destra è di scisti biotitici. E' quindi evidente il rapporto di contatto laterale lungo una fascia subverticale, che in questo punto presenta una larghezza di circa 5 metri.

- Ancora lungo la galleria Peristeri, una terza faglia principale è stata ipotizzata all'altezza dell'intervallo di progressive di progetto km 1+850 – 1+900, al termine del rilievo costituito dagli scisti dal basamento metamorfico. La faglia è stata ipotizzata sulla base della morfologia dell'incisione e dell'assenza di affioramenti rocciosi al suo interno fino almeno alla quota della località Cascina Stinco Tondo, in base all'elevato grado di tettonizzazione osservato nei primi affioramenti rocciosi adiacenti l'incisione e sulla base delle risultanze del sondaggio S6bisE eseguito nel corso della campagna di indagine integrativa, di cui si tratterà in un successivo capitolo. La faglia definita sulla base delle

evidenze descritte, ha una direzione circa NNE-SSW e dovrebbe immergere verso ESE con inclinazione medio alta, di circa 60°. La potenza della roccia di faglia dovrebbe essere almeno di 4-5 metri (sulla base della distanza tra i primi affioramenti adiacenti la zona non affiorante nell'incisione). La roccia di faglia, per analogia con quanto osservato per le altre faglie principali sviluppate nel basamento ed in base ai dati del sondaggio S6bisE, è probabilmente costituita da breccia e gouge in matrice limoso-argillosa, con possibili porzioni di protobreccia e milonite riattivata.

- Nel settore iniziale della galleria Sant'Antonino, all'incirca all'altezza della progressiva di progetto 2+600 km circa, è stata ipotizzata la presenza di una faglia, diretta circa NE-SW ed immergente a NW inclinata a medio angolo.

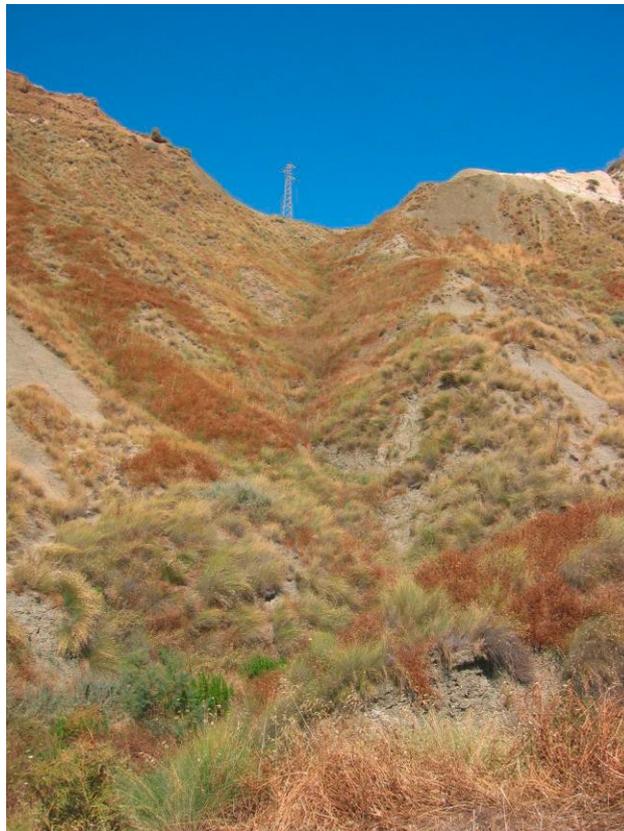


Figura 10 – Evidente incisione sul fianco della collina di Sant'Antonino con alla sommità (in corrispondenza del traliccio Enel) una sella morfologica, possibile sede di una faglia principale

Questa faglia è stata ipotizzata sulla base di evidenze morfologiche sia di terreno (evidente canalone inciso con sella sommitale – fig. 10) sia da fotointerpretazione, sulla base dell'elevato grado di tettonizzazione generale delle argille marnose mioceniche e sulla base dell'evidente dislocazione, con ribassamento verso NW, dei contatti erosionali di appoggio della formazione dei Trubi sulle sottostanti argille marnose e dei depositi ghiaiosi pleistocenici sugli stessi Trubi (fig.11 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

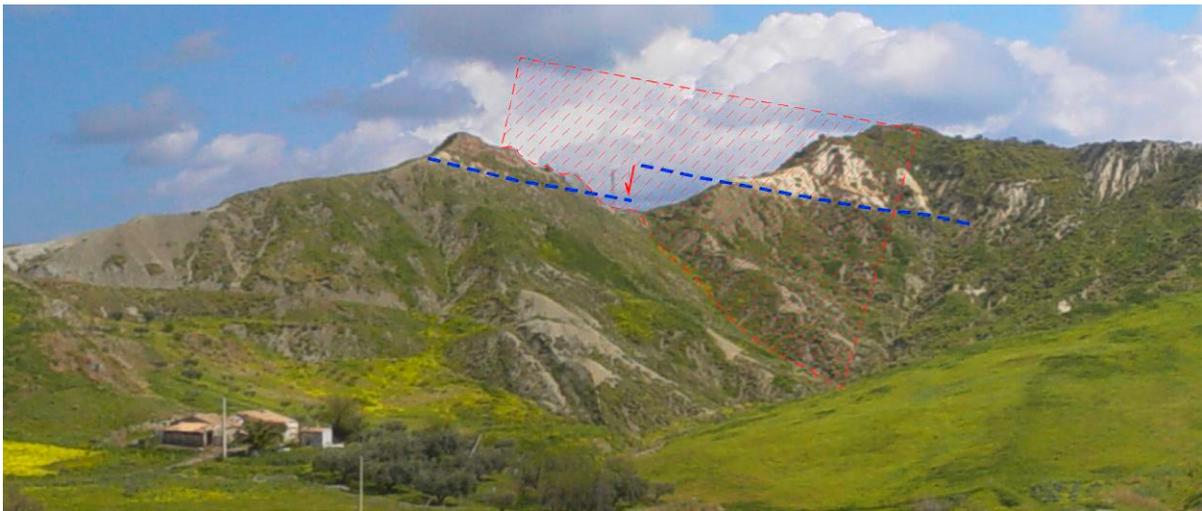


Figura 11 – Panorama della collina di Sant'Antonino (precedente al dissesto del 3 dicembre 2007), ripreso dal versante destro della valle del Torrente Carcane (zona Peristeri). E' evidenziato il ribassamento del contatto dei Trubi e dei depositi pleistocenici (livello biancastro e "cappello" bruno rossiccio) poggianti sulle argille mioceniche grigie sul lato sinistro dell'incisione rispetto al lato destro.

Tra le faglie principali, altre sono state ipotizzate lungo il tracciato ma in zone dove non verranno attraversate dalle gallerie, perché ricoperte dai terreni di copertura quaternaria e olocenica. In particolare si è ipotizzata la presenza di faglie principali sepolte sotto i fondovalle della fiumara di Palizzi, della valletta del torrente Ambusena, delle valli del

torrente Frasca e del torrente Carcane, quest'ultima ipotizzata con direzione NE-SW da evidenze fotogeologiche e dai rapporti geometrici tra le argille varicolori e le argille marnose, oltre che in base al notevole sviluppo di clivaggi di deformazione fragile nelle stesse argille marnose.

5.3.4 I sistemi di giunti

Nell'area investigata l'ammasso roccioso è generalmente caratterizzato da un notevole grado di fratturazione, che si traduce in una elevata densità volumetrica delle fratture e nella presenza di diversi sistemi di giunti. Lo sviluppo dei giunti può essere dovuto a fenomeni di diaclasi superficiale legati alla risalita e conseguente detensionamento dell'ammasso oppure geneticamente collegato allo sviluppo delle zone di faglia, in corrispondenza delle quali si può formare un sistema di giunti circa parallelo detto clivaggio di faglia, oppure che forma un angolo caratteristico rispetto alla direzione della faglia, legato al contesto cinematico della deformazione fragile.

Le misure dei giunti effettuate nell'intera area indagata, comprendenti quelle eseguite lungo gli stendimenti strutturali per la descrizione dei quali si rimanda alla relazione sui rilievi strutturali di dettaglio, hanno permesso di riconoscere tre sistemi principali (fig. 12):

- Un sistema a direzione circa NNW-SSE formato da giunti con immersione verso WNW a medio angolo e, più rappresentato, verso ESE secondo angoli elevati;
- Un sistema a direzione media circa E-W, quasi ortogonale al primo costituito da giunti con immersione verso NNE o verso S, anche in questo caso prevalentemente secondo angoli di inclinazione da medi ad elevati.
- Un terzo sistema con direzione circa NW-SE, immergente a medio angolo verso NE

- Sono inoltre presenti diversi sistemi minori, non evidenziati come massimi sui diagrammi di proiezione stereografica, e numerosi giunti con orientazione non sistematica

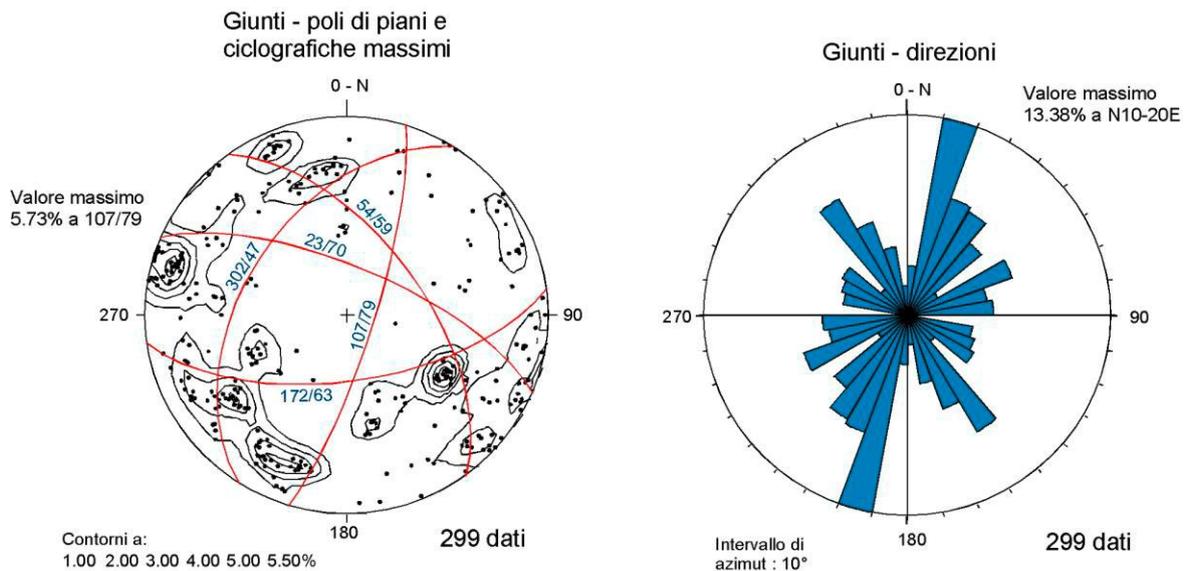


Figura 12 – Proiezione stereografica su reticolo di Schmidt – emisfero inferiore, a contorni di frequenza, poli di piani e ciclografiche dei principali sistemi di giunti – diagramma a rosa delle direzioni dei giunti misurate nell'area oggetto di studio

Si osserva come apparentemente i giunti non sembrano avere un legame geometrico di parallelismo con le direzioni dei sistemi di faglie principali rilevati e nemmeno con i fotolineamenti strutturali principali individuati. Per quanto riguarda il rapporto con le faglie rilevate occorre precisare che, essendo queste rappresentate principalmente da strutture a basso e medio angolo legate geneticamente a preesistenti fasce di deformazione duttile milonitiche, il loro sviluppo non deve avere dato luogo necessariamente a giunti nell'ammasso roccioso circostante paralleli alle faglie. I rapporti geometrici tra le direzioni dei fotolineamenti strutturali ed i sistemi di giunti principali, formanti tra loro un angolo acuto di

circa 30° sembrano suggerire invece lo sviluppo dei giunti associato alle faglie in un contesto di deformazione fragile in cui prevalgono i movimenti di tipo trascorrente.

Per quanto riguarda le spazature e la densità volumetrica dei giunti, i rilievi effettuati hanno messo in evidenza valori molto bassi della prima, con classi di spaziatura più rappresentate 6-20 cm e 0-6 cm e, di conseguenza, un elevato numero di giunti per metro cubo di ammasso roccioso, che nei settori meno deformati è mediamente variabile tra 20 e 40, mentre nei settori più prossimi e bordieri delle zone di faglia può incrementarsi fino a 60-80.

La classificazione qui esposta ha un fine prevalentemente riassuntivo. Va infatti sottolineato che l'importanza dei diversi sistemi di giunti nell'ambito del progetto e della realizzazione dell'opera va valutata caso per caso. E' infatti possibile che in un determinato settore i giunti appartenenti ad esempio ad uno dei sistemi minori assumano un'importanza notevole anche se statisticamente non sono ben rappresentati alla scala dell'intera area di studio. È questo il caso della galleria Sant'Antonino, dove, a seguito di un importante dissesto verificatosi il 3 dicembre del 2007 (cfr. par. 7.1.1.1.1), è stato possibile osservare un assetto tettonico più complicato di quanto ipotizzato alla scala dell'intero progetto, con una diffusa presenza di giunti pervasivi e sistematici e di almeno tre distinte faglie o fasce di concentrazione di superfici di faglia con direzione N-S (all'estremità Est del dissesto) e NE-SO (nella parte centrale dell'area), ed una deformazione della stratificazione che si esplica anche attraverso pieghe geneticamente legate alle faglie (figg. 13 e 14).

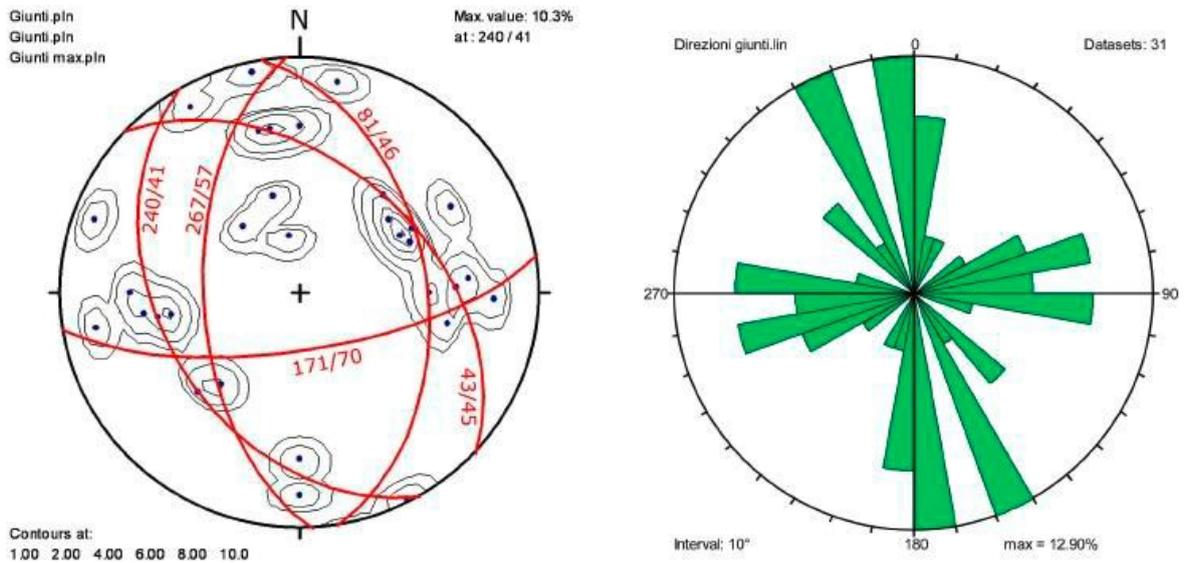


Figura 13 – Proiezione stereografica con contorni di frequenza e diagramma a rosa delle direzioni dei giunti misurati nelle argille marnose nell'area di dissesto (Reticolo equiareale di Schmidt – Emisfero inferiore) – 31 poli di piani. In rosso sono evidenziate le tracce ciclografiche della giacitura media delle principali famiglie.

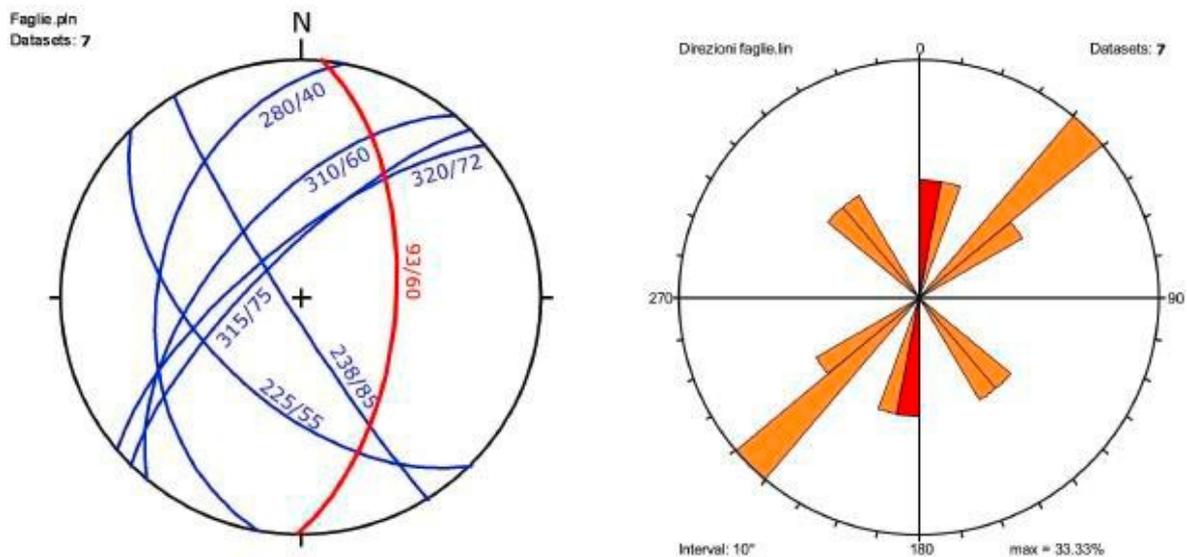


Figura 14 – Proiezione stereografica con tracce ciclografiche e diagramma a rosa delle direzioni delle superfici di faglia misurate nell'area di dissesto, con evidenziata in colore rosso la giacitura della faglia principale con direzione N-S individuata all'estremità orientale dell'area (Reticolo equiareale di Schmidt – Emisfero inferiore) – 7 poli di piani.

6 Successione stratigrafica locale

Le rocce affioranti nell'area indagata possono essere suddivise in due grandi unità lito-stratigrafiche. Questa suddivisione riflette anche un diverso comportamento geotecnico – geomeccanico ai fini progettuali:

1. Rocce appartenenti al basamento cristallino di età Paleozoica;
2. Rocce appartenenti a sequenze sedimentarie di copertura di età Miocenico – Pliocenica e Quaternaria.

Vi sono poi i depositi superficiali riconducibili all'Olocene che riflettono l'evoluzione recente ed attuale della zona in esame.

6.1 Il basamento cristallino (Paleozoico)

Le rocce del basamento cristallino affioranti nell'area rilevata fanno parte dell'Unità di Stilo Auct. descritta nel paragrafo 4.1. Si tratta di un complesso di rocce metamorfiche di età Paleozoica (Orogenesi ercinica), formato da due unità: la prima costituita da scisti e paragneiss biotitici con anfiboliti, coinvolta nel metamorfismo ercinico in facies variabile da scisti verdi a anfibolitica, la seconda da filladi con intercalazioni di metareniti e marmi di grado metamorfico molto basso. Il basamento metamorfico comprende inoltre corpi magmatici di composizione variabile da granitica a tonalitica. Le coperture di questa unità sono formate da una sequenza calcareo–dolomitica Triassico–Cretacea.

Poco a nord dell'area direttamente interessata dal presente progetto, in direzione di Palizzi Superiore, affiorano invece litotipi afferibili all'Unità dell'Aspromonte Auct, rappresentati da ortogneiss occhiadini con frequenti intrusioni di filoni e corpi di leucogneiss e metaapliti.

In particolare, nell'area illustrata nella Carta geologica in scala 1:5.000, è stato possibile eseguire le seguenti distinzioni:

- Paragneiss e scisti biotitici – scisti filladici: si tratta di alternanze decimetriche – plurimetriche di scisti biotitici e gneiss biotitici di colore variabile da grigio – argenteo a bruno a grigio piombo, composti prevalentemente da quarzo, plagioclasio, biotite, muscovite, sillimanite accessoria, localmente più frequente e granato. Presentano una tessitura tipicamente listata definita dall'alternanza di orizzonti di composizione quarzoso – feldspatica e livelli arricchiti nella frazione micacea (prevalentemente biotite). I livelli più scistososi sono caratterizzati dalla prevalenza della frazione micacea rispetto a quella quarzoso feldspatica, la mica prevalente è la biotite. Specialmente nei livelli più competenti a carattere gneissico, sono spesso osservabili caratteristiche tipiche delle rocce di contatto (fels), quali frattura concoide e presenza di minerali tipici, quali sillimanite o andalusite ricristallizzate in modo anisotropo lungo le superfici di scistosità. In subordine, nella stessa suddivisione stratigrafica, sono stati compresi settori in cui gli scisti presentano un aspetto marcatamente filladico, con colore grigio scuro – piombo e caratterizzati da grana molto fine, con cristalli dei minerali costituenti non distinguibili, fitta scistosità a spaziatura submillimetrica, spesso sottilmente crenulata. Gli scisti filladici sono stati accorpati agli scisti e paragneiss biotitici a causa dell'oggettiva difficoltà di tracciare in carta dei limiti di separazione tra i litotipi di differenti carattere, a causa della complicata strutturazione duttile del basamento le cui geometrie non sono definibili sulla sola base degli studi eseguiti nell'area relativamente ristretta di pertinenza del progetto. Intercalati ai prevalenti scisti e paragneiss sono presenti livelli e corpi, di dimensioni non cartografabili, di anfiboliti a grana fine di colore verde scuro, riconosciuti anche in alcuni sondaggi

(SXE). Caratteristica frequente all'interno del complesso metamorfico rilevato è la presenza di filoni aplitici o pegmatitici quarzoso – feldspatici e di graniti muscovitici, di spessore variabile da decimetrico a metrico e continuità laterale da pluridecimetrica a plurimetrica, variamente distribuiti e con frequenza e dimensioni che aumentano approssimandosi al contatto con le unità di ortogneiss presenti a nord dell'area rilevata. Gli scisti affiorano diffusamente nella porzione occidentale dell'area rilevata, da inizio progetto fino al versante destro del Torrente Carcane, e costituiscono i rilievi presenti a monte dell'abitato di Palizzi Marina, tra le incisioni della fiumara di Palizzi – Ambusena e Frasca e del rilievo che sarà per gran parte attraversato dalla galleria "Peristeri"

- Calcarei cristallini brecciati: sono costituiti da breccie monogeniche a supporto di clasti, composte da clasti a spigoli vivi di calcari cristallini di colore crema-biancastro, di dimensioni variabili da centimetriche a decimetriche, in matrice sabbioso-limosa di colore grigio-verdastro fortemente cementata. La matrice presenta distribuzione eterogenea, pertanto, localmente, la breccia si presenta a supporto di matrice. Queste breccie, formanti corpi di dimensioni variabili da plurimetriche ad ettometriche, con spessore da metrico a pluridecimetrico, intercalate all'interno del complesso degli scisti biotitici, sono probabilmente il risultato dell'accoppiamento tettonico tra il basamento e lembi della sua copertura carbonatica, avvenuto durante l'orogenesi alpina. I calcari cristallini brecciati affiorano in prossimità della Cava "Frasca", dove si può osservare il corpo di dimensioni maggiori, oltre che sopra il rilievo presente tra le incisioni dei Torrenti Ambusena e Frasca, in corpi di spessore ed estensione pluridecimetrica, e in livelli e blocchi minori isolati, intercalati all'interno del complesso degli scisti biotitici.

6.2 La sequenza sedimentaria di copertura (Miocene – Pleistocene)

Al di sopra del complesso Paleozoico di basamento è presente una serie di rocce sedimentarie di età compresa tra il Miocene ed il Pleistocene, con contatti di tipo sia tettonico, sia erosionale con discordanze angolari, a testimoniare la vivace attività tettonica nel periodo di sedimentazione, caratterizzato da numerose variazioni dell'ambiente di sedimentazione legate prima all'instaurarsi del bacino jonico di avanarco, poi alla successiva fase estensionale post – Messiniana ed al sollevamento generalizzato pleistocenico. Nella zona interessata dal progetto e rilevata in dettaglio nel corso della campagna di terreno, è stato possibile eseguire le distinzioni descritte nei paragrafi che seguono.

6.2.1 Le formazioni del Miocene Inferiore

- *Sabbie e arenarie.* La formazione è costituita da un complesso rappresentato, essenzialmente, da alternanze di spessore da centimetrico a metrico, di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi e, come verificato con l'esecuzione di alcuni sondaggi, con livelli grossolani di spessore metrico – decimetrico, caratterizzati dalla presenza di ciottoli e blocchi provenienti dal basamento metamorfico scistoso. L'ambiente di sedimentazione è probabilmente quello di scarpata. Gli affioramenti delle sabbie mioceniche sono stati osservati in un settore limitato dell'area rilevata, nella parte medio alta del versante destro idrografico del torrente Carcane ed in un ridotto lembo in prossimità della cava di calcare "Frasca"
- *Argille policrome:* costituiscono un complesso eterogeneo e caotico, con una matrice argillosa nettamente prevalente, inglobante blocchi e lembi senza continuità stratigrafica di arenarie e calcari marnosi. Le argille, localmente sabbiose, presentano colorazione variabile da grigio piombo, a verdastro a rosso vinaccia, con struttura tipicamente

scagliosa determinata dalla presenza di numerosi piani di taglio e/o movimento anastomosati, che rappresentano clivaggi formati probabilmente durante le fasi deformative che hanno interessato la formazione, sia in fase sinsedimentaria, sia di deformazione fragile successiva. L'ambiente di sedimentazione è riferibile a condizioni bacinali o di base scarpata. I blocchi di arenarie inglobate nella matrice argillosa sono costituiti da quarzoareniti a grana grossolana, di colore grigio – biancastro, stratificate, da moderatamente a molto cementate e con numerosi giunti e fratture. Gli affioramenti di argille varicolori sono limitati ad alcune zone in frana attiva lungo il versante destro della valle del Torrente Carcane, mentre sono molto diffusi gli areali di subaffioramento, in zone con suolo di ridotto spessore con colore tipico delle argille e diffusi clasti di calcare marnoso e arenarie, ed in zone con erosione areale diffusa poste sulla sommità di modesti rilievi collinari, sempre nell'area del bacino del torrente Carcane. Affioramenti di blocchi di arenarie sono stati individuati in località Peristeri lungo la strada per Palizzi Superiore e poco a monte della cascina presente nel fondovalle del torrente Carcane.

6.2.2 Il ciclo Serravalliano – Tortoniano

- *Argille marnose ed argille sabbiose:* le argille varicolori sono ricoperte, con contatto probabilmente di tipo tettonico e/o erosionale, da una sequenza silicoclastica, a prevalente carattere pelitico, subordinatamente sabbiosa. La formazione è costituita da argille marnose e argille sabbiose di colore grigio piombo, stratificate, con intercalazioni di livelli di spessore variabile da centimetrico a pluridecimetrico di sabbie medio fini e sabbie limose, oltre a subordinati livelli centimetrici di arenarie fini poco cementate. Nelle zone di maggiore affioramento le caratteristiche visibili della formazione sono tipiche dei sedimenti marnoso argillosi, con rilievi e versanti spesso denudati, con scarso o assente

suolo, processi di erosione areale diffusi e forma calanchive. I caratteri stratigrafici e strutturali sono definibili in particolare dalle stratigrafie dei sondaggi e sulla base dell'osservazione di alcuni scavi eseguiti recentemente. L'areale di affioramento della formazione si estende tra la valle del Torrente Carcane a Ovest e la fine del tratto in progetto verso Est, dove costituisce la base del rilievo collinare di Sant'Antonino. In base alle stratigrafie dei sondaggi eseguiti è possibile affermare che il carattere della formazione varia da prevalentemente argilloso, con sporadiche intercalazioni sabbiose, nella parte inferiore, ad un'alternanza più regolare e sistematica di livelli argillosi e sabbiosi verso la parte stratigraficamente superiore. L'ambiente di sedimentazione è marino di base scarpata. Nel settore occidentale della zona di affioramento le argille marnose presentano un notevole grado di tettonizzazione, con diffusi clivaggi a spaziatura centimetrica, rappresentati da superfici di taglio e movimento, che testimoniano l'intensa deformazione tettonica subita dalla formazione. In base alle osservazioni suesposte, si può considerare che le argille marnose siano in questa zona in contatto tettonico con le sottostanti argille varicolori, anch'esse notevolmente tettonizzate.

6.2.3 Le formazioni plioceniche

- *Sabbie e Conglomerati a blocchi*: al di sopra dei sedimenti Serravalliani – Tortoniani, con un contatto erosionale che segna una evidente discordanza stratigrafica (mancano in questa zona i sedimenti evaporitici di età messiniana), si trova una formazione pliocenica costituita da sabbie grossolane con livelli a ciottoli e blocchi di dimensioni fino oltre 1 metro di diametro, ben arrotondati, di rocce metamorfiche e granitoidi, interposta tra le argille marnose e la soprastante formazione dei Trubi. Gli affioramenti osservati di questa formazione sono limitati all'estremità orientale dell'area rilevata, in prossimità dello

sbocco a mare della valle del Torrente Simmero e, subordinatamente, al piede del versante Orientale del rilievo di Sant'Antonino. I numerosi ciottoli e blocchi di granitoidi e di rocce metamorfiche osservabili nei prodotti colluviali ricoprenti le argille marnose anche nella valle del Torrente Carcane, lasciano intendere che, seppur non affioranti direttamente, questi depositi possano essere presenti, magari sotto forma di lembi discontinui, lungo tutta l'estensione del contatto erosionale di base del Pliocene. L'ambiente di sedimentazione di questi depositi è probabilmente riferibile ad un conoide alluvionale costiero continentale o ad un delta transizionale verso l'ambiente marino

- *Formazione dei Trubi:* Si tratta della tipica formazione a carattere marnoso – siltoso pliocenica diffusa in gran parte della costa ionica meridionale della Calabria. E' costituita da alternanze ritmiche piuttosto regolari di strati di spessore pluridecimetrico (da 40 – 50 cm a più di 1 metro) di marne argillose di colore grigio e di siltiti ed areniti fini carbonatiche a foraminiferi di colore biancastro - giallastro. Nella parte inferiore della formazione prevalgono le siltiti carbonatiche e non si riconoscono le alternanze ritmiche caratteristiche (questa particolarità della formazione è bene osservabile negli affioramenti posti in sinistra idrografica del basso vallone del Torrente Simmero, dove è visibile il contatto di base dei Trubi al di sopra delle sottostanti sabbie con ciottoli e blocchi). La formazione affiora diffusamente a partire dal versante destro del torrente Carcane, dove forma la parte medio – alta del rilievo di Sant'Antonino, fino a fine progetto. Sul lato verso il mare del rilievo collinare la formazione è estesamente esposta grazie ai processi di erosione accelerata sia areale, sia canalizzata nelle numerose incisioni con andamento dendriforme presenti sul fianco collinare. I depositi marnosi sono decisamente costipati, mentre i livelli più carbonatici sono cementati e presentano un diffuso reticolo di giunti e clivaggi determinati dalla deformazione fragile subita. Spesso le porzioni più corticali si

presentano rilasciate e disarticolate, non permettendo di valutare la giacitura della stratificazione. Per quanto riguarda l'ambiente di sedimentazione si tratta di depositi marini di bacino con variazioni periodiche regolari delle condizioni di sviluppo dei microorganismi a scheletro carbonatico (causa della formazione delle alternanze ritmiche).

6.2.4 I depositi pleistocenici

- *Sabbie e Conglomerati*: le coperture di età pleistocenica sono rappresentate da depositi sabbioso conglomeratici di colore variabile da grigio a bruno giallastro, localmente bruno rossastro, costituiti da sabbie grossolane, stratificate, con livelli di ghiaie con ciottoli e blocchi arrotondati o subarrotondati, localmente spigolosi, di natura metamorfica, granitica ed aplitica, da sciolte a moderatamente cementate. I depositi affiorano normalmente su superfici terrazzate o in corrispondenza di relitti di tali superfici. Localmente alla base, specie dove i depositi poggiano in discordanza direttamente sul substrato metamorfico sono presenti livelli con blocchi arrotondati di dimensioni pluridecimetriche. L'ambiente deposizionale è fortemente variabile in considerazione della vivace attività tettonica sinsedimentaria, che determinava la suddivisione del substrato in blocchi sollevati e blocchi depressi, con conseguente formazione di condizioni continentali prossime a settori di ambiente francamente marino, senza una netta e ricostruibile separazione. Tali depositi vengono quindi attribuiti ad ambienti di deposizione sia continentali, sia marini e sia transizionali. Gli affioramenti di questi depositi osservati nel corso del rilievo geologico si localizzano sulla sommità del rilievo attraversato dalla galleria Palizzi Marina, dove presentano carattere sabbioso con lenti e livelli di ghiaie medie; in prossimità della cava Frasca e lungo il versante che di qui digrada verso

l'abitato di Palizzi Marina, con carattere più grossolano e clasti metamorfici a basso grado di arrotondamento; come lembi relitti sulla sommità dei rilievi di Sant'Antonino, sul versante sinistro del vallone del torrente Carcane, dove si presentano come ghiaie, ciottoli e blocchi in matrice sabbiosa bruno – rossastra. La variabilità di queste facies conferma come gli ambienti deposizionali dovessero essere eterogenei, anche se i caratteri dei depositi osservati sembrano generalmente quelli di depositi di tipo continentale.

6.2.5 I depositi Olocenici

In questa categoria rientrano tutti quei depositi legati all'evoluzione geologica recente ed attuale della zona in esame. Tra questi depositi sono stati distinti:

Depositi alluvionali attuali e depositi alluvionali antichi e recenti: costituiscono il riempimento dei fondovalle e sono legati all'attività di trasporto fluviale o torrentizia. La granulometria dei depositi è funzione dell'energia del corso d'acqua, oltre che delle caratteristiche dei terreni presenti all'interno del bacino idrografico. Data la variabilità geologica della natura dei terreni presenti all'interno dei bacini principali che interessano l'area, anche i depositi alluvionali presentano caratteristiche granulometriche variabili. In generale si tratta di depositi eterogenei, costituiti generalmente da alternanze di livelli e lenti a granulometria variabile da limosa a sabbiosa a ghiaiosa, fino a blocchi di dimensioni decimetriche. I livelli a granulometria più grossolana presentano matrice di natura sabbiosa o sabbioso - limosa. Possono essere presenti, e le indagini dirette eseguite lo confermano, sporadici livelli fini, a granulometria limoso - argillosa. Saranno descritti di seguito i caratteri peculiari dei depositi alluvionali presenti nei fondovalle dei diversi bacini:

- Nel fondovalle della Fiumara di Palizzi, che costituisce il principale corso d'acqua della zona interessata dal progetto, prevalgono i depositi a granulometria grossolana, in generale sabbioso – ghiaiosi – ciottolosi con livelli a blocchi di dimensioni decimetriche e pluridecimetriche. Le indagini eseguite permettono di affermare che la stratigrafia del riempimento di fondovalle è piuttosto eterogenea, con livelli e lenti sovrapposti ma anche affiancati – eteropici a granulometria variabile da prevalenti ghiaie in matrice sabbiosa grossolana, a prevalenti ciottoli e blocchi, con subordinate intercalazioni di materiale sabbioso limoso a varie profondità e probabilmente nel settore più corticale esterno all'alveo. Lo spessore del riempimento del fondovalle raggiunge i 25 – 30 metri. Depositi ghiaiosi grossolani caratterizzano anche il limitato riempimento del fondovalle del Torrente Frasca.
- Nel bacino del Torrente Carcane prevalgono i sedimenti a granulometria fine (sabbioso-limosi e limoso-argillosi), che costituiscono un sottile strato, al massimo di 2-3 metri di spessore, poggianti al di sopra del substrato argilloso.
- Nel bacino del Torrente Simmero, i depositi alluvionali sono costituiti da sedimenti di natura prevalentemente sabbiosa, con livelli ghiaiosi e ciottolosi subordinati, come quelli visibili all'interno dell'alveo attivo. Lo spessore del riempimento è ridotto rispetto al fondovalle della Fiumara di Palizzi, i sondaggi eseguiti hanno mostrato uno spessore della coltre variabile tra 5 e 10 metri, anche se l'indagine geoelettrica mette in evidenza la possibile presenza di una paleo incisione in cui lo spessore potrebbe raggiungere i 15 – 20 metri.
- *Depositi detritici di probabile origine torrentizia:* si tratta di depositi eterogenei a supporto di matrice costituiti da clasti e blocchi di diversa natura (scisti biotitici e filladici, calcari e arenarie in prevalenza), in matrice limoso - sabbiosa, di probabile natura torrentizia o da

fenomeni di trasporto in massa (colate) canalizzate lungo le incisioni presenti nel versante destro della valle del Torrente Carcane, organizzati in conoidi coalescenti. L'attribuzione di questi depositi superficiali è stata eseguita, oltre che a seguito dell'osservazione di alcuni affioramenti localizzati all'interno di una delle incisioni sopracitate, anche su base morfologica, in quanto le forme presenti nella zona di pertinenza ricordano quelle di apparati di conoide o corpi di accumulo di fenomeni di trasporto di massa coalescenti.

- *Depositi detritici e gravitativi* si formano in genere alla base delle scarpate e derivano dalla disgregazione fisica delle rocce in posto (in genere delle rocce cristalline), oppure dall'accumulo di materiali a seguito di fenomeni gravitativi e di frana, quali crolli e colamenti (sia nelle zone di affioramento del substrato metamorfico che delle formazioni sedimentarie di copertura). Si tratta di depositi eterogenei costituiti da clasti centimetrico - decimetrici a spigoli vivi e blocchi decimetrici in subordinata matrice sabbioso - limosa, con struttura a supporto di clasti ed organizzati in falde ed accumuli posti al piede dei principali versanti.
- *Depositi detritici eluvio – colluviali: questi depositi derivano dal rimaneggiamento, con disgregazione chimico fisica e subordinatamente ridotto trasporto in condizioni morfologiche di pendio del substrato sottostante.* Si tratta di depositi detritici a supporto di matrice (sabbioso limosa od argillosa), con clasti di natura determinata dal substrato sul quale sono impostati, Presentano granulometria più grossolana sui litotipi del basamento metamorfico, dove spesso sfumano nello strato di alterazione superficiale dell'ammasso roccioso. Al di sopra dei litotipi miocenici argilloso - marnosi presentano granulometria più fine (limoso – argillosa o sabbiosa). Sono stati distinti nelle carte geologica e geomorfologica di dettaglio ove presentano spessori stimabili superiori ad 1

metro, potendo raggiungere una potenza massima di circa 4 – 5 metri, oltre i quali sfumano e possono essere ricompresi all'interno dei depositi gravitativi. Sono diffusi largamente a copertura del substrato roccioso metamorfico, ma anche, e con spessori maggiori, sulle formazioni argillose mioceniche, sia le argille varicolori e sia, in particolare delle argille marnose. Una delle coltri più importanti di depositi colluviali è individuabile sul versante sinistro del Torrente Carcane, a sud Est dell'imbocco della Galleria Sant'Antonino, dove risulta costituita da materiale limoso – argilloso di colore biancastro grigio, con diffusi ciottoli e blocchi di rocce cristalline provenienti dalle soprastanti formazioni plioceniche. Lo spessore della coltre, valutabile sulla base della profondità delle numerose incisioni presenti in questo settore di versante, è di almeno 3 – 4 metri. Questa coltre di depositi colluviali dà origine, in occasione di precipitazioni intense, a colate di fango incanalate lungo l'alveo di un affluente di sinistra del Torrente Carcane.

7 Schema Geomorfologico

Nel presente capitolo verranno descritti gli aspetti geomorfologici dell'area interessata dall'opera, con particolare riguardo alle problematiche, principalmente legate all'attività di versante, che possono interagire con l'opera stessa.

7.1 Area indagata e metodo di indagine

Lo studio geomorfologico generale è stato eseguito contemporaneamente al rilevamento geologico-strutturale, quindi sulla stessa area descritta al cap. 1, alla stessa scala di dettaglio, 1:2000 e 1:1000, utilizzando le basi topografiche fotorestituite alla scala 1:2000.

Lo studio di terreno è stato affiancato da un'attività di fotointerpretazione con stereovisore Topcon dei fotogrammi del Volo Regione Calabria 2001, realizzato dalla Compagnia Generale Riprese Aeree (CGR - Parma) in scala 1:17.000 circa, a colori, per tutta l'area indagata; in Tabella 1 sono riportati gli estremi dei fotogrammi utilizzati.

Tabella 1 – Elenco dei fotogrammi del volo Calabria 2001 utilizzati per la fotointerpretazione

<i>Strisciata</i>	<i>Fotogrammi</i>
272	da 5175 a 5180
217	da 1127 a 1131
220	da 2098 a 2102

Successivamente i dati derivati dalla fotointerpretazione sono stati integrati con quelli desunti dal rilevamento di terreno, in particolare per quanto riguarda gli affioramenti di substrato pre-quadernario e per la perimetrazione e l'ubicazione delle frane di piccole dimensioni.

Le osservazioni eseguite sono state in seguito confrontate con la cartografia del PAI della Regione Calabria, per un riscontro delle varie forme legate all'attività di versante e fluviali attive e con pericolosità geomorfologica ivi rappresentate.

I risultati dello studio sono rappresentati in una carta geomorfologica in scala 1:5.000, realizzata utilizzando come base topografica le planimetrie allegate al progetto. Nella carta geomorfologica, oltre agli stessi elementi rilevabili sulle carte geologica e geologico-strutturale di dettaglio, fatta eccezione per i dati relativi alle giaciture delle strutture misurate, sono stati riportati gli elementi di carattere geomorfologico utili alla caratterizzazione dell'area ed all'individuazione delle problematiche potenzialmente interferenti con l'opera in progetto.

Le suddivisioni adottate per la descrizione di tali elementi sono descritte nel paragrafo successivo.

7.1.1 Elementi di carattere geomorfologico

7.1.1.1 Attività di versante

Sono innanzitutto state distinte le aree in frana attiva da quelle in frana quiescente o stabilizzata naturalmente. Per entrambi questi elementi sono stati rappresentati in carta l'orlo di scarpata di frana ed il limite cartografico dell'estensione areale del fenomeno. Inoltre è stato riportato in carta un sovrasimbolo areale per rappresentare le evidenze morfologiche di deformazione gravitativa non altrimenti rappresentabili, a spese della coltre superficiale di copertura. La prima tipologia di frane (attive) è caratterizzata da elementi morfologici ben visibili e netti, che testimoniano la presenza di movimento recente; la seconda (quiescenti) è riconoscibile per la presenza di elementi morfologici generalmente rimodellati, che spesso

non permettono la precisa individuazione del corpo di frana e del tipo di movimento, e che testimoniano l'assenza di significativi movimenti recenti.

Le frane individuate, pur se non distinte con appositi simboli differenziati, rientrano nelle seguenti categorie, scelte facendo riferimento alla classificazione di Cruden & Varnes (1994):

- *Frane con meccanismo prevalente di crollo.*
- *Frane con meccanismo prevalente di scivolamento rotazionale.*
- *Frane con meccanismo prevalente di colamento veloce*
- *Frane con meccanismo prevalente di colamento lento coinvolgente lo strato superficiale (profondità circa 1-2 m).*
- *Frane con meccanismo prevalente di colamento lento coinvolgente uno spessore massimo di circa 5-10 m; per le quali, durante la fase parossistica, il movimento può diventare veloce.*

Tra le evidenze morfologiche di attività legate alla dinamica di versante sono state anche differenziate e segnalate sulla cartografia, le aree o porzioni di versante interessate da diffusi ed intensi processi di erosione areale, che si esplicano attraverso un denudamento generalizzato dei versanti, specie dove non è presente una coltre di suolo di spessore significativo. In queste aree sono presenti, oltre a processi erosivi areali diffusi, anche fenomeni di erosione lineare incipienti in un fitto reticolo di piccoli impluvi poco pronunciati e non distinguibili singolarmente, oltre a numerose piccole frane di colamento veloce, scivolamento rotazionale o crollo, non cartografabili singolarmente e innescate dai processi erosivi diffusi a spese della ridotta coltre colluviale (di spessore generalmente inferiore ad 1 metro).

Legati a questi processi di erosione areale progressiva, è stato individuato in cartografia un ulteriore elemento, ad andamento lineare, costituente l'orlo di scarpata di arretramento morfologico. Questi orli di scarpata sono generalmente localizzati alla sommità dei versanti caratterizzati da diffusi processi di erosione areale, e delimitano verso monte l'area di versante fino ad oggi rimodellata dai suddetti processi geomorfologici.

7.1.1.2 Attività fluvio-torrentizia e marina

Gli elementi morfologici legati all'attività fluvio-torrentizia e marina indicati sono rappresentati, dagli orli di scarpata di erosione fluviale, torrentizia e marina, dalle incisioni principali in cui sono individuabili fenomeni di erosione lineare concentrata e dalle tracce di possibili alvei abbandonati o paleoalvei.

I primi sono stati rappresentati indifferenziati in carta e sono costituiti dai seguenti elementi:

- *Orli di scarpata di erosione fluviale:* sono gli orli o cigli superiori dei terrazzi presenti ed individuabili, sia sul terreno che da fotointerpretazione, a lato delle principali incisioni vallive intersecate dall'opera in progetto (Fiumara di Palizzi, Torrente Carcane e Torrente Simmero).
- *Orli di scarpata di erosione torrentizia:* sono gli orli di scarpata che delimitano i tratti d'alveo particolarmente incisi dei corsi d'acqua minori, a carattere effimero. Il simbolo è quindi solitamente accoppiato all'indicazione relativa alle incisioni con erosione lineare concentrata.
- *Orli di scarpata di erosione marina:* delimitano le scarpate, non direttamente o indirettamente connesse o parallele ad un corso d'acqua, che possono essere il risultato

dell'erosione marina e rappresentare i relitti di vecchie linee di costa, ora posizionate a quote molto superiori al livello del mare per effetto dell'intenso sollevamento recente.

Inoltre sono stati distinti:

- *Erosione lineare di fondo concentrata*, generalmente localizzata all'interno degli alvei di corsi d'acqua minori effimeri particolarmente incisi. Questi elementi morfologici sono piuttosto frequenti nei settori di versante caratterizzati da erosione areale diffusa (in particolare nella zona di affioramento dei depositi argilloso-marnosi miocenici e pliocenici).
- *Alvei abbandonati e Paleoalvei*: situati all'interno delle fasce di fondovalle delle fiumare (in particolare quella di Palizzi) non riattivabili dal corso d'acqua, anche a seguito della realizzazione di opere di difesa spondale sistematiche.

7.1.1.3 Attività antropica

Le modificazioni antropiche del territorio introducono spesso delle ulteriori caratteristiche geomorfologiche significative per l'assetto dell'area interessata dalle opere, in particolare per quanto riguarda le sistemazioni idrauliche dei corsi d'acqua. L'individuazione delle forme di terrazzamento e dei rilevati antropici rivestono inoltre un'importanza progettuale per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche dei terreni di appoggio dei rilevati o di stabilità dei pendii in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie.

Sono stati distinti nella cartografia geomorfologica i seguenti elementi:

- *Principali depositi antropici*: presenti anche sulla carta geologica, sono le aree di accertata o presunta presenza di depositi di riporto, costituiti da materiale eterogeneo per natura e granulometria, generalmente caratterizzato da scarse qualità geotecniche.

- *Orli di scarpata di origine antropica: si tratta degli orli di scarpata di rilevati e scavi antropici. Sono comprese in questa categoria le scarpate e cigli di cava. La maggior parte delle scarpate antropiche individuate corrisponde a orli di terrazzamenti artificiali, realizzati sui versanti o al raccordo tra questi ed i fondovalle principali, con finalità di tipo agricolo – colturali.*
- *Opere di difesa idraulica longitudinali e trasversali: sono le opere di difesa, costituite da muri di sponda longitudinali in calcestruzzo e briglie trasversali anch'esse in calcestruzzo, costruite a difesa dei principali corsi d'acqua della zona. (Fiumara di Palizzi, Torrente Frasca, Torrente Carcane e Torrente Simmero)*

7.2 Risultati e confronto con la cartografia PAI

Lo studio ha permesso di individuare le caratteristiche geomorfologiche generali dell'area attraversata dal tracciato dell'opera in progetto e le criticità geomorfologiche relative alle zone degli imbocchi delle gallerie e dei tratti in rilevato o scavo previsti in progetto. L'area indagata è caratterizzata da una morfologia legata alle diverse unità geologiche affioranti, alla tettonica fragile conseguente al notevole sollevamento recente (faglie) ed all'attività erosiva fluvio-torrentizia e marina. Si possono individuare due aree con caratteristiche geomorfologiche ben distinte, che saranno descritte nei paragrafi che seguono. Le indicazioni dei fenomeni franosi individuati dal PAI, distinti tra attivi e quiescenti, sono state riportate graficamente sulle carte geomorfologiche allegate, con i relativi codici identificativi.

7.2.1 Inizio progetto – Località Peristeri

Nella metà iniziale del lotto, da inizio progetto a circa 2/3 dell'estensione della galleria Peristeri, la morfologia è condizionata dall'affioramento del basamento metamorfico scistoso,

con pendii acclivi sia sul lato verso il mare che lungo le incisioni vallive della fiumara di Palizzi e dei torrenti Ambusena e Frasca. Le incisioni dei corsi d'acqua si sono sviluppate sfruttando linee di debolezza della roccia connesse con la presenza di faglie, come rilevabile con lo studio fotogeologico, che mette in evidenza, per ogni incisione, la presenza di una o più orientazioni combinate, riferibili ai sistemi di fotolineamenti descritti al paragrafo 5.3.2.

In particolare, l'incisione di fondovalle della fiumara di Palizzi, con andamento generale N-S, poco a valle dell'attraversamento del tracciato di progetto, compie una brusca deviazione in direzione E-SE, direttrice allineata lungo un fotolineamento con la stessa direzione. I torrenti Ambusena e Frasca si trovano in incisioni allineate lungo fotolineamenti di direzione circa NNE-SSW e NE-SW. Nei pressi della località Peristeri, infine, il rilievo di scisti metamorfici si interrompe bruscamente lungo una scarpata corrispondente con un lineamento, materializzato sul terreno da un solco rettilineo orientato circa N-S.

L'assetto geomorfologico naturale del settore di piana alluvionale è profondamente influenzato dalle opere di sistemazione idraulica del corso d'acqua, il cui alveo attivo scorre incanalato tra muri di sponda continui in calcestruzzo, sovrelevati di circa 1.5–2 metri rispetto alla piana esterna ai muri. La quota del fondo alveo attuale è invece più bassa di circa 1–1,5 metri rispetto al livello della piana stessa. Sono inoltre presenti 2 briglie trasversali con gaveta distanziate di circa 250 metri atte a ridurre la pendenza del tratto di alveo a valle della curva verso E-SE e limitare l'erosione di fondo. Le osservazioni di terreno permettono di affermare che le opere di difesa eseguite sono efficaci al fine di evitare la divagazione dell'alveo attivo nel fondovalle alluvionale, l'erosione laterale delle sponde e l'approfondimento erosivo del fondo alveo, a meno degli effetti di eventi alluvionali estremi.

Un'altra caratteristica geomorfologica di questo primo settore è la presenza di superfici sub-pianeggianti, normalmente occupate da lembi di depositi pleistocenici, che

rappresentano il relitto di vecchie superfici topografiche pianeggianti modellate sia dall'erosione marina, sia dalle deformazioni tettoniche fragili di tipo distensivo che hanno interessato, dal pleistocene ad oggi, la zona di studio.

Per quanto riguarda i fenomeni di tipo gravitativo, sono state individuate frane attive per crollo nel settore iniziale (sopra la galleria artificiale esistente ad inizio lotto) e sul versante destro dell'incisione del Torrente Ambusena, dove anche sulla cartografia PAI sono riportate una generica indicazione di "Zona franosa attiva profonda" (codice PA6) ed una frana per scorrimento, cartografata con zona di coronamento a valle dell'edificio sito a monte dell'imbocco lato TA della galleria Ambusena (presente nell'aggiornamento 2016 del PAI, non ancora vigente, ma non ancora codificata). Entrambe le frane sono classificate con un Indice di Pericolosità 4 (IP4: pericolosità molto elevata). Dalla consultazione della cartografia PAI pubblicata sul portale webgis dell'Autorità di Bacino della Calabria, tali frane intersecano il tracciato rispettivamente in corrispondenza delle pk da 0+903 a 0+946 circa e dell'imbocco lato TA della galleria Ambusena.

In corrispondenza del tratto interessato dai suddetti fenomeni franosi, in occasione del primo appalto, relativo alla canna di monte, allo scopo di proteggere l'opera è stata disposta l'esecuzione di una paratia di pali di grande diametro (1200 mm), con interasse 1,50 m, nonché un prolungamento dei tratti in naturale ed artificiale della galleria Ambusena.

Una frana complessa quiescente è stata individuata sul versante destro del torrente Frasca, di fronte alla cava di calcare; questa stessa frana è indicata anche sulla cartografia PAI (codice PA22) come "frana di scorrimento quiescente" e classificata con Indice di Pericolosità 2. Sempre in questa zona ed in merito a quanto riportato sulla cartografia PAI, non sono state invece rilevate evidenze della presenza delle due frane riportate con i codici PA23 (frana di scorrimento attivo), sebbene quest'ultima da cartografia interferisca con il

tracciato tra le pk 1+069 e 1+149 circa, e PA24 (frana di scorrimento quiescente), classificate rispettivamente con Indici di Pericolosità 4 e 2, ed ubicate sul versante destro del Torrente Frasca tra le gallerie Ambusena e Peristeri, e sul versante sinistro della fiumara di Palizzi, a ridosso dell'imbocco della galleria Ambusena lato Reggio Calabria e della spalla lato Taranto del Viadotto Fiumara di Palizzi. In queste aree i rilievi di terreno hanno messo in evidenza la presenza di substrato roccioso da affiorante a subaffiorante o con debole copertura di depositi colluviali, ma non di indizi delle due frane che sono probabilmente state ipotizzate solo su base fotointerpretativa.

Questi argomenti saranno maggiormente dettagliati nel capitolo 11, relativo all'analisi dell'interazione tra le opere in progetto ed il contesto geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico.

7.2.2 Località Peristeri – Fine Progetto

Il settore successivo, dalla parte terminale della galleria Peristeri fino a fine progetto, è caratterizzato da una morfologia più dolce, con pendii meno acclivi e con altre peculiarità tipiche delle zone di affioramento di unità argillose e argilloso marnose.

In tutta la valle del Torrente Carcane, area di affioramento del complesso delle Argille Policrome e delle argille marnose mioceniche sono molto diffuse le frane, sia quiescenti che attive, innescatesi per le scarse qualità geotecniche dei terreni argillosi e favorite in alcuni casi dallo scalzamento al piede del versante operato dall'erosione torrentizia. Sono da citare due frane per colamento lento superficiale ed una evidente frana attiva per scivolamento rotazionale (fig. 15) localizzate in località Peristeri sul versante destro della valle del Torrente Carcane (nessuna delle quali segnalata sulle cartografie PAI).



Figura 15 – Frana per scivolamento rotazionale nelle argille policrome mioceniche a valle della strada per Palizzi Superiore, in località Peristeri.

Il versante sinistro della stessa valle, fino al crinale, è stato oggetto di un notevole intervento antropico di riprofilatura a seguito di un importante dissesto, che ha mobilizzato un volume di circa 500.000 mc, occorso il 3 dicembre 2007 durante lo scavo della galleria Sant'Antonino, lato Reggio Calabria (fig. 16). Tale intervento di sistemazione, inoltre, ha obliterato una serie di più o meno estesi fenomeni gravitativi antecedenti l'evento del 3/12/2007, essenzialmente di tipo colamento lento da superficiale a profondo, in generale quiescenti ma che presentavano evidenze di riattivazione, in particolare in prossimità del piede del versante. Una di queste frane è ancora segnalata dalla cartografia PAI (codice PA27.1) come "frana di scorrimento attiva" e classificata con Indice di Pericolosità 4, ricadente in corrispondenza dell'imbocco lato RC della suddetta galleria.



Figura 16 – Versante di imbocco della galleria S.Antonino, oggetto di intervento di riprofilatura.

Per quanto riguarda la morfologia da attività di versante, combinata con l'attività torrentizia, in questo settore si segnala una vasta area poco acclive in corrispondenza ed a ridosso degli imbocchi lato Taranto della galleria Peristeri, dove apparentemente vi sono forme di accumulo torrentizio tipo conoidi coalescenti risultanti da vecchi fenomeni di colata o debris flow incanalati lungo le due incisioni principali presenti in zona e provenienti dal soprastante versante modellato negli scisti di basamento e nelle sabbie mioceniche. Localmente queste incisioni sono pronunciate e potranno interferire con le opere.

In questa zona, ed in particolare lungo il versante sinistro del vallone del Torrente Carcane, lato NordOvest del rilievo di S.Antonino si segnala la diffusa presenza di fenomeni di erosione calanchiva a spese dei depositi colluviali superficiali e della parte più alterata del

substrato argilloso. Da questi calanchi affluiscono verso valle colate di fango in occasione di precipitazioni intense, che potranno interferire con la futura sede stradale a valle dell'imbocco della Galleria Sant'Antonino.

Sul lato Est del rilievo di Sant'Antonino (versante destro della valle del Torrente Simmero) si segnalano diffusi processi di erosione areale a spese della formazione dei Trubi e delle sue porzioni superficiali disarticolate e colluviate (segnalate anche sulla cartografia PAI), oltre ad una estesa frana quiescente sistemata con terrazzamenti antropici. Le due frane quiescenti indicate con i codici PA26 (frana complessa quiescente) e PA25 (frana per colamento quiescente), entrambe classificate con Indice di Pericolosità 2, non trovano un evidente riscontro dai dati di terreno, la prima essendo rappresentata forse da più fenomeni di estensione minore, la seconda dagli stessi processi di erosione accelerata ed accumuli di depositi colluviali con indizi di colamento superficiale (rigonfiamenti e ondulazioni di ampiezza plurimetrica, che lasciano intendere una profondità del fenomeno di alcuni metri al massimo, corrispondenti probabilmente allo spessore di depositi colluviali) al piede del versante soprastante gli imbocchi lato Taranto della Galleria Sant'Antonino.

Per quanto riguarda la geomorfologia del fondovalle del torrente Simmero, si segnala la presenza di terrazzi di erosione bordieri allineati parallelamente alla direzione del corso d'acqua. Come per la Fiumara di Palizzi, anche il Torrente Simmero è stato dotato di difese di sponda longitudinali e briglie trasversali in calcestruzzo, per cui l'attività di divagazione del corso d'acqua è delimitata all'interno delle sponde artificiali dell'alveo attivo.

Anche per questo settore le interferenze delle frane con l'opera in progetto saranno maggiormente dettagliate nel capitolo 11, relativo all'analisi dell'interazione tra le opere in progetto ed il contesto geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico.

8 Schema Idrogeologico

In questo capitolo verranno presentate e descritte le caratteristiche idrogeologiche della zona di studio. Inizialmente verranno definiti i complessi idrogeologici riconoscibili, quindi verrà presentata una sintesi delle misure piezometriche disponibili ed infine una caratterizzazione dei punti d'acqua (pozzi) censiti nell'area interessata dall'opera. Le interferenze di natura idrogeologica con l'opera verranno invece descritte nel capitolo 11, attraverso l'analisi del tracciato lungo l'opera in progetto.

8.1 Complessi idrogeologici

La definizione dei complessi idrogeologici si basa sulla distinzione dei litotipi affioranti sulla base delle loro caratteristiche di permeabilità. Quest'ultima dipende principalmente dal carattere sedimentario o cristallino delle rocce. Nel primo caso la permeabilità è legata principalmente alla porosità del sedimento, la quale dipende a sua volta dalla granulometria, dal grado di addensamento della matrice, dalla cementazione (permeabilità primaria). Nel secondo caso l'influenza della porosità sarà praticamente trascurabile e la permeabilità sarà principalmente funzione della fratturazione della roccia. In entrambi i casi si può poi registrare un aumento della permeabilità dovuto a fenomeni di alterazione e/o dissoluzione (permeabilità per carsismo "*sensu lato*").

In riferimento ai litotipi descritti nel capitolo 6, e tenendo conto delle prove di permeabilità (essenzialmente di tipo Lefranc) effettuate nei fori di sondaggio, è possibile riconoscere i seguenti complessi idrogeologici (riportati nella Carta idrogeologica in scala 1:5000):

- **Complesso metamorfico:** questo complesso comprende tutte le rocce di natura cristallina che costituiscono il basamento Paleozoico, ovvero i paragneiss e gli scisti biotitici, gli

scisti filladici e gli gneiss aplitici filoniani. Si tratta di rocce caratterizzate da una permeabilità per fratturazione da media a bassa come evidenziato da entrambe le prove di permeabilità realizzate negli scisti incontrati dai sondaggi S2E (da 8.55 m a 10.00 m), con una permeabilità media pari a $1.55 \cdot 10^{-6}$ m/s ed SXE (da 36.00 m a 60.00 m) con permeabilità media valutata pari a $6.14 \cdot 10^{-7}$ m/s. Locali variazioni di permeabilità sia in senso orizzontale che verticale sono possibili in funzione del differente grado di fratturazione della roccia e della presenza di livelli di scisti filladici. Variazioni della permeabilità rispetto alla media del complesso sono inoltre legate alla presenza delle zone di faglia in corrispondenza delle quali si osserva un incremento del grado di fratturazione della roccia che può implicare un locale aumento della permeabilità. È importante sottolineare che tale aumento della fratturazione è proprio delle salbande di deformazione, ovvero delle porzioni più esterne delle zone di faglia (cfr. paragrafo 5.3.1). La porzione più interna è spesso caratterizzata dalla presenza di rocce sabbioso-limose-argillose (rocce di faglia) in corrispondenza delle quali si può invece osservare un brusca diminuzione della permeabilità e che pertanto possono fungere da barriera idraulica tra due compartimenti adiacenti della stessa falda.

- *Complesso carbonatico*: è rappresentato dalle brecce carbonatiche a clasti di marmi giurassici in matrice sabbioso - limosa. In mancanza di prove di permeabilità eseguite nei sondaggi che hanno incontrato questo litotipo, si può qualitativamente attribuire una permeabilità media, compresa intorno a $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Locali incrementi fino a grado alto, dovuti alla maggiore fratturazione o alla comparsa di fenomeni di debole dissoluzione di carbonati (carsismo in senso lato) sono possibili come verificato in base alle osservazioni di terreno.

- *Complesso sabbiosopelitico*: è costituito dalle sabbie alternate a sabbie limose e limi, con locali livelli grossolani a ciottoli e blocchi di basamento metamorfico: le prove di permeabilità tipo Lefranc eseguite in corrispondenza di questi terreni nei sondaggi S6bisE (da 13.00 m a 16.00 m – k medio = $5.77 \cdot 10^{-6}$ m/s) e S8E (da 10.50 m a 12.00 m – k medio = $4.89 \cdot 10^{-6}$ m/s) consentono di attribuire al complesso un grado di permeabilità, per porosità, medio.
- *Complesso Argilloso - Marnoso*: comprende le argille policrome e le argille marnoso – sabbiose del miocene. Le prove di permeabilità Lefranc eseguite nei sondaggi S7E (da 13.50 m a 21.50 m – k medio = $6.77 \cdot 10^{-7}$ m/s) e S9E (da 14.00 m a 16.70 m – k medio = $9.24 \cdot 10^{-8}$ m/s) permettono di attribuire a questo complesso una permeabilità, per porosità e fratturazione, vista la diffusa presenza di clivaggi sia nelle argille marnose, sia nelle argille policrome, da media a bassa, ma più spostata verso valori bassi. Locali variazioni in aumento della permeabilità orizzontale possono essere legate alla presenza, specie all'interno della formazione delle argille marnose, di livelli di sabbie fini.
- *Complesso Marnoso*: comprende la formazione dei Trubi. In mancanza di prove di permeabilità eseguite nei sondaggi (che peraltro non hanno mai incontrato questa formazione, che inoltre non sarà interessata dallo scavo delle gallerie, ma solo marginalmente dallo scavo della trincea nel settore terminale del progetto) le caratteristiche di permeabilità di questo complesso possono essere assunte paragonabili a quelle del sottostante complesso argilloso – marnoso. La distinzione in un complesso a sé stante è giustificata dal fatto che alla base dei Trubi è presente un livello sabbioso–conglomeratico che costituisce una soluzione di continuità tra i due complessi con caratteristiche di permeabilità simili.

- *Complesso sabbioso conglomeratico*: si tratta di un insieme di sabbie e sabbie ghiaiose a granulometria da media a grossolana e locali depositi a blocchi, non cementati, e mediamente addensati. Dal punto di vista litostratigrafico corrispondono alle sabbie conglomeratiche a blocchi del Pliocene inferiore ed alle sabbie, ghiaie e conglomerati pleistocenici. Sono caratterizzabili con una permeabilità per porosità medio alta in funzione del carattere prevalentemente sabbioso.
- *Complesso detritico torrentizio*: questi depositi superficiali sono costituiti da una matrice prevalentemente sabbioso–limosa con blocchi e clasti di varia natura e, per analogia con i sottostanti depositi sabbioso–limosi miocenici, nei quali sono state eseguite prove di permeabilità tipo Lefranc (sondaggi S6bisE e S8E) presentano una permeabilità per porosità media.
- *Complesso detritico alluvionale*: è costituito da una serie di depositi superficiali eterogenei ma assimilabili per quanto riguarda le caratteristiche tessiturali che determinano la permeabilità primaria: depositi alluvionali antichi e recenti, depositi alluvionali attuali e di spiaggia, depositi detritici. Si tratta di depositi dalla granulometria molto variabile anche se prevalgono generalmente le sabbie ghiaiose e ciottolose cui corrisponde una permeabilità per porosità alta, come confermato dalla prova di permeabilità Lefranc eseguita nel sondaggio S3E, nell'alveo della Fiumara di Palizzi (da 13.00 m a 15.00 m – $k_{\text{medio}} = 3.7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$). Locali riduzioni della permeabilità si possono riscontrare sia in senso verticale che in senso orizzontale a causa della presenza di lenti sabbioso–limose o limoso–argillose. Tali lenti comunque non dovrebbero presentare una continuità laterale tale da determinare una compartimentazione verticale della falda nei fondovalle principali.

8.2 Sintesi delle misure piezometriche

Nella sottostante tabella 2 viene presentata una sintesi delle misure piezometriche effettuate nei fori di sondaggio realizzati nell'ambito della progettazione esecutiva.

Tabella 2 – Sintesi delle misure piezometriche (soggiacenza in metri da quota bocca foro) eseguite nei sondaggi realizzati nel corso della campagna di indagini per il progetto esecutivo 2005 (n.m. = non misurato, ass. = non rilevata presenza d'acqua). In data 31/06/05 è stata eseguito uno svuotamento di verifica sui piezometri a tubo aperto.

Sondaggio	S1	S2	S3	S4	S5	SX	S6	S6b
data	soggiacenze misurate							
09/06/2005	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	9.22
11/06/2005	n.m.	ass.	6.8	ass.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
20/06/2005	n.m.	ass.	n.m.	ass.	10.9	n.m.	n.m.	9.25
25/06/2005	n.m.	ass.	7.37	ass.	11.03	n.m.	n.m.	9.16
31/06/05_a	n.m.	ass.	n.m.	ass.	n.m.	n.m.	n.m.	9.22
31/06/05_b	n.m.	ass.	n.m.	ass.	n.m.	n.m.	n.m.	9.22
12/07/2005	n.m.	ass.	9.00	ass.	11.15	45.00	n.m.	9.25
28/07/2005	n.m.	ass.	10.21	ass.	11.30	45.70	n.m.	9.30
03/09/2005	n.m.	ass.	11.05	ass.	11.27	45.85	64.25	9.37

Sondaggio	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
data	soggiacenze misurate							
09/06/2005	10.64	9.47	9.00	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
11/06/2005	n.m.	n.m.	n.m.	ass.	ass.	n.m.	n.m.	n.m.
20/06/2005	10.60	9.70	9.00	ass.	n.m.	n.m.	n.m.	4.95
25/06/2005	10.55	9.64	9.00	ass.	ass.	n.m.	18.43	4.90
31/06/05_a	10.55	9.70	9.00	ass.	ass.	45.93	n.m.	4.90
31/06/05_b	10.75	9.70	9.11	ass.	ass.	n.m.	n.m.	4.90
12/07/2005	10.60	9.95	9.00	ass.	ass.	45.45	17.45	4.95
28/07/2005	10.70	10.19	n.m.	ass.	ass.	45.27	17.55	5.10
03/09/2005	10.8	10.65	n.m.	11.85	ass.	45.20	17.05	5.00

Le letture piezometriche mettono per il momento in evidenza che:

- Nelle alluvioni dei fondovalle principali (Fiumara di Palizzi e Torrente Simmero) esiste una falda di subalveo estesa a tutto il riempimento alluvionale del fondovalle stesso, ed alimentata da un flusso ipogeo al di sotto dell'alveo proveniente da monte. La falda si localizza per ora ad una quota ancora superiore al livello del mare.
- Nel basamento metamorfico viene per il momento rilevata la presenza di acqua con livello piezometrico a quote di poco superiori (10-15 metri) rispetto la quota scavo delle gallerie in progetto, almeno per quanto riguarda la galleria Peristeri (misure eseguite sui piezometro SXE e S6E). Per quanto riguarda la galleria Palizzi Marina bisognerà attendere l'esecuzione delle misure piezometriche all'interno degli altri sondaggi profondi posizionati in zone di maggiore copertura topografica (S1E, S1bisE).
- Nei depositi argillosi miocenici le misure eseguite sembrano confermare la presenza di acqua, con livello piezometrico a livello scavo (S13E) o poco superiore (S12E). In questo complesso idrogeologico la circolazione avviene probabilmente all'interno di livelli a carattere maggiormente sabbioso, come confermato dai dati dei sondaggi, nei quali si sono osservati locali livelli plastici saturi d'acqua.
- E' probabile la presenza di una falda sospesa nei depositi sabbioso – limosi con livelli grossolani presenti al di sopra delle argille policrome nel tratto terminale della galleria Peristeri.

Le letture eseguite sono state realizzate in un periodo dell'anno già particolarmente secco, quindi quasi rappresentativo dell'oscillazione minima della falda riferita all'anno in corso, anche se il valore minimo in assoluto sarà raggiunto probabilmente a fine estate, inizio

autunno, ovvero prima dell'inizio delle piogge autunnali. Le misure eseguite nel mese di settembre possono essere considerate rappresentative dei livelli minimi annuali della falda. L'alimentazione degli acquiferi è probabilmente di tipo stagionale con alternanza di periodi secchi e periodi caratterizzati da precipitazioni intense. Il livello drenante di base è verosimilmente rappresentato dal livello del mare. Per tale motivo le opere sotterranee ed anche quelle di superficie, ad esclusione delle fondazioni dei viadotti, nonché i settori degli imbocchi saranno con maggiore probabilità al di sopra della quota del possibile inviluppo della piezometrica (a meno della verifica di assenza di falda in roccia da eseguirsi con i dati dei sondaggi profondi). In caso della presenza di falda in roccia, non si esclude che in questi settori si possano intercettare dei circuiti in discesa lungo zone di faglia, che possono essere ricaricati da bacini posti a quote superiori, quali impluvi o incisioni vallive e con quota minima drenante pari alla quota del mare o delle porzioni più basse del versante lato mare.

8.3 Caratterizzazione dei punti d'acqua

Nella zona rilevata non sono state individuate sorgenti naturali. I punti d'acqua individuati sono costituiti da alcuni pozzi, la maggior parte dei quali localizzati all'interno del riempimento alluvionale della fiumara di Palizzi. E' inoltre stata rilevata la portata ed i parametri fisici dell'acqua della stessa fiumara di Palizzi, in un periodo in cui nel corso d'acqua era presente un significativo deflusso superficiale in alveo. Nella sottostante tabella 3 viene proposta una sintesi dei parametri fisico-chimici dei punti d'acqua rilevati nell'area di indagine e rappresentati nella carta idrogeologica in scala 1:5.000. Per alcuni dei pozzi individuati non è stato possibile misurare i parametri perché si trattava di pozzi non accessibili. Sulla carta idrogeologica sono inoltre state evidenziate le aree umide, di possibile affioramento diffuso della falda.

Tabella 3 – Sintesi delle misure dei parametri fisici dei punti d'acqua individuati nell'area di studio.
 (n.v. = non valutabile).

Codice	Tipo	Località	Data misura	Portata stimata (l/s)	Conducibilità (mS/cm)	Note
PCM_1	Pozzo	Campo pozzi Cassa del Mezzogiorno – Palizzi Marina	25/03/05	n.v.	445	Misura su rubinetto esterno al campo pozzi
PCM_2	Pozzo	Campo pozzi Cassa del Mezzogiorno – Palizzi Marina	25/03/05	n.v.	445	Misura su rubinetto esterno al campo pozzi
PCM_3	Pozzo	Campo pozzi Cassa del Mezzogiorno – Palizzi Marina	25/03/05	n.v.	445	Misura su rubinetto esterno al campo pozzi
P_4	Pozzo	Palizzi Marina	24/03/05	n.v.	n.v.	Non accessibile
P_5	Pozzo	Loc. Vulcanello - Carcane	24/03/05	n.v.	> 2000	
P_6	Pozzo	Loc. Vulcanello - Carcane	24/03/05	< 0.01	1593	Pozzo artesiano con acqua solforosa
T_1	Corso d'acqua	Palizzi Marina	24/03/05	50 circa	460	

Si osserva come le acque dei pozzi del campo pozzi Cassa del Mezzogiorno presentino la stessa conducibilità dell'acqua della fiumara, confermando che la falda di subalveo, residente nel riempimento alluvionale del fondo valle, risulta alimentata dal deflusso superficiale della Fiumara, per lo meno nel periodo primaverile in cui sono state eseguite le misure. Per quanto riguarda le acque intercettate dai pozzi nel vallone del Torrente Carcane, occorre osservare l'elevata conducibilità elettrica nel pozzo P_5. La forte mineralizzazione, confermata dall'analisi chimica eseguita su un campione dell'acqua di questo pozzo per la valutazione dell'aggressività (cfr par. 8.4) potrebbe essere legata alla presenza, lungo il

circuito idrogeologico, di depositi evaporitici (elevata quantità di cloruri e solfati). Il contesto geologico locale (argille mioceniche e sequenza serravalliano-tortoniana, quindi vicina al possibile messiniano evaporitico) sembra confermare questa ipotesi. Il pozzo, della profondità di 11 metri, capta l'acqua oltre che dallo scavo stesso, anche da un dreno orizzontale realizzato sotto la quota d'alveo del Torrente Carcane.

Il pozzo P_6, secondo le indicazioni fornite dal proprietario Sig. Romeo, è un pozzo artesiano della profondità di circa 70 metri, terebrato in argille grigie fino alla profondità di circa 50 metri, oltre la quale è stato probabilmente incontrato il substrato roccioso metamorfico alterato e fratturato. L'acqua è presente alla base delle argille e risale naturalmente a bocca foro. Si tratta di acqua con sensibile contenuto di H₂S, che si avverte all'olfatto e lascia un caratteristico deposito filamentoso bianco. L'analisi chimica eseguita per la valutazione dell'aggressività ha fornito un valore di pH molto elevato (9.1), a conferma che l'acqua circola probabilmente in un circuito lento e molto lungo, con poco scambio di ossigeno che determina un ambiente riducente. Questo determina la riduzione dei solfati presenti nell'acqua e la comparsa dell'H₂S.

8.4 Analisi dell'aggressività delle acque

In fase di progettazione esecutiva è stata eseguita una prima indagine circa l'aggressività delle acque. Tale indagine non ha lo scopo di essere esaustiva ma solo indicativa per l'interazione tra le opere e le acque sotterranee. Ulteriori analisi potranno essere eseguite in fase di costruzione. E' tuttavia possibile offrire una prima valutazione circa l'aggressività delle acque in esame. Tre campioni di acque rappresentative sono stati prelevati dai punti d'acqua descritti al paragrafo precedente e sono stati sottoposti ad analisi chimica specifica per la determinazione dei parametri utili alla definizione della classe di

aggressività sui calcestruzzi. Come riferimento per la definizione della classe di esposizione è stata adottata la Norma Europea UNI-EN 206-1

Tabella 4 – Sintesi dei valori dei parametri chimici per la valutazione delle classi di esposizione del Calcestruzzo ai sensi della Norma Europea UNI-EN 206-1, dei campioni d'acque analizzati (N.C. = non classificato, i parametri sono tutti inferiori ai limiti definiti dalla norma).

Campione	Punto d'acqua	pH	Durezza tot (°F)	Cloruri (mg/l)	Solfati (mg/l)	Ammoniaca Totale (mg/l)	Magnesio (mg/l)	Classe di esposizione (UNI EN 206.1:2001, par 4.1 prospetto 2)
C1	P_6	9.1	1	235	155	0.70	0.35	N.C.
C2	P_5.	7.2	170	441	1670	< 0.05	204	XA2
C3	PCM_1	6.8	12	10.3	91.1	< 0.05	11.0	N.C

I risultati delle analisi eseguite sono sintetizzati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** (i rapporti di prova sono allegati nel Rapporto sulle indagini eseguite nella Progettazione Esecutiva). Solo l'acqua del campione C2, prelevato dal pozzo P_5 in località Vulcanello – Carcane, ricade in una classe di media esposizione all'attacco chimico sul calcestruzzo.

9 Sismicità

La sismicità della zona in studio, come del resto quella di tutta la regione calabro-peloritana, è legata all'elevata attività tettonica, connessa alla subduzione della placca ionica (Adria) al di sotto di quella "calabra". Grazie al Modello Geologico Strutturale d'Italia, dove sono indicate le principali strutture di tipo fragile (faglie) a cui sono legati i principali terremoti della zona, e alla Rete Sismica Regionale dell'Università della Calabria è stata effettuata una correlazione tra eventi sismici e faglie associate, anche con l'individuazione, in base alla localizzazione degli ipocentri dei terremoti, delle principali strutture sismogenetiche aventi orientazione circa NNE-SSW (Guerra et al., 2000 – fig. 17 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e coincidenti con le direzioni di allungamento dei principali blocchi tettonici tipo horst e graben della zona.

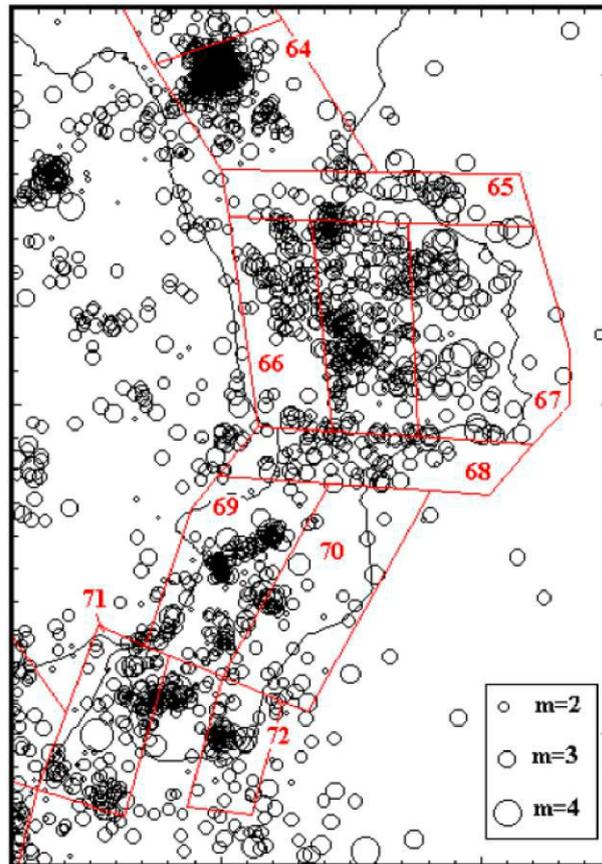


Figura 17 – Ipocentri dei terremoti registrati dalla Rete Regionale dell'Università della Calabria tra il gennaio 1986 e l'agosto 1999 e attuali zone sismogenetiche. Gli Ipocentri sono stati selezionati in base alla profondità ($h < 40\text{Km}$) ed alla qualità della localizzazione ($\text{rms} < 1$, $\text{obs} > 10$). (Guerra et al., 2000)

Nella successiva figura 18 sono meglio dettagliate le proiezioni in superficie delle principali strutture sismogenetiche. Di queste, nella tabella 5 è riportata una sintesi dei dati geometrici e sismotettonici, con l'indicazione dell'ultimo evento sismico ad esse più direttamente collegato.

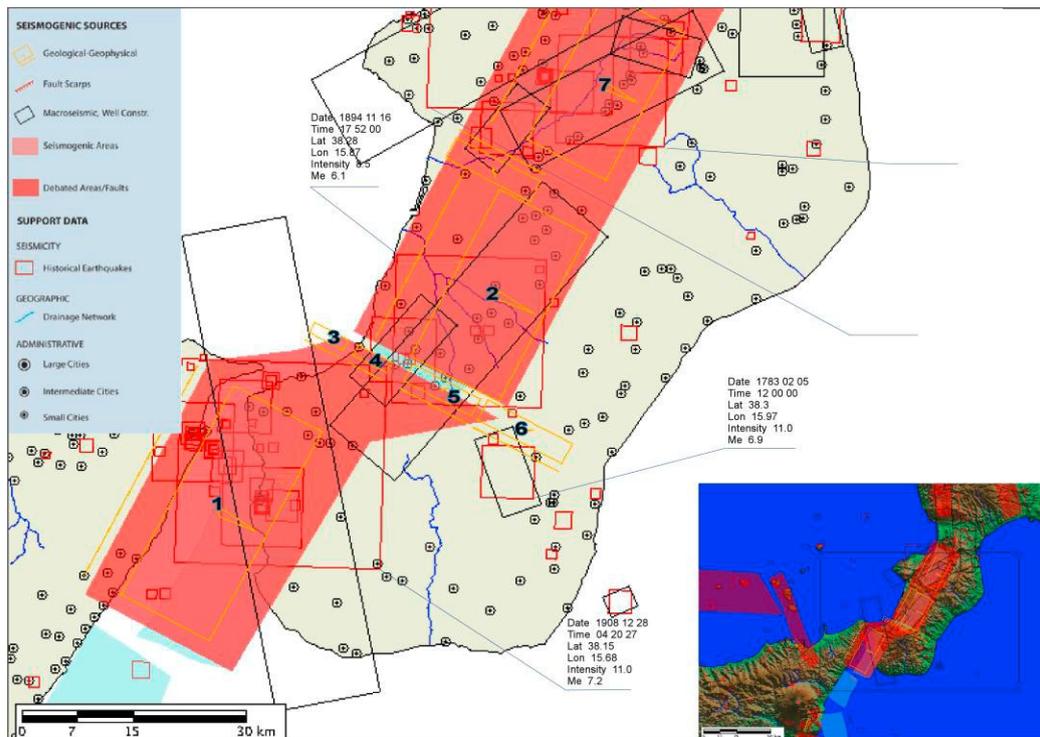


Figura 18 – Dettaglio delle principali strutture sismogenetiche della costa tirrenica della Calabria meridionale e dello stretto di Messina. I quadrati rappresentano gli epicentri dei sismi storici, differenziati in grandezza secondo la magnitudo (DISS - Database of Individual Sismic Sources 3.1, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, www.ingv.it).

Tabella 5 – Dati sismotettonici relativi alle principali strutture sismogenetiche raffigurate in figura 15. Il tasso di movimento per la faglia 1 è stimato sulla base di dati geodetici; i dati contrassegnati con l'asterisco* sono stimati sulla base del contesto geodinamico. La magnitudine è espressa in gradi Richter. Fonte: Database of Individual Sismic Sources 3.1, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, www.ingv.it.

Struttura sismogenetica	direz.	incl.	Tasso di movimento annuo min-max (mm)	Ultimo sisma	Magnitudine max	Sisma precedente	Durata in anni della quiescenza al 2005
1	N30°	29°	0.93-2.0	28/12/1908	7	300-400 a.c.	97
2	N30°	30°	0.1-1.0*	05/02/1783	6.6	-	222
3	N300°	70°	0.1-1.0*	16/11/1894	5.3	-	111
4	N300°	70°	0.1-1.0*	06/02/1783	6.3	-	222
5	N300°	70°	0.1-1.0*	16/11/1894	5.8	-	111
6	N300°	70°	0.1-1.0*	23/10/1907	6.0	-	98
7	N30°	30°	0.1-1.0*	07/02/1783	6.6	-	222

L'elevata sismicità delle aree prossime a quella studiata è testimoniata inoltre dai terremoti storici disastrosi che hanno interessato la regione calabra negli ultimi secoli, come quelli del 27 Marzo e 8 Giugno 1638, quest'ultimo riconducibile ad una intensità del 6.8° della scala Richter, del 5, 6 e 7 Febbraio 1783 (di magnitudo stimata del 7° della scala Richter - Cotecchia et al. 1986), ed il più recente terremoto di Messina – Reggio Calabria del 28 Dicembre 1908, di magnitudo 7.2.

Tra i terremoti che recentemente hanno interessato una zona prossima a quella dell'opera in progetto, va ricordato il terremoto di Ferruzzano, del 3 Novembre 1978, di magnitudo 5.5, con epicentro situato circa 15 km a nord di Palizzi Marina e profondità ipocentrale valutata in circa 15 km (Guerricchio, 1988). In occasione di questo terremoto, fonti locali di Palizzi riferiscono di un fenomeno di fuoriuscita di fango dal cosiddetto "vulcanello" della valle del T. Carcane, in quantità notevole.

Nella tabella seguente sono riportati i principali terremoti storici che hanno interessato i comuni di Palizzi e di Bova Marina.

Tabella 6 – Principali eventi sismici che hanno interessato in passato i comuni di Palizzi e Bova Marina
 Fonte: DOM4.1, database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, www.ingv.it.

PALIZZI								
<i>Giorno</i>	<i>Mese</i>	<i>Anno</i>	<i>Lat.</i>	<i>Long.</i>	<i>I loc</i>	<i>I max</i>	<i>Magnit.</i>	<i>Area epicentrale</i>
5	2	1783	38.3	15.97	7.5	11	6.9	Calabria Meridionale
16	11	1894	38.28	15.87	7	9	5.9	Bagnara Calabria
8	9	1905	38.67	16.07	7	10.5	6.8	Golfo di S.Eufemia
23	10	1907	38.13	16	8.5	9	6	Ferruzzano
28	12	1908	38.15	15.68	7	11	7.1	Calabria meridionale-Messina
16	1	1975	38.12	15.65	4.5	7.5	5.4	Stretto di Messina
15	4	1978	38.12	15.02	5	8	5.8	Golfo di Patti
11	3	1978	38.02	15.98	8	8	5.5	Ferruzzano

13	12	1990	37.27	14.98	3.5	7.5	5.4	Sicilia sud-orientale
BOVA MARINA								
<i>Giorno</i>	<i>Mese</i>	<i>Anno</i>	<i>Lat.</i>	<i>Long.</i>	<i>I loc</i>	<i>I max</i>	<i>Magnit.</i>	<i>Area epicentrale</i>
5	2	1783	38.3	15.97	8	11	6.9	Calabria Meridionale
7	2	1783	38.3	15.97	6	10.5	7	Soriano Serre
28	3	1783	38.3	15.97	6	11	6.7	Calabria centrale
16	11	1894	38.28	15.87	6.5	9	5.9	Bagnara Calabria
8	9	1905	38.67	16.07	6	10.5	6.8	Golfo di S.Eufemia
23	10	1907	38.13	16	8	9	6	Ferruzzano
28	12	1908	38.15	15.68	8	11	7.1	Calabria meridionale-Messina
24	3	1961	-	-	4	5.5	4.2	Aspromonte
16	1	1975	38.12	15.65	5.5	7.5	5.4	Stretto di Messina
11	3	1978	38.02	15.98	8	8	5.5	Ferruzzano

La classificazione sismica del territorio nazionale definita dal D.M. 14 luglio 1984 e s.m.i (vecchia classificazione sismica) ed integralmente rivista dalla successiva Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 (nuova classificazione sismica), individuava i comuni di Bova e di Palizzi (comuni interessati all'opera in progetto) come appartenenti alla II categoria. La nuova classificazione sismica del 2003 ha riclassificato i due comuni in categoria I e quindi ad elevato rischio sismico, a dimostrazione della comprovata ed acclarata pericolosità sismica dell'area interessata dal progetto.

I valori di magnitudo relativi ai terremoti citati nel presente paragrafo sono stati ricavati dalla tabella allegata al "CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI - 217 a.C.-1992", consultabile alla sezione "banche dati" sito internet dell'INGV (<http://www.ingv.it/>).

10 Indagini geognostiche e geofisiche

L'area di studio è stata oggetto, a varie riprese, di attività di indagine geognostica e geofisica, realizzate nell'ambito delle diverse fasi progettuali inerenti la Variante all'abitato del Comune di Palizzi Marina. Nell'ambito di questo studio, pertanto, è stata preliminarmente effettuata la raccolta dei dati relativi alle campagne di indagini eseguite a partire dal 1997, comprendenti stratigrafie di sondaggi e pozzetti geognostici, diagrammi di prove penetrometriche, prospezioni geofisiche, prove di laboratorio geotecnico e relativa documentazione fotografica. Tali indagini, opportunamente georeferenziate, hanno perfezionato le osservazioni provenienti dal rilevamento geologico di superficie, portando alla compiuta definizione del Modello Geologico di Riferimento.

La documentazione su citata costituisce degli elaborati a sé stanti, separati dalla presente relazione, allegati al progetto con le seguenti codifiche: T00GE00GEORE03A (indagini geognostiche), T00GE00GEORE04A (indagini di laboratorio), T00GE00GEORE05A (indagini geofisiche).

10.1 Indagini geognostiche

In totale, sull'intero tracciato della Variante in oggetto, compresa anche la già realizzata carreggiata di monte, i dati raccolti comprendono:

- n. 50 perforazioni di sondaggio;
- n. 10 pozzetti geognostici.

Le indagini sono riferibili alle seguenti campagne:

- **1997: Geoservice s.a.s. - Salerno**
 - n. 9 sondaggi.

- **2003: Calabria Sondaggi – Rende (CS)**
 - n. 12 sondaggi.
- **2005: Tecnicon s.r.l. – Cammarata (AG)**
 - n. 21 sondaggi.
- **2005: Geo.Tec. s.n.c. – Palermo**
 - n. 10 pozzetti.
- **2008: SGM s.r.l. – Catania**
 - n. 8 sondaggi.

10.2 Indagini geofisiche

I dati raccolti riguardanti le indagini geofisiche realizzate nel corso degli anni comprendono:

- n. 27 stendimenti sismici a rifrazione;
- n. 1 stendimento sismico a riflessione;
- n. 17 stendimenti geoelettrici;
- n. 2 tomografie Cross-hole.

Le indagini si riferiscono alle seguenti campagne:

- **1997: Geoservice s.a.s. - Salerno**
 - n. 13 prospezioni sismiche a rifrazione.
- **2005: Palmer Geofisica s.n.c. – Rende (CS)**
 - n. 16 tomografie geoelettriche.
- **2008: Progeo s.r.l. – Forlì**
 - n. 8 tomografie sismiche a rifrazione;
 - n. 1 prospezione sismica a riflessione;
 - n. 2 tomografie Cross-hole;
 - n. 1 prova Cross-hole monodimensionale.

- **2010: Progeo s.r.l. – Forlì**
 - n. 4 tomografie sismiche a rifrazione.

- **2018: DIMMS Control s.p.a. – Montefredane (AV)**
 - n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione;
 - n. 1 tomografia geoelettrica 3d.

11 Modello Geologico di Riferimento

Viene presentata di seguito un'analisi delle zone del tracciato, suddiviso per tratte, riferite a ciascuna delle opere maggiori previste in progetto e dei tratti di raccordo in rilevato o scavo tra le varie opere. Nella descrizione si farà una trattazione generale delle problematiche geologiche.

In corrispondenza delle opere maggiori (gallerie naturali) viene commentato il Modello Geologico di dettaglio. Sono inoltre descritti i caratteri geologici dei litotipi affioranti nelle porzioni del tracciato che raccordano le opere maggiori. Le progressive di riferimento per le gallerie sono quelle di inizio dei tratti in artificiale rilevabili dal profilo topografico e geologico. Per i tratti intermedi si fa riferimento all'intervallo tra l'inizio dei tratti in artificiale delle gallerie adiacenti al tratto stesso, comprendendo nel tratto in oggetto anche l'eventuale settore di raccordo tra la galleria artificiale e l'opera adiacente.

Vengono analizzate le problematiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche; le progressive dei limiti litologici, nelle gallerie naturali ed artificiali e nelle opere superficiali, sono riferite alla quota di calotta delle gallerie ed alla livelletta stradale per i tratti esterni. Per la descrizione generale dei litotipi citati si fa riferimento alla legenda presentata nella carta geologica, oltre che a quanto riportato nel cap. 6.

Da questa trattazione sono esclusi i due viadotti, in quanto già realizzati durante i lavori di costruzione della carreggiata di monte.

11.1 Settore di raccordo tra il lotto 1 ed il lotto 2

Nel settore di raccordo tra il lotto 1 (già realizzato) ed il lotto 2, oggetto del presente studio, l'assetto geologico-geomorfologico è caratterizzato dall'affioramento, lungo il versante affacciato verso il mare alla base del quale è stata realizzata la tratta di variante esistente, delle rocce appartenenti al basamento metamorfico (Unità degli Scisti Biotitici).

Gli scisti presentano una foliazione pervasiva generalmente immergente verso SO e ONO, inclinata di 35°-40°, quindi a traverpoggio rispetto al versante. La roccia è interessata da un reticolo pervasivo di fasce di taglio fragile e zone di faglia secondarie con breccia, protobreccia, gouge e milonite riattivata, che determinano un elevato grado di tettonizzazione dell'ammasso roccioso. Queste fasce di taglio immergono verso Sud, con un'inclinazione media di circa 30°.

Una faglia principale, immergente verso NW ed inclinata di circa 70°, è stata individuata nell'incisione presente immediatamente prima dell'imbocco della galleria Palizzi Marina, all'inizio del tratto di competenza del lotto 2. Lungo questa incisione si osservano inoltre diffuse tracce di erosione lineare incanalata.

Il settore a valle (lato mare) della carreggiata esistente è caratterizzato dalla presenza della vecchia sede stradale della SS106, con muro di sostegno a valle.

Dal punto di vista geomorfologico il settore è costituito da un unico versante fortemente acclive, con direzione OSO-ENE, modificato antropicamente con il taglio di alte scarpate realizzate a monte della sede stradale esistente (carreggiata di monte). Il versante è diviso, circa a metà, da una netta incisione, sede di processi di erosione lineare concentrata ed incanalata, a spese del basamento roccioso tettonizzato ed alterato. Nella zona di versante direttamente soprastante alla galleria artificiale paramassi, prossima all'inizio del

lotto 2, è stata osservata una frana di crollo con un accumulo esteso per circa 90 mq a ridosso della galleria paramassi. Particolare attenzione dovrà essere posta in fase progettuale alla protezione dell'infrastruttura, ed in particolare delle opere idrauliche minori di attraversamento, dai danni potenzialmente provocabili dai fenomeni di erosione lineare incanalata negli impluvi che attraversano la strada in progetto.

11.2 Galleria Palizzi Marina

	Tratto	
Indagini di riferimento		Stendimento geofisico LS10 (anno 1997); sondaggi geognostici: S1 (1997), S1bis (2003), S1E, S1bisE, S2E, S2bisE (2005).
Previsione di scavo	0+102÷0+424	Scisti biotitico-filladici, che in condizioni ordinarie si presentano molto fratturati, al punto che in alcuni sondaggi (S1E, S2E, S2bisE) la roccia è ridotta ad una breccia in matrice sabbioso-limosa o è addirittura carotata come sabbia. La scistosità della roccia è pervasiva, con spaziatura millimetrica; localmente gli scisti si presentano listati con alternanze millimetriche di bande di colore chiaro e scuro. La giacitura media della scistosità è verso Sud-Sud-Est, inclinata di circa 30°. Dalla pk 0+200 circa si dispone con inclinazione verso SW, quindi con intersezione sul fronte da traverpoggio a franapoggio, ipotizzando il senso di avanzamento verso Taranto.
Faglie ed altri elementi tettonici	0+167÷0+200 0+217÷0+226 0+312÷0+350 0+373÷0+424	Faglie principali con zone di taglio fragile associate.
Problematiche idrogeologiche		La formazione degli Scisti biotitici è intrinsecamente impermeabile. Infiltrazione e circolazione di acqua sono possibili limitatamente alle fasce fratturate. Non si può ipotizzare la presenza di una falda freatica propriamente detta, cioè continua e con un gradiente idraulico definito. L'ammasso roccioso è pertanto caratterizzato da zone a comportamento idraulico differente a seconda del grado di fratturazione/tettonizzazione, della granulometria della roccia in corrispondenza delle fasce tettonizzate, del grado di interconnessione delle fratture, nonché dell'apertura delle stesse. Lo scavo avverrà in condizioni asciutte, al massimo di debole umidità, con la possibilità di avere umidità marcata o minime venute d'acqua in corrispondenza dell'intersezione con le zone di faglia.

Condizioni degli imbocchi	Lato RC	<p>Nella parte alta del versante sovrastante l'imbocco lato Reggio Calabria sono evidenti processi di erosione diffusa e concentrata in alcuni impluvi, dove affiorano depositi sabbioso-ghiaiosi sciolti. L'imbocco è impostato direttamente in roccia, con una diffusa presenza di fasce di taglio fragile e zone di faglia secondarie con breccia, protobreccia, gouge e milonite riattivata di spessore decimetrico-metrico, che separano settori a geometria sigmoidale o tabulare di roccia più sana ma molto fratturata.</p> <p>Le fasce di taglio fragile e le zone di faglia secondarie presenti nella zona dell'imbocco lato Reggio Calabria immergono verso S-SE, inclinate a basso angolo, tra 15° e 25° circa.</p>
	Lato TA	<p>L'imbocco lato Taranto è impostato, sotto la strada provinciale per Palizzi Superiore, in scisti fratturati, ricoperti da depositi colluviali di spessore variabile da circa 1 metro nella zona più prossima all'attacco della galleria naturale, fino a 7-8 metri ipotizzati sulla verticale del becco di flauto.</p>
Caratteristiche del materiale di smarino		<p>La roccia estratta, opportunamente frantumata e vagliata, può essere riutilizzata per la costruzione dei rilevati e per riempimenti.</p>

11.3 Galleria Ambusena

	Tratto	
Indagini di riferimento:		Stendimento geofisico LS11 (anno 1997); sondaggio geognostico: S4E (2005).
Previsione di scavo:	0+801÷0+846	Scisti biotitico-filladici notevolmente tettonizzati, con matrice limosa e gouge in prevalenza limoso-sabbioso, localmente argilloso, caratterizzati da una diffusa presenza di fasce di taglio fragile con cataclasite e breccia di spessore decimetrico-metrico e di faglie a giacitura subverticale, con spessori di roccia brecciata e cataclasata decimetrici. Nel sondaggio S4E (pk 0+834 circa) gli scisti biotitici sono stati rinvenuti notevolmente fratturati, con passaggi di spessore da metrico a plurimetrico, con un grado di tettonizzazione tale da essere carotati come sabbie di granulometria da medio fine a medio grossolana. Lungo l'asse di scavo la giacitura della scistosità e delle principali fasce di taglio fragile si mantiene a franapoggio con debole inclinazione rispetto al fronte lato Reggio Calabria.
Faglie ed altri elementi tettonici:	0+801÷0+817 0+837÷0+840	Faglie principali con zone di taglio fragile associate.
Problematiche idrogeologiche		Lo scavo avverrà in condizioni da secche ad umide generalizzate, potendosi escludere afflussi idrici, anche limitati e modesti, quali stillicidi. Valgono le considerazioni fatte per la galleria Palizzi Marina.
Condizioni degli imbocchi:	Lato RC	L'imbocco lato Reggio Calabria avviene in un settore dove affiorano o subaffiorano gli scisti. La giacitura della foliazione e delle fasce di taglio fragile risulta a franapoggio rispetto al fronte.
	Lato TA	L'imbocco lato Taranto avviene in zona di roccia affiorante o subaffiorante. Qui le superfici strutturali dell'ammasso roccioso si trovano in condizioni di traverpoggio o reggipoggio debolmente inclinato rispetto all'imbocco.
Caratteristiche del materiale di smarino:		La roccia estratta, opportunamente frantumata e vagliata, può essere riutilizzata per la costruzione dei rilevati e per riempimenti.

11.4 Rilevato tra Ambusena e Peristeri

In questo settore, compreso tra la pk 0+876 e la pk 1+231, il progetto prevede la realizzazione della carreggiata in posizione addossata al versante della dorsale collinare che separa le due incisioni del T. Ambusena e del T. Frasca. Le stesse incisioni saranno attraversate in rilevato, mentre il settore lungo il versante sarà per gran parte in rilevato addossato al versante, subordinatamente in scavo a mezza costa.

Geologia

L'assetto geologico del rilievo collinare prevede la presenza di scisti biotitici da affioranti a subaffioranti, con limitata copertura detritica di origine colluviale, il cui spessore aumenta verso la base del versante, facendo transizione ai depositi alluvionali presenti nella zona pianeggiante allo sbocco dell'incisione del T. Ambusena verso Ovest e nell'incisione del torrente Frasca verso Est.

Gli scisti biotitici affioranti si presentano, come negli altri settori dell'area investigata, molto fratturati ed alterati, con diffuse fasce di taglio e zone di faglia secondarie a basso angolo, subparallele alla foliazione. La foliazione immerge mediamente verso Ovest, inclinata di circa 35°-40°, ma non mancano settori in cui l'inclinazione è a più basso angolo (15°), come osservato negli affioramenti soprastanti la zona di imposta dei rilevati. Rispetto all'asse di progetto della carreggiata, la giacitura delle principali strutture (scistosità e zone di faglia secondarie) è circa ortogonale, quindi lungo i tagli delle scarpate stradali l'intersezione risulta a traverpoggio.

I depositi detritico-colluviali osservati in affioramento sono costituiti da blocchi a spigoli vivi di scisti, con dimensioni da centimetriche a decimetriche e ghiaia, in matrice prevalentemente sabbiosa e subordinatamente limosa, non addensati. I depositi alluvionali

sono costituiti da ghiaie con subordinati blocchi, con grado di arrotondamento medio basso, in matrice sabbioso limosa localmente prevalente sui clasti.

Gli spessori ipotizzati dei depositi superficiali variano da zero ad un massimo di 9 metri. Il settore compreso tra le pk 0+990 km e 1+050 km circa è caratterizzato da scisti biotitici affioranti e subaffioranti. Alla pk 1+150 circa riprendono i detriti di falda e i depositi colluviali, di spessore medio di circa 3 metri, dove fanno transizione ai depositi alluvionali del fondovalle del torrente Frasca.

La zona di attraversamento del torrente Frasca è caratterizzata da depositi alluvionali, ricoperti, sul lato sinistro idrografico oltre il muro di sponda in cls esistente, da uno strato superficiale di terreno di riporto, realizzato a seguito della sistemazione agricola del terreno sub-pianeggiante presente tra il corso d'acqua e la base del versante sinistro della valle.

L'esecuzione del sondaggio S5E ha confermato la presenza del terreno di riporto per uno spessore di circa 6 metri, mentre lo spessore complessivo dei depositi superficiali, compresi i depositi alluvionali sottostanti il riporto, arriva fino ad un massimo di 8 metri circa. Il terreno di riporto è costituito da un deposito a matrice sabbiosa, con inclusi poligenici di varia natura e scarso grado di addensamento (la prova SPT eseguita nel sondaggio ha riportato valori inferiori a 8 colpi).

Geomorfologia

La morfologia della zona attraversata da questo tratto della strada in progetto è caratterizzata dalla presenza di due incisioni principali (quelle dei torrenti Ambusena e Frasca), separate da una dorsale rocciosa con versanti piuttosto acclivi, sui quali si sono osservate forme di erosione incanalata e concentrata lungo impluvi secondari.

La morfologia del versante è caratterizzata nel settore iniziale che segue l'incisione del torrente Ambusena da una sistemazione antropica a terrazzamenti, che, in base a quanto osservato durante i rilievi di terreno, appaiono realizzati interamente in scavo e con subordinati volumi di riporto sul lato di valle.

Idrogeologia

Le misure eseguite sui sondaggi in roccia realizzati per le adiacenti gallerie Ambusena e Peristeri permettono di escludere la presenza di acque nella porzione più corticale del basamento roccioso di scisti biotitici, per cui gli scavi saranno realizzati in condizioni secche o al massimo di diffusa umidità superficiale.

Per quanto riguarda i settori di fondovalle delle incisioni, le misure eseguite nel piezometro a tubo aperto installato nel sondaggio S5E hanno permesso di identificare la presenza della falda di subalveo del torrente Frasca, la cui superficie si localizza a circa 11 metri di profondità da bocca foro. Si tratta probabilmente di una falda presente alla base dei depositi alluvionali di riempimento del vallone del torrente Frasca e nella parte superficiale del substrato roccioso alterato e notevolmente tettonizzato.

Considerando il legame di alimentazione con il corso d'acqua, è presumibile che, in periodi di forti precipitazioni prolungate e con deflusso superficiale nel torrente, la superficie di falda possa risalire fino ad una quota corrispondente a quella di fondo alveo, vale a dire circa 2 metri sotto il piano di campagna.

11.5 Galleria Peristeri

	Tratto	
Indagini di riferimento:		Stendimenti geofisici LS8, LS9, LS12, LS13 (anno 1997), Srt1, Srt2, EF, GH (2018); sondaggi geognostici: S4/97, S5/97, S9/97 (1997), S5/03 (2003), SXE, S6E, S6bisE, S7E, S7bisE, S8E, S9E (2005).
Previsione di scavo:	1+261÷1+876	Scisti biotitici interessati da zone di faglia principali ad alto angolo e da diffuse zone di faglia secondarie a basso angolo nel settore che va dall'imbocco lato Reggio Calabria fino al termine del rilievo collinare della località Peristeri. La scistosità è pervasiva e presenta giacitura media verso Sud-SudOvest, inclinata di circa 30°, trovandosi quindi a franapoggio rispetto al fronte di avanzamento. Localmente, dove la giacitura ruota leggermente verso Sud, si ha un assetto giaciturale variabile da franapoggio a traverpoggio.
	1+876÷1+898	Tra le pk 1+876 e 1+898 circa è presente una zona di faglia principale, con spessore di roccia di faglia, misurato lungo l'asse di progetto, di circa 6 metri e salbanda di fratturazione intensa pari a circa 8-9 metri. Questa faglia, immergente a medio-alto angolo (circa 60°) verso Est-SudEst pone in contatto il basamento di scisti biotitici con la sequenza miocenica, che lungo l'asse ed a quota scavo è rappresentata dalle Argille Policrome, ricoperte da un livello sabbioso-limoso e con porzioni grossolane, discontinuo, ipotizzato come facente parte della formazione delle Sabbie e Arenarie del Miocene inferiore.
	1+898÷2+210	Argille Policrome: complesso eterogeneo e caotico costituito da una nettamente prevalente matrice argillosa, localmente sabbiosa, di colore variabile da grigio a verde, a rosso scuro-vinaccia, inglobante blocchi decametrici di quarzoareniti grossolane e di calcari marnosi. La matrice argillosa ha struttura scagliosa, determinata dalla pervasiva presenza di clivaggi di taglio anastomosati che delimitano scagliette di dimensioni centimetriche o subcentimetriche.
Faglie ed altri elementi tettonici:	1+376÷1+412 1+530÷1+564 1+876÷1+898	Faglie principali con zone di taglio fragile associate.

Problematiche idrogeologiche	1+261÷1+893	Condizioni generalmente secco-umide dell'ammasso, con la presenza di deboli manifestazioni idriche in corrispondenza delle zone di faglia. Le misure eseguite nel piezometro tipo Casagrande installato nel sondaggio SXE mostrano la presenza di acqua. E' possibile quindi una limitata circolazione di acqua all'interno delle porzioni fratturate dell'ammasso roccioso, caratterizzato da una bassa permeabilità ($6.14 \cdot 10^{-7}$ m/s in SXE – par. 8.1).
	1+893÷2+210	Nel settore di intersezione delle gallerie con il complesso delle argille policrome, nonostante la permeabilità molto bassa della formazione ($k < 10^{-7}$ m/s – par. 8.1), è possibile che queste si presentino bagnate con deboli stillicidi in fase di scavo, a causa del contrasto di permeabilità e della morfologia del limite con le sovrastanti sabbie e ghiaie mioceniche (in particolare, tra circa la pk 1+900 e la pk 1+980, e tra la pk 2+110 e la pk 2+120). A partire dalla pk 2+130 circa sarà possibile l'intersezione in calotta con il limite di tetto, inclinato a bassissimo angolo nel senso di avanzamento, delle argille policrome in contatto con i soprastanti depositi sabbioso-limosi di pertinenza della formazione delle sabbie e arenarie mioceniche, sature d'acqua della falda sospesa sul tetto delle argille.
Condizioni degli imbocchi:	Lato RC	L'imbocco sul lato Reggio Calabria è impostato negli scisti biotitici mediamente fratturati e con giacitura della scistosità a franapoggio.
	Lato TA	In corrispondenza dell'imbocco lato TA la morfologia si presenta complessa, con incisioni localmente pronunciate, dove affiorano depositi detritici-colluviali, ovvero depositi di origine torrentizia, per uno spessore minimo di alcuni metri. I depositi osservati sono costituiti da abbondante matrice limoso-sabbiosa inglobante ciottoli e blocchi di scisti e calcari brecciati. Le suddette incisioni sono sede di temporanei afflussi idrici e di trasporto solido in occasione di precipitazioni intense.
Caratteristiche del materiale di smarino:	1+261÷1+876	La roccia estratta (scisti biotitici), opportunamente frantumata e vagliata, può essere riutilizzata per la costruzione di rilevati e per riempimenti.
	1+898÷2+210	Il materiale di scavo proveniente dalle Argille policrome non è idoneo

		ad essere riutilizzato.
--	--	-------------------------

11.6 Rilevato tra Peristeri e Sant'Antonino

Geologia

Nella zona del rilevato previsto tra le gallerie Peristeri e Sant'Antonino gli affioramenti di substrato (rappresentato da argille policrome e argille marnose) sono scarsi, le argille policrome affiorano in modo discontinuo solo nell'incisione del Torrente Carcane. Esse sono ricoperte da uno strato superficiale, formato da depositi colluviali di degradazione dello stesso substrato e nella zona più prossima al torrente Carcane, da depositi alluvionali a granulometria fine.

La zona della Cascina, in passato oggetto di ripetute sistemazione antropiche che trovano il loro indizio morfologico nella presenza di rilevati e scarpate rettilinee, è caratterizzata da terreno di riporto non costipato, dello spessore variabile da zero a più di 3 metri, come verificato nel pozzetto esplorativo P8.

Sempre in prossimità della suddetta cascina, si trovava il cosiddetto "Vulcano", rappresentato da una emersione di fanghi argillosi, provenienti dal sottostante substrato di argille policrome e/o argille marnose mioceniche. L'ultima fase di intensa attività risale, secondo quanto rilevabile da informazioni orali reperite in loco (dal proprietario della cascina Sig. Romeo), al terremoto del 1978, in occasione del quale la fuoriuscita di fango dal "vulcano" fu molto abbondante. Il legame dell'attività del vulcano con l'evento sismico permette di ipotizzare che la risalita di fango avvenga attraverso fratture collegate con una faglia principale, della quale è stata ipotizzata la presenza nel modello geologico-strutturale del sottosuolo della zona in oggetto. Sulla carta geologica è stata riportata la posizione presunta del "vulcano", che attualmente è ricoperto dal terreno di riporto di sistemazione

dell'area prospiciente la cascina. La posizione, al momento del rilievo, era materializzata in loco da un accumulo di ciottoli e blocchi arrotondati. Rispetto all'opera in progetto, il punto individuato si trova a circa 8 metri di distanza verso nord dal bordo esterno dell'impronta del rilevato della carreggiata di monte.

Geomorfologia

La zona è caratterizzata nel settore prossimo agli imbocchi della galleria Peristeri dalla stessa morfologia ricordata nel precedente paragrafo 11.5 relativo alla tratta in galleria, con interferenze su incisioni localmente pronunciate, sede di temporanei afflussi idrici e di trasporto solido in occasione di precipitazioni intense.

Verso l'imbocco della Galleria Sant'Antonino, posizionato in una zona di compluvio, il carattere morfologico dominante è rappresentato da zone in generalizzata erosione superficiale, sia diffusa che incanalata. Il rilievo collinare Sant'Antonino è costituito dalle argille marnose grigie, ed il versante ovest è stato ed è tutt'ora oggetto di un imponente intervento di sistemazione e riprofilatura, a seguito del dissesto del 3 dicembre 2007. Nonostante ciò, una criticità è rappresentata dall'estesa area calanchiva presente a monte della zona di imbocco, che può produrre colate di materiale colluviale e della porzione più corticale delle argille marnose, che, in occasione di precipitazioni intense, possono dare luogo a vere e proprie colate di fango che defluiscono attraverso una serie di canali posti alla base della zona calanchiva stessa.

Idrogeologia

Al momento del rilievo geologico di superficie il torrente Carcane era sede di un limitato deflusso idrico, di portata inferiore a 0,5 l/s. Inoltre nel tratto terminale delle incisioni

secondarie prima della confluenza con il torrente Carcane stesso si sono osservate zone umide diffuse.

Nei terreni superficiali che saranno base di appoggio del rilevato stradale (depositi alluvionali del T. Carcane) è presente una falda di subalveo permanente, la cui superficie si attesta con probabilità nei pressi del contatto con il basamento argilloso.

11.7 Galleria Sant'Antonino

	Tratto	
Indagini di riferimento:		Stendimenti geofisici: LS1, LS2, LS3, LS5, LS6, LS9 (anno 2008), LS13, LS14, LS15, LS16 (2010); sondaggi geognostici: S7/03, S8/03, S9/03, S10/03, S12/03 (2003), S11E, S11bisE, S12E, S13E, S14E (2005), S2Q, S2T (2008).
Previsione di scavo:	2+504÷3+131	Peliti argilloso-marnose di colore grigio piombo, stratificate e con intercalazioni subordinate di livelli centimetrici e decimetrici di sabbie fini e arenarie debolmente cementate. Le intercalazioni sabbiose sono relativamente più frequenti nella porzione alta della formazione (che si incontra nel tratto terminale della galleria, lato TA). La giacitura della stratificazione è generalmente immergente verso Sud-SudEst, inclinata di circa 20° (a reggipoggio rispetto al fronte lato RC).
	2+575÷2+652	In corrispondenza dell'area di imbocco, lato RC, l'ammasso risulta estremamente fratturato e detensionato, con la presenza di spessi orizzonti da mediamente a molto scagliettati, verificatesi a seguito del fenomeno gravitativo che lo ha coinvolto.
Faglie ed altri elementi tettonici:	2+586÷2+624	Faglia principale con direzione N-S individuata all'estremità dell'area di dissesto dell'imbocco lato RC e relativa zona di taglio fragile.
	2+697÷2+727	Faglia principale con zona di taglio fragile associata in cui la roccia è particolarmente tettonizzata.

	<p>2+800÷2+817 2+904÷2+940 3+106÷3+121</p>	Faglie secondarie con zone di taglio fragile associate.
Problematiche idrogeologiche		<p>Le condizioni idrogeologiche variano da bagnato a presenza di stillicidi nella prima parte della galleria, dall'imbocco lato RC a pk 2+720, dove lo scavo interessa il materiale argilloso mobilizzato; la permeabilità varia, invece, da medio-bassa a media. In particolare, in corrispondenza delle principali zone di fratturazione, si stima la presenza di stillicidi (pk 2+585÷2+610 e 2+690÷2+720) e una permeabilità media mentre, lontano da queste fasce tettonizzate, le condizioni sono generalmente da umide a bagnate, con una permeabilità medio-bassa (2+504÷2+585, 2+609÷2+649, 2+649÷2+690).</p> <p>Nella seconda parte della galleria, da pk 2+720 all'imbocco lato TA, le condizioni idrogeologiche sono secco-umide e la permeabilità è bassa.</p>
Condizione degli imbocchi	Lato RC	L'imbocco è impostato nella formazione delle Argille marnose, nella porzione mobilizzata dal dissesto occorso il 3 dicembre 2007.
	Lato TA	L'imbocco lato Taranto è impostato nelle Argille Marnose, ricoperte da una coltre detritico-colluviale dello spessore di alcuni metri.
Caratteristiche del materiale di smarino:		Il materiale di scavo non è idoneo ad essere riutilizzato.

12 Analisi geologica–geomorfologica dei siti di deposito definitivo

12.1 Siti PA3a, PA3b, P13 – Fiumara Palizzi

I siti Pa3a, Pa3b e Pa13 sono vicini tra loro e presentano un contesto territoriale e geologico–geomorfologico comune. Sono tutti localizzati nel fondovalle, nell'area sub-pianeggiante, lungo la sponda della Fiumara Palizzi, a circa 1,8 km in linea d'aria a monte dell'opera in progetto. La prima (Pa3a) è compresa tra l'alveo attivo del corso d'acqua ed il rilevato della strada provinciale per Palizzi Superiore sul versante destro della fiumara, la seconda (Pa3b) occupa l'interno di una stretta ansa del torrente ed è compresa tra l'alveo attivo e la base del versante sinistro. Il sito Pa13 è a poche decine di metri a valle del sito Pa3b, in destra idrografica ed occupa la porzione sub-pianeggiante di fondovalle compresa tra l'alveo attivo della fiumara e la base del versante, al di sotto della strada provinciale per Palizzi Superiore.

Il sito Pa3a dal punto di vista geologico insiste sui depositi alluvionali terrazzati; si tratta di depositi a prevalente granulometria sabbioso–ghiaiosa, con lenti e livelli a granulometria più fine, sabbioso–limosa. I depositi alluvionali sono ricoperti da un livello di spessore da metrico a plurimetrico di depositi colluviali e/o suolo, anche rimaneggiato dalle attività di sistemazione antropica, in particolare terrazzamenti agricoli.

Il sito è impostato per circa metà sopra depositi alluvionali, che fanno transizione, nella restante parte dell'area, a depositi detritici di versante. L'assetto geomorfologico è caratterizzato dalla superficie debolmente inclinata verso il fondovalle della Fiumara di Palizzi. La superficie, in entrambi i settori destro e sinistro idrografico, risulta modificata antropicamente con la realizzazione di terrazzamenti per uliveti e campi. L'alveo della

Fiumara Palazzi scorre, poco pronunciato rispetto al circostante piano di campagna, tra due muri di sponda in direzione circa NNE-SSO.

I siti PA3b e PA13 insistono su una zona il cui contesto geologico prevede l'affioramento di rocce metamorfiche di pertinenza dell'unità dell'Aspromonte, costituite da metagraniti e ortogneiss interessati da uno sviluppato reticolo di fratture e di faglie principali, con direttrici principali circa E-O e NE-SO, che ne influenzano la morfologia.

La base dei versanti è occupata da depositi detritici e/o torrentizi, provenienti dai versanti soprastanti, organizzati in conoidi allo sbocco di incisioni minori affluenti della fiumara, oppure rappresentano i cumuli di frane di crollo. I depositi sono costituiti da blocchi spigolosi e poco arrotondati di ortogneiss e metagraniti, in matrice sabbiosa. Verso le porzioni pianeggianti del fondovalle i depositi detritici di base del versante fanno transizione ai depositi alluvionali recenti e attuali della fiumara. Questi depositi sono costituiti in prevalenza da ghiaie e ciottoli con blocchi decimetrici arrotondati, in matrice sabbiosa.

In particolare il sito PA3B in sinistra idrografica appare impostato in un'ansa del corso d'acqua delimitata da due lineamenti aventi direzione circa NE-SO e E-O. Verso l'alveo l'area di deposito è delimitata dal muro di sponda in cls della fiumara.

Il sito PA13 occupa una porzione sub-pianeggiante del fondovalle, delimitata a valle dal muro di difesa spondale della fiumara. A monte il sito è delimitato dalla scarpata posta alla base del versante, al di sotto del rilevato della strada provinciale per Palizzi Superiore.

12.2 Siti PA15a, PA15b e PA15c – Riserva – Fiumara Spartivento

I due depositi definitivi denominati PA15a, PA15b e PA15c-Riserva si trovano lungo la Fiumara Spartivento, nel Comune di Palazzi, posti a circa 900 m dalla linea di costa. Essi si sviluppano in sponda destra in direzione NNO-SSE, parallelamente al corso della fiumara, tra la base dei

rilievi, posti ad ovest, e l'alveo regimato della stessa fiumara che nel tratto interessato è limitato da alti muri in c.a. I due siti, sono separati da un modesto impluvio, tributario di sponda destra della fiumara, anch'esso regimato e delimitato da muri in c.a. L'alveo della Fiumara Spartivento scorre, poco pronunciato rispetto al piano di campagna, le aree circostanti si presentano ad andamento subpianeggianti e destinate ad attività agricole.

I siti PA15a, PA15b e PA15c-Riserva dal punto di vista geologico insistono sui depositi alluvionali terrazzati costituenti i conoidi coalescenti della Fiumara Spartivento.

Si tratta di depositi a prevalente granulometria sabbioso-ghiaiosa, con lenti e livelli a granulometria più fine, sabbioso-limosa. I depositi alluvionali sono ricoperti da un livello di spessore da metrico a plurimetrico di depositi colluviali e/o suolo, anche rimaneggiato dalle attività di sistemazione antropica, in particolare terrazzamenti agricoli.

L'assetto geomorfologico è caratterizzato dalla superficie debolmente inclinata verso l'asse della Fiumara. I terreni superficiali in corrispondenza delle aree di deposito intermedio sono sostanzialmente costituiti da materiali a matrice sabbiosa con inclusi poligenici di varia natura e scarso grado di addensamento.

In corrispondenza dei depositi intermedi non sono state rinvenute risorgive e la falda non ha carattere superficiale.

13 Bibliografia

- Atzori, P., Ioppolo, S., Maccarone, E., Pezzino, A. e Puglisi, G. (1976): I paragneiss e micascisti della catena peloritana. *Rend. SIMP*, 32, 479-496.
- Barberi, F., Gasparini, P., Innocenti, F. e Villari, L. (1973): Volcanism of the Southern Tyrrhenian Sea and its geodynamic implications. *J. Geoph. Res.*, 78, 5221-5232.
- Bonardi, G., Giunta, G., Perrone, V., Russo, M., Zuppetta, A. e Ciampo, G. (1980): Osservazioni sull'evoluzione dell'arco calabro-peloritano nel Miocene inferiore: la Formazione di Stilo-Capo d'Orlando. *Boll. Soc. Geol. It.*, 99, 365-393.
- Cotecchia, V., Guerricchio, A. & Melidoro, G. (1986): The geomorphogenetic crisis triggered by the 1783 earthquake in Calabria (Southern Italy). *Proceedings of the "International Symposium on Engineering Geology Problems in Seismic Areas"*, 6, 93-118.
- Crisci G.M., Donati G., Messina A., Russo S., Perrone V., 1982: L'unità superiore dell'Aspromonte - Studio Geologico e Petrografico, *Rend. Soc. It. Min. e Petr.*, 38-3, 989-1014.
- Cristofolini R., Ghisetti F., Vezzani L. & Scarpa R., 1982: Processi dinamici profondi e superficiali nell'arco calabro e nell'appennino sulla base di dati geologici, sismologici e vulcanologici. *Mem. Soc. Geol. It.*, 24, 497-505.
- Cruden D.M. and Varnes D.J. (1994): Landslide types and processes. In: Turner A.K. & Schuster R.L. eds. - *Landslides: Investigation and Mitigation*. Special Report 247, 36-75.
- Dershowitz W., Wallmann P. and Kindred S. (1991): Discrete Fracture Modelling for the Stripa Site Characterization and Validation Drift Inflow Predictions. *Stripa Project Technical Report – Golder Associates Inc. Redmond, Washington, USA*, pp1-100.

- Fabbri, A., Rossi, S., Sartori, R. e Barone, A. (1982): Evoluzione Neogenica dei Margini Marini dell'Arco Calabro – Peloritano: Implicazioni geodinamiche. Mem. Soc. geol. It., 24, 357-366.
- Garavello A., Luciani V., Minzoni N., Negri A., Ungaro S., 1990: Escursione in Calabria 23-29 Settembre 1990 - Libretto Guida a cura del Gruppo Lavoro Paleozoico
- Gasparini, C., Iannaccone, G., Scandone, P. e Scarpa, R. (1982): Seismotectonics of the Calabrian Arc. Tectonophysics, 84, 267-286.
- Ghisetti, F. (1979): Relazioni tra strutture e fasi trascorrenti e distensive lungo i sistemi Messina-Fiumefreddo, Tindari-Letojanni e Alia-Malvagna (Sicilia nord-orientale): uno studio microtettonico. Geol. Romana, 18, 23-58.
- Ghisetti, F., 1981: Upper Pliocene-Pleistocene uplift rates as indicators of neotectonic pattern: an example from southern Calabria (Italy). Z. Geomorph. N. F., 93-118.
- Ghisetti F. & Vezzani L., 1981: Deformazioni superficiali e deformazioni profonde nell'arco calabro: implicazioni sismotettoniche. Rend. Soc. Geol. It., 4, 577-581.
- Ghisetti, F. e Vezzani, L. (1982): The recent deformation mechanism of the Calabrian Arc. Earth Evol. Sc., 3, 197-206.
- Guerra I., 1989: Evoluzione geologica e sismicità della Calabria. La Calabria e i terremoti.
- Guerricchio A., 1988: Aspetti geologici sull'erosione dei litorali e loro influenza nel campo applicativo. Geologia Applicata e Idrogeologia, 23.
- James C.A., Davies R.G., 1963: Carta geologica della Calabria alla scala di 1:25000. Nota illustrativa delle tavolette appartenenti al foglio 264 – Palizzi – Cassa per opere straordinarie di pubblico interesse nell'Italia meridionale (Cassa per il Mezzogiorno).

- Malinverno, A. e Ryan, W.B.F. (1986): Extension in Tyrrhenian sea and shortening in the Appennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere. *Tectonics*, 5, 227-243.
- Messina A., Compagnoni R., De Francesco A.M., Russo S., 1992: Alpine metamorphic overprint in the crystalline basement of the Aspromonte Unit (Calabrian Peloritan Arc - Southern Italy). *ICGP No. 276, NEWSLETTER 5*, 353-379.
- Moretti, A., Corea, I. & Guerra, I., -: Sismicità attuale e sistemi di fratture superficiali in Calabria. Seminario di studi - Riduzione del rischio sismico in Calabria, attività e prospettive.
- Moretti A. e Guerra, I. (1997): tettonica dal messiniano ad oggi in Calabria: implicazioni sulla geodinamica del sistema Tirreno – Arco Calabro. *Boll. Soc. geol. It.*, 116, 125-142.
- Pezzino, A. & Puglisi, G., 1980: Indagine geologico-petrografica sul cristallino dell'Aspromonte centro-settentrionale (Calabria). *Boll. Soc. Geol. It.*, 90 1 f 255-268.
- Rottura, A., Atzori, P., Bargossi, G.M., Del Moro, A., Grassi, G., Laurenzi, M.A., Maccarrone, E., Macera, P., Paglionico, A., Petrini, R., Pezzino, A., Piccarreta, G. and Poli, P., 1996: The late hercynian granitoids from southern sector of Calabrian arc (Southern Italy). *Annul field meeting of granitologues - september 20-24*, 21-42.
- Scandone, P. (1982): Structure and evolution of the Calabrian Arc. *Earth Evol. Sc.*, 3, 172-180.
- Schenk, V., 1989: The exposed crustal cross section of southern Calabria, Italy: structure and evolution of a segment of hercynian crust.
- Tortorici, L. (1982): Lineamenti Geologico – Strutturali dell'Arco Calabro – Peloritano. *Rend. Soc. it. Min e Petr.*, 38, 927-940.

- Vai G. B.,1992: Il segmento calabro-peloritano dell'orogene ercinico. Disaggregazione palinspastica. Boll. Soc. Geol. It., 111, 109-129.
- Van Dijk, J. And Okkes, M. (1991): Neogene tectonostratigraphy and kinematics of Calabrian basins; implications for the geodynamic of the central Mediterranean. Tectonophysics, 196, 23-60.
- Van Dijk J. & Okkes M., 1991: Neogene tectonostratigraphy and kinematics of Calabrian basins: implications for the geodynamics of the Central Mediterranean. Tectonophysics, 196, 23-60.
- Varnes, D.J. (1978): Slope movement types and processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J. – eds. Landslides: Analysis and Control, Special Report n. 176, 11-33.