

Sommario

1	PREMESSA	5
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
3	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	7
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE	8
4.1	CAMPAGNA INDAGINI AUTOSTRADALE 2019 (TECHNOSOIL-ISMGEO).....	8
4.2	INDAGINI PREGRESSE	9
4.2.1	Campagna di indagine 1981 Ferrovie dello Stato (GEOTEST).....	9
4.2.2	Campagna di indagine Ferrovie dello Stato 1983 (GEOTEST).....	10
4.2.3	Campagna di indagine Autostrade 1991 (SIPES – ISMES – SGILAB).....	11
4.2.4	Campagna di indagine Regione Molise 2000 - 2001 (Geotrivel – GEO s.p.A.).....	13
4.3	TABELLA RIASSUNTIVA DELLE INDAGINI RICADENTI IN PROSSIMITÀ DEL VIADOTTO CACCHIONE	15
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	17
5.1	CARATTERI TETTONICI E STRUTTURALI	17
5.2	STRATIGRAFIA	19
5.2.5	Successione marina del Pliocene superiore – Pleistocene	20
5.2.6	Successione di transizione dal marino al continentale del Pleistocene	23
5.2.7	Successione del quaternario continentale.....	23
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DEL VERSANTE IN FRANA	25
6.1	CONSIDERAZIONI GENERALI.....	25
6.2	DATI IDROGEOLOGICI DERIVANTI DALLE CAMPAGNE DI INDAGINE	25
6.2.1	Monitoraggio piezometrico indagini Ferrovie dello Stato 1981-1982.....	25
6.2.2	Dati di monitoraggio desunti dallo studio dei Proff. V. Cotecchia e G. Melidoro.....	26
6.2.3	Monitoraggio piezometrico Indagini società Autostrade.....	26
6.2.4	Campagna indagini Autostrade (2019).....	27
6.2.5	Prove Lefranc.....	27
7	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	29
7.1	ELEMENTI GENERALI.....	29
7.1.6	Lineamenti geomorfologici locali.....	29
7.1.7	Forme di versante dovute alla gravità	30
7.1.8	Forme, processi e depositi per acque correnti superficiali.....	32
7.1.9	Forme di origine marina ed eolica	32
7.1.10	Forme strutturali	33
7.1.11	Forme antropiche	33
7.2	COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA – VERIFICA DOCUMENTI DI PIANO	33
7.2.1	Regione Molise: Studio del Rischio Idrogeologico.....	33
7.2.2	Piano Assetto Idrogeologico (PAI)	35
7.2.3	Piano di gestione rischio alluvioni (P.G.R.A.).....	37
7.2.4	Inventario Fenomeni franosi in Italia (Progetto IFFI)	39
7.2.5	Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Progetto CARG).....	41
7.2.6	Piano Regolatore Comune di Petacciato	42
7.2.7	Provincia di Campobasso (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – PTCP).....	46
8	LA GRANDE FRANA DI PETACCIATO	47
8.1	CARATTERISTICHE GENERALI.....	47
8.2	EVIDENZE GEOMORFOLOGICHE DELLA RIATTIVAZIONE DEL 1991	50
8.2.1	Zona dell'abitato di Petacciato.....	50
8.2.2	Porzione sommitale del versante a valle della falesia.....	54

8.2.3	Area tra il Colle degli Ulivi ed il torrente Cacchione.....	55
8.2.4	Area tra il Colle degli Ulivi ed il Fosso della Torre.....	59
8.2.5	Zona del litorale.....	60
8.3	EVIDENZE GEOMORFOLOGICHE DELLA RIATTIVAZIONE DEL 2009.....	62
8.3.6	Zona dell'abitato di Petacciato.....	62
8.3.7	Porzione sommitale del versante a valle della falesia.....	66
8.3.8	Area tra il Colle degli Ulivi ed il torrente Cacchione.....	71
8.3.9	Area tra il Colle degli Ulivi ed il Fosso della Torre.....	77
8.3.10	Zona del litorale.....	79
8.4	EVIDENZE DELLA RIATTIVAZIONE DEL 2015 IN PROSSIMITA' DEL VIADOTTO CACCHIONE.....	79
8.5	MONITORAGGIO INCLINOMETRICO PREGRESSO.....	84
8.5.1	Dati di monitoraggio rilevati dalle Ferrovie dello Stato 1981-1982.....	84
8.5.2	Dati contenuti nello studio dei Proff. V. Cotecchia e G. Melidoro.....	84
8.5.3	Dati di monitoraggio della società Autostrade per l'Italia.....	85
9	LIQUEFAZIONE.....	86
10	ELEMENTI DI SISMICA GENERALE E CATALOGO FAGLIE CAPACI.....	87
10.1	SISMICITA' STORICA.....	87
10.2	SISMICITA' STRUMENTALE - ISIDE - INGV.....	89
10.3	FAGLIE CAPACI (PROGETTO ITHACA).....	90
10.4	ZONAZIONE SISMOGENETICA E STRUTTURE SISMOGENETICHE.....	91
10.5	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	93
11	MONITORAGGIO GEOTECNICO NELL'AREA DEL VIADOTTO CACCHIONE.....	97
12	DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DELL'AREA INTERESSATA DAL PROGETTO.....	98
12.1	SINTESI DELLA SITUAZIONE TETTONICO-STRUTTURALE.....	98
12.2	SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE.....	98
12.3	SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	99
12.4	SINTESI DELLE CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE.....	100
12.5	TIPOLOGIA DEL MOVIMENTO FRANOSO.....	101
12.5.1	Zona del coronamento.....	101
12.5.2	Parti laterali della frana.....	101
12.5.3	Zona al piede.....	101
12.6	SINTESI.....	102
13	PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO.....	103
14	BIBLIOGRAFIA.....	106

Indice delle Tabelle e delle Figure

FIGURA 2-1.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO. LA FRECCIA VERDE INDIVIDUA LA ZONA DI STUDIO.....	6
TABELLA 4-1.	TABELLA DI SINTESI INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO AUTOSTRADE PER L'ITALIA 2019 (TECHNOSOIL).....	9
TABELLA 4-2.	TABELLA DI SINTESI INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO FERROVIE DELLO STATO 1981 (GEOTEST).....	10
TABELLA 4-3.	TABELLA DI SINTESI INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO FERROVIE DELLO STATO 1983 (GEOTEST).....	10
TABELLA 4-4.	TABELLA DI SINTESI INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO AUTOSTRADE 1991 (SIPES).....	11
TABELLA 4-5.	TABELLA DI SINTESI INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO AUTOSTRADE 1991 (ISMES).....	12
TABELLA 4-6.	TABELLA DI SINTESI INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO AUTOSTRADE 2000-2001 (GEOTRIVELL).....	13
TABELLA 4-7.	TABELLA DI SINTESI INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO REGIONE MOLISE 2000-2001 (GEOTRIVELL).....	14
TABELLA 4-8.	INDAGINI ESEGUITE NELL'AREA DEL VIADOTTO CACCHIONE.....	15
FIGURA 5-1.	SCHEMA NEOTETTONICO (DA NEOTECTONIC MAP OF ITALY, 1983).....	18

FIGURA 5-2. SCHEMA GEOLOGICO STRUTTURALE DELL'APPENNINO CENTRO-MERIDIONALE (NOTE ILLUSTRATIVE CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000 FOGLIO 372 VASTO)	19
FIGURA 5-3. ORGANIZZAZIONE VERTICALE E SPAZIO-TEMPORALE DEI DEPOSITI DELLA FORMAZIONE DI MUTIGNANO (NOTE ILLUSTRATIVE CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000 FOGLIO 351 PESCARA).....	20
FIGURA 5-4. LOG STRATIGRAFICO SCHEMATICO DELLA FORMAZIONE DI MUTIGNANO (NOTE ILLUSTRATIVE CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000 FOGLIO 351 PESCARA)	21
FIGURA 5-5. SEZIONI STRATIGRAFICHE DEI RAPPORTI TRA L'ASSOCIAZIONE SABBIOSO-CONGLOMERATICHE (FMTd) E LA SOVRASTANTE ARGILLE E CONGLOMERATI DI RIPA TEATINA (RPT) (NOTE ILLUSTRATIVE CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000 FOGLIO 372 VASTO).....	22
TABELLA 6-1. LETTURE PIEZOMETRICHE NEI SONDAGGI B, E ED H DELLA CAMPAGNA D'INDAGINE 1981	25
TABELLA 6-2. LIVELLI DI FALDA MASSIMI NEL PERIODO LUGLIO 2000-GIUGNO 2001 RILEVATI NEI SONDAGGI ESEGUITI PER CONTO DELLA REGIONE MOLISE	26
TABELLA 6-3. LIVELLI DI FALDA MASSIMI RILEVATI NEL 1996 NEI SONDAGGI ESEGUITI NELL'AMBITO DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE 1991	27
TABELLA 6-4. PROVE LEFRANC (2019 – TECHNOSOIL).....	28
FIGURA 7-1 REGIONE MOLISE, STUDIO DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO NELLA REGIONE – TAV. A.1.3. CARTA INVENTARIO DEGLI EVENTI FRANOSI - SEZ. 37215 (ICS=INDICE CINEMATICO DI STABILITÀ) (ACCESSO DELL'APRILE 2019). IL CERCHIO BLU INDIVIDUA LA ZONA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO.	34
FIGURA 7-2 REGIONE MOLISE, STUDIO DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO NELLA REGIONE –TAV. A.2.3. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA FRANA - SEZ. 37215 (ICS=INDICE CINEMATICO DI STABILITÀ) (ACCESSO DELL'APRILE 2019). IL CERCHIO BLU INDIVIDUA LA ZONA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO.	35
FIGURA 7-3. PROGETTO PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO – AUTORITÀ DI BACINO DEI FUMI TRIGNO, BIFERNO E MINORI SACCIONE E FORTERE – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA FRANA E VALANGA - CARTOGRAFIA WEB GIS (ACCESSO DELL'APRILE 2019). IL CERCHIO BLU INDIVIDUA LA ZONA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO.	36
FIGURA 7-4. PROGETTO PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO – AUTORITÀ DI BACINO DEI FUMI TRIGNO, BIFERNO E MINORI SACCIONE E FORTERE – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA - CARTOGRAFIA WEB GIS (ACCESSO DELL'APRILE 2019). IL CERCHIO BLU INDIVIDUA LA ZONA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO.	37
FIGURA 7-5. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONE – MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA – TAV. 52P. IL CERCHIO BLU INDIVIDUA L'AREA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO.	38
FIGURA 7-6. SINANET PROGETTO IFFI (ACCESSO DELL'APRILE 2019). IL CERCHIO BLU INDIVIDUA L'AREA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO (VIADOTTO CACCHIONE).	39
FIGURA 7-7. STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000. FOGLIO 372 VASTO.	41
FIGURA 7-8. COMUNE DI PETACCIATO – RIADOZIONE VARIANTE AL PIANO REGOLATORE GENERALE - TAV. F - CARTA DELLA PERIMETRAZIONE DEL MOVIMENTO FRANOSO PRIMA DELL'EVENTO DEL 18/03/2015, MAGGIO 2016. IL CERCHIO AZZURRO INDIVIDUA LA ZONA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO (VIADOTTO CACCHIONE).	42
FIGURA 7-9. COMUNE DI PETACCIATO – RIADOZIONE VARIANTE AL PIANO REGOLATORE GENERALE - TAV. G - CARTA DELLA PERIMETRAZIONE DEL MOVIMENTO FRANOSO DOPO L'EVENTO DEL 18/03/2015, MAGGIO 2016. IL CERCHIO AZZURRO INDIVIDUA LA ZONA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO (VIADOTTO CACCHIONE).	43
FIGURA 7-10. COMUNE DI PETACCIATO – RIADOZIONE VARIANTE AL PIANO REGOLATORE GENERALE - TAV. C2 – CARTA D'USO DEL SUOLO O DELLE PENALITÀ AI FINI EDIFICATORI. IL CERCHIO BLU INDIVIDUA LA ZONA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO (VIADOTTO CACCHIONE).	44
FIGURA 7-11. COMUNE DI PETACCIATO – RIADOZIONE VARIANTE AL PIANO REGOLATORE GENERALE - TAV. A2 – CARTA GEOMORFOLOGICA CON UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE. IL CERCHIO BLU INDIVIDUA LA ZONA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO (VIADOTTO CACCHIONE).	45
FIGURA 7-12 PROVINCIA DI CAMPOBASSO – PTCP “IL PERCORSO PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE DEL MOLISE – MATRICE AMBIENTALE – TAV.A CARTA DELLA PERICOLOSITÀ (ACCESSO DELL'APRILE 2019). IL CERCHIO GIALLO INDIVIDUA LA ZONA INTERESSATA DALLE OPERE IN PROGETTO.	46
FIGURA 8-1. INDICAZIONE SCHEMATICA DELLA LARGHEZZA DEI MOVIMENTI FRANOSI VALUTATA IN CORRISPONDENZA DELLA FERROVIA, CON LA DATA DELL'EVENTO (DA A. GUERRICCHIO AT ALII, 1996).	48
FIGURA 8-2. LESIONE IN ZONA DI CORONAMENTO (FOTO DEL 7 FEBBRAIO C.A.)	50
FIGURA 8-3 SVILUPPO VERSO EST DELLA LESIONE.	51
FIGURA 8-4 LESIONE IN ZONA DI CORONAMENTO, PORZIONE ORIENTALE (FOTO DEL 7 FEBBRAIO C.A.).	51
FIGURA 8-5 PRISMA DI MATERIALE ARENACEO IN EQUILIBRIO PRECARIO.	52
FIGURA 8-6 LOCALITÀ CAVA DELLA RIPA –LESIONI SULLA STRADA (F5).	53
FIGURA 8-7 LOCALITÀ CAVA DELLA RIPA – PARTICOLARE STRADA E SMOTTAMENTO FALESIA (F6).....	53
FIGURA 8-8 LOCALITÀ VACCARECCIA – LESIONE SULLA STRADA DI FORMA CONCAVA AD ARCO (F7).....	54

FIGURA 8-9 FRATTURE AI PIEDI DELLA SCARPATA (F8).....	55
FIGURA 8-10 GRADINO MORFOLOGICO (F9).....	55
FIGURA 8-11 LOCALITÀ “FONTE RAVANELLI” – LESIONI SUGLI EDIFICI (F10 E F11).....	56
FIGURA 8-12 STRADA VICINALE IN LOCALITÀ “COLLE DEGLI ULIVI” – LESIONI SULLA PAVIMENTAZIONE (F12).....	57
FIGURA 8-13 CONTINUAZIONE A VALLE DELLA STRADA DELLA LESIONE DI FIGURA 8-12 (F13).....	57
FIGURA 8-14 PARTICOLARE DELLA LESIONE DI FIGURA 8-13 (F14).....	58
FIGURA 8-15 LESIONI SUL RIVESTIMENTO DELLA CANALETTA DEL FOSSO CACCHIONE IN CORRISPONDENZA DEL VIADOTTO AUTOSTRADALE (F15).....	58
FIGURA 8-16 LESIONI SULLA CANALETTA DI RIVESTIMENTO DEL FOSSO CACCHIONE IN PROSSIMITÀ DEL VIADOTTO AUTOSTRADALE (F16).....	59
FIGURA 8-17 LESIONI SULLA STRADA VICINALE A VALLE DEL VIADOTTO CACCHIONE (F17).....	59
FIGURA 8-18 BLOCCO DI CONGLOMERATO IN LOCALITÀ MORGETTA (F18).....	60
FIGURA 8-19 LINEA DI BATTIGIA – CUNEO DI ARGILLA EMERSO A SEGUITO DEL MOVIMENTO FRANOSO (FOTO 14 FEBBRAIO) (F19).....	61
FIGURA 8-20 SPIAGGIA – SOLLEVAMENTO BERMA IN CORRISPONDENZA DELLE ARGILLE (F20).....	61
FIGURA 8-21 FRATTURE SUL CIGLIO DELLA SCARPATA DI FRONTE ALLA VECCHIA CHIESA DI PETACCIATO (F.1).....	63
FIGURA 8-22 CONTINUAZIONE VERSO NORD OVEST DELLE FRATTURE DI FIGURA 8-21 (F.2).....	63
FIGURA 8-23 LESIONI ALLE STRUTTURE MURARIE DI ABITAZIONI UBICATE IN PROSSIMITÀ DEL PIAZZALE (F.3).....	64
FIGURA 8-24 CONTINUAZIONE VERSO EST DELLE LESIONI DI FIGURA 8-21 (F.4).....	64
FIGURA 8-25 LOCALITÀ “CAVA DELLA RIPA” – AMPIA LESIONE SULLA STRADA COMUNALE (F6).....	65
FIGURA 8-26 LOCALITÀ “CAVA DELLA RIPA” – TERRAZZAMENTI LUNGO IL FRONTE DI FRANA (F7).....	65
FIGURA 8-27 LOCALITÀ “VACCARECCIA” – LESIONI LUNGO LA STRADA PROVINCIALE DI PETACCIATO (F8).....	66
FIGURA 8-28 LESIONE SULLA STRADA PROVINCIALE DI PETACCIATO (F.9).....	67
FIGURA 8-29 LESIONE DI FIGURA 8-28 CHE HA INTERESSATO ANCHE IL MURO DI RECINZIONE DI UNA ABITAZIONE (F.10).....	67
FIGURA 8-30 FRATTURE SULLA PAVIMENTAZIONE SULLA S.P. LITORANEA (F.11).....	68
FIGURA 8-31 FRATTURE NEI TERRENI ADIACENTI LA S.P. LITORANEA DIREZIONE OVEST (F.12).....	68
FIGURA 8-32 FRATTURE SULLA PAVIMENTAZIONE DELLA S.P. LITORANEA DIREZIONE NORD-OVEST (F.13).....	69
FIGURA 8-33 FRATTURE SULLA PAVIMENTAZIONE DELLA S.P. LITORANEA, DIREZIONE NORD-OVEST (F.14).....	69
FIGURA 8-34 FRATTURE NEI TERRENI AL MARGINE DELLA S.P. DI PETACCIATO, DIREZIONE NORD (F.15).....	70
FIGURA 8-35 FRATTURA NEL TERRENO ALLA BASE DEL VERSANTE PANORAMICO DI PETACCIATO (F.16).....	70
FIGURA 8-36 FRATTURA NELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE DELLA S.P. DI PETACCIATO (F.17).....	71
FIGURA 8-37 FRATTURA NELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE DELLA STRADA COMUNALE CHE SCENDE A MARE (F.18).....	72
FIGURA 8-38 FRATTURA NELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE SULLA STRADA VICINALE NEL TRATTO COMPRESO TRA IL VIADOTTO CACCHIONE E LA FERROVIA (F.19).....	72
FIGURA 8-39 FRATTURA NELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE SULLA STRADA VICINALE NEL TRATTO COMPRESO TRA IL VIADOTTO CACCHIONE E LA FERROVIA (F.20).....	73
FIGURA 8-40 FRATTURA NELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE SULLA STRADA VICINALE NEL TRATTO COMPRESO TRA IL VIADOTTO CACCHIONE E LA FERROVIA (F.21A - 21B - 21C).....	74
FIGURA 8-41 LESIONE SULLA PAVIMENTAZIONE AUTOSTRADALE IN CARREGGIATA NORD (F.22).....	75
FIGURA 8-42 FRATTURE NEL TERRENO IN ADIACENZA ALLA S.S. 16 ADRIATICA (F.23).....	75
FIGURA 8-43 LESIONI SULLA PAVIMENTAZIONE STRADALE DELLA S.S. 16 ADRIATICA (F.24).....	76
FIGURA 8-44 LESIONI SULLA PAVIMENTAZIONE STRADALE DELLA S.S. 16 ADRIATICA (F.25).....	76
FIGURA 8-45 LESIONI SULLA PAVIMENTAZIONE STRADALE DELLA S.S. 16 ADRIATICA (F.26).....	77
FIGURA 8-46 LOCALITÀ “TORRE DI PETACCIATO” LESIONI SULLA PAVIMENTAZIONE STRADALE DELLA S.S. 16 ADRIATICA (F.27).....	78
FIGURA 8-47 LOCALITÀ “TORRE DI PETACCIATO” LESIONI SULLA PAVIMENTAZIONE DELLA STRADA COMUNALE IN ADIACENZA ALLA FERROVIA (F.28).....	78
FIGURA 8-48 CUNEO DI ARGILLA IN AFFIORAMENTO NELLA ZONA DI BATTIGIA (F.29).....	79
FIGURA 8-49. VIADOTTO CACCHIONE – RIATTIVAZIONE 2015: PLANIMETRIA GENERALE E MOVIMENTO DELLA FRANA.....	80
FIGURA 8-50. VIADOTTO CACCHIONE – RIATTIVAZIONE 2015: LESIONI NELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE.....	80
NEL TRATTO DI RILEVATO COMPRESO TRA IL VIADOTTO CACCHIONE ED IL VIADOTTO MARINELLA.....	80
FIGURA 8-51. VIADOTTO CACCHIONE – RIATTIVAZIONE 2015: LESIONI NELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE.....	81
NEL TRATTO DI RILEVATO/MEZZACOSTA COMPRESO TRA IL VIADOTTO CACCHIONE ED IL VIADOTTO MARINELLA.....	81
(LESIONE “D6” IN CARREGGIATA SUD A 70M CIRCA DALLA SPALLA BARI DEL VIADOTTO).....	81
FIGURA 8-52. VIADOTTO CACCHIONE – RIATTIVAZIONE 2015: LESIONI NELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE.....	82
NEL TRATTO DI RILEVATO/MEZZACOSTA COMPRESO TRA IL VIADOTTO CACCHIONE ED IL VIADOTTO MARINELLA.....	82
(LESIONE “S5” IN CARREGGIATA NORD A 55M CIRCA DALLA SPALLA BARI DEL VIADOTTO).....	82
FIGURA 8-53. VIADOTTO CACCHIONE – RIATTIVAZIONE 2015: LESIONI NELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE.....	83

NEL TRATTO DI RILEVATO/MEZZACOSTA COMPRESO TRA IL VIADOTTO CACCHIONE ED IL VIADOTTO MARINELLA.....	83
(LESIONI "S1", "S2", "S3" ED "S4" IN CARREGGIATA NORD).	83
TABELLA 8-1. RISULTATI LETTURE INCLINOMETRICHE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE 1991	85
FIGURA 10-1. INTENSITÀ MACROSISMICHE REGISTRATE NEL DATA BASE DBM15 PER IL COMUNE DI PETACCIATO (IT_58776), (ACCESSO DELL'APRILE 2019).	88
FIGURA 10-2. DISTRIBUZIONE DEI TERREMOTI LOCALIZZATI IN TEMPO REALE DALL'INGV CENTRO NAZIONALE DEI TERREMOTI IN UN RAGGIO DI 50 KM DAL COMUNE DI PETACCIATO (GENNAIO 1985-APRILE 2019). I DATI E I RISULTATI PUBBLICATI DALL'ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA SONO DISTRIBUITI SOTTO LICENZA CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE. BASATO SU UN LAVORO PRESSO CENTRO NAZIONALE TERREMOTI. ACCESSO DELL'APRILE 2019.	89
FIGURA 10-3. DISTRIBUZIONE DEI TERREMOTI LOCALIZZATI IN TEMPO REALE DALL'INGV CENTRO NAZIONALE DEI TERREMOTI CON DETTAGLIO SULLA ZONA DI STUDIO (GENNAIO 1985-APRILE 2019). I DATI E I RISULTATI PUBBLICATI DALL'ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA SONO DISTRIBUITI SOTTO LICENZA CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE. BASATO SU UN LAVORO PRESSO CENTRO NAZIONALE TERREMOTI. ACCESSO DELL'APRILE 2019.	90
FIGURA 10-4. DISTRIBUZIONE FAGLIE CAPACI "PROGETTO ITHACA" (ITALY HAZARD FROM CAPABLE FAULTS CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI PRESENTI SUL TERRITORIO ITALIANO - ISPRA). IL CERCHIO BLU INDIVIDUA L'AREA DI STUDIO (ACCESSO DELL'APRILE 2019).....	91
FIGURA 10-5. ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 (A CURA DI C. MELETTI E G. VALENSISE MARZO 2004). I LIMITI DI COLORE NERO SEPARANO ZONE CON ANALOGO SIGNIFICATO CINEMATICO, CHE DIFFERISCONO PRINCIPALMENTE PER LE CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ; LE DIVERSE ZONE SONO INDIVIDUATE DA UN NUMERO, LE ZONE INDICATE CON UNA LETTERA NON SONO STATE UTILIZZATE PER LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.	92
FIGURA 10-6. MAPPA DELLE AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE (FONTE: DATABASE OF INDIVIDUAL SEISMOGENETIC SOURCE DISS 3.2.1) (ACCESSO DELL'APRILE 2019).	93
FIGURA 10-7. CLASSIFICAZIONE SISMICA AL 2015 (FONTE: PROTEZIONE CIVILE), ACCESSO DELL'APRILE 2019.....	95
FIGURA 10-8. REGIONE MOLISE – CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI MOLISANI – MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL TERRITORIO REGIONALE (ACCESSO AL SITO ON-LINE DELL'APRILE 2019).	96

1 PREMESSA

Il presente studio è stato redatto a supporto della progettazione definitiva relativa all'adeguamento della sede autostradale in corrispondenza del viadotto Cacchione tra le progressive km 462+446 e km 462+521 dell'autostrada A14 in località Petacciato (Provincia di Campobasso). Il progetto prevede l'eliminazione completa del viadotto e la sua sostituzione con un rilevato.

Si sottolinea che l'intervento di cui in oggetto si pone l'obiettivo di mitigare gli effetti delle frane sulla sede autostradale e non quello d'incrementare le condizioni di stabilità globali del versante su cui attualmente insiste il viadotto e nemmeno quello di stabilizzare una parte dei movimenti franosi che caratterizzano l'area di Petacciato. In altri termini, con la richiesta di realizzare un rilevato al posto del viadotto, il committente intende ottimizzare e velocizzare la realizzazione degli interventi di manutenzione straordinaria che sarebbero necessari in caso di riattivazione delle frane.

In ragione di quanto sopra, dal punto di vista del geologo, il progetto è fattibile se e solo se la sicurezza dell'infrastruttura nei confronti dei fenomeni franosi potrà essere garantita in ogni istante tramite un monitoraggio continuo redatto sulla base dei contenuti di uno specifico protocollo di gestione delle emergenze. In particolare, il monitoraggio dovrà essere concepito in maniera tale da tener conto della complessità e delle evoluzioni del versante.

Dal punto di vista geomorfologico, il viadotto Cacchione viene a collocarsi nell'ambito di un'ampia area franosa che si sviluppa fra l'abitato di Petacciato e la vicina costa adriatica. In tale area periodicamente si riattivano movimenti gravitativi profondi tali da creare problemi all'abitato, alla rete viaria locale e alle infrastrutture di trasporto situate nella parte bassa del versante (autostrada A14, ferrovia e strada statale). Le ultime riattivazioni dei movimenti franosi (2015, 2009 e 1996) hanno infatti richiesto diversi interventi di manutenzione e di riparazione dell'impalcato del viadotto per problematiche principalmente connesse agli appoggi, ai giunti ed al quadro deformativo della pavimentazione stradale.

Lo scopo della presente relazione consiste nell'illustrare gli elementi geologici e geomorfologici utili a focalizzare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni interessati dall'intervento in progetto. Le attività di studio sono state articolate secondo il seguente schema:

- inquadramento e caratterizzazione geologica e geomorfologica ottenuta mediante la ricerca bibliografica di dati pregressi;
- esecuzione di specifiche campagne di indagine;
- descrizione per ambiti omogenei dell'area di studio.

Nell'ambito degli obiettivi generali, si intende definire quanto segue:

- unità geologiche presenti, sulla base di una caratterizzazione litologico-tecnica e strutturale delle singole formazioni che, nel contempo, tenga conto delle classificazioni litostratigrafiche e cronostratigrafiche convenzionali;
- assetto geomorfologico del territorio con particolare riferimento ai fenomeni in atto.

L'insieme delle attività svolte ha permesso di redigere elaborati planimetrici in scala 1:5.000 quali la planimetria di ubicazione delle indagini geognostiche, la carta geologica, la carta geomorfologica e sezioni geologiche in scala 1:5.000.

La presente relazione descrive quanto rappresentato negli elaborati grafici allegati al progetto; inoltre, contiene un capitolo di sismica generale, che inquadra il territorio dal punto di vista della sismicità.

La definizione dell'accelerazione sismica di riferimento, della quota di falda di progetto, delle interferenze fra infrastruttura e la falda idrica, la stima quantitativa dei volumi potenzialmente instabili, la definizione degli interventi di minimizzazione / stabilizzazione, la caratterizzazione delle terre provenienti dagli scavi in ordine alla loro possibile riutilizzabilità, la definizione del modello geotecnico, i criteri per la scelta delle fondazioni delle opere non sono argomenti oggetto della presente relazione geologico – geomorfologica. Qualora la progettazione delle opere in argomento e/o i vincoli territoriali implicassero la definizione dei tematismi sopra elencati, essi sarebbero sviluppati nell'ambito di specifiche relazioni ingegneristiche.

Per quanto riguarda i documenti di pianificazione descritti in relazione, si specifica che l'accesso alle informazioni pubblicate in rete, risale al mese di aprile 2019.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'intervento oggetto di studio si colloca nella porzione settentrionale del comune di Petacciato, in prossimità del km 462+500 dell'autostrada A14 Bologna-Bari-Taranto. Il Comune di Petacciato è compreso nella fascia nord orientale della Provincia di Campobasso (Regione Molise).

Morfologicamente l'area è caratterizzata da rilievi collinari dolcemente ondulati o marcatamente tabulari (Petacciato) degradanti verso mare che raggiungono quota di circa 220 m s.l.m. Il reticolo idrografico è caratterizzato da corsi d'acqua ad andamento prevalentemente SO-NE, il corso d'acqua principale è rappresentato dal torrente Tecchio, a nord; il bacino idrografico ricadente nell'area indagata è quello del Fiume Biferno e minori.

Il litorale a costa bassa, presenta un generale andamento da NO a SE. Il tracciato autostradale, in questo tratto, si sviluppa pressoché parallelo alla linea di costa adriatica e alla rete ferroviaria ubicata valle dello stesso.

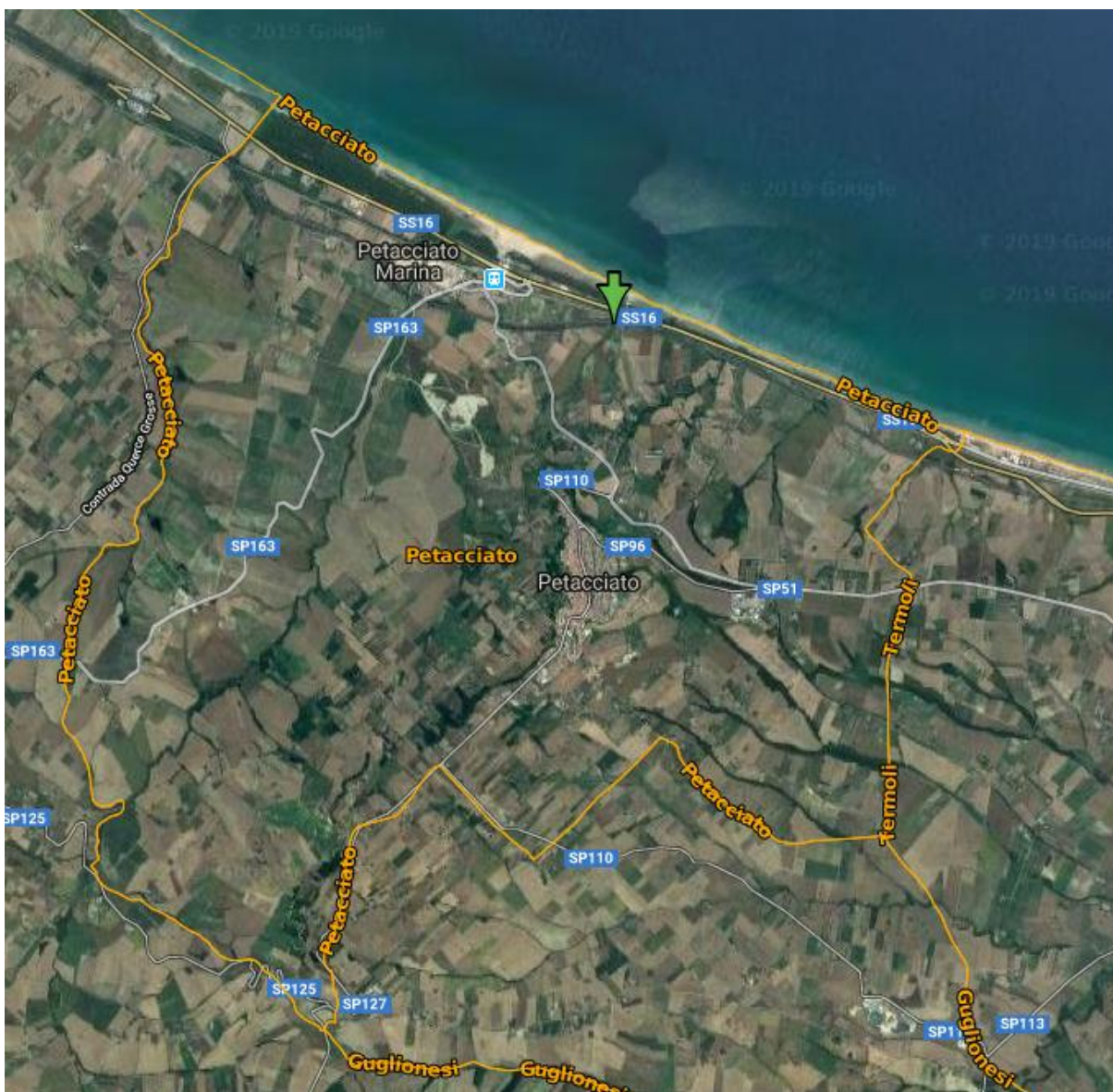


Figura 2-1. Inquadramento geografico. La freccia verde individua la zona di studio

3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Per la redazione dello studio è stata utilizzata la seguente documentazione:

- Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000: Foglio 148 – Vasto
- ISPRA: Progetto di Cartografia Geologica alla scala 1:50.000 (Foglio 372-Vasto)
- Regione Molise, Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Monori, Saccione e Fortore:
 - Cartografia Web-Gis: Carta della Pericolosità da Frana e Valanga
 - Cartografia Web-Gis: Carta della Pericolosità Idraulica
- Regione Molise: Rischio Idrogeologico
- Regione Molise: Progetto IFFI (link non attivo al momento della consultazione)
- Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale: Mappe PGRA
- ISPRA: Progetto IFFI consultazione on-line SINAnet
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) di Campobasso
- Comune di Petacciato: Variante generale PRG 2017
- Termolionline.it – primonumero.it: notizie sulla frana di Petacciato
- Sismica: vedi CAP. 10.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Presidenza della Regione Molise - Movimenti Franosi nel Comune di Petacciato (Provincia di Campobasso) - Studi, Rilevamenti dell'Area in Frana, Indagini e Orientamenti Progettuali - Studi, Rilevamenti dell'Area In Frana e Indagini (Giugno 2002"). Commissione Tecnico-Scientifica Prof. Vincenzo Cotecchia e Prof. Ing. Gregorio Melidoro. Si fa in particolare riferimento ai seguenti elaborati:
 - All.00 – Relazione Generale
 - All.02/a – Carta Geologica e Geomorfologica
 - All.02/b – Andamento Livelli Piezometrici nel versante in Frana
 - All.02/f – Deformate Inclino metriche
 - All.04 – Stratigrafie dei Sondaggi Geognostici
 - All.07 – Rilievi Inclino metrici e Piezometrici

Per gli ulteriori riferimenti bibliografici, si rimanda al capitolo 14.

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Durante la primavera 2019 è stata realizzata una specifica campagna di indagini geognostiche (sito e laboratorio), che hanno rappresentato il complemento delle indagini geognostiche pregresse, realizzate in vari periodi per diversi scopi.

L'ubicazione plano altimetrica delle indagini è stata riportata negli elaborati cartografici geologici in scala 1:5000; la simbologia è stata differenziata in funzione della tipologia di indagine ed di strumentazione installata. I dati geognostici sono allegati al progetto (elaborati GEO0008-GEO0009).

Le indagini geognostiche pregresse, recepite da Spea, sono state fornite dalla committente mentre le indagini geognostiche della campagna 2019 sono state eseguite, come previsto dalla norma vigente, sulla base di un progetto redatto in maniera multidisciplinare dalla figure indicate qui di seguito: dal geologo responsabile dell'ufficio geologia (GEO) per quanto riguarda la componente geologica; dall'ingegnere responsabile dell'ufficio opere all'aperto (APE) per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica delle terre; dall'ingegnere responsabile dell'ufficio idraulica (IDR) per quanto riguarda l'idrologia sotterranea e dall'ingegnere responsabile del monitoraggio ambientale (MAM) per quanto riguarda la caratterizzazione chimica delle acque e delle terre da scavo.

4.1 CAMPAGNA INDAGINI AUTOSTRADE 2019 (TECHNOSOIL-ISMGEO)

La campagna eseguita da technosoil nei mesi di febbraio e marzo 2019 è stata così articolata (vedi anche Tabella 4-1):

- n. 4 sondaggi geognostici verticali eseguiti a carotaggio continuo, spinti a profondità variabili (fino a 110 m da p.c.). Nei fori di sondaggio sono state eseguite prove tipo SPT e prove di permeabilità di tipo Lefranc. Sono stati inoltre prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati da sottoporre a successive prove di laboratorio. I sondaggi sono stati attrezzati con tubi inclinometrici e con tubi in pvc per l'esecuzione di sismica in foro di tipo Cross-Hole.
- n. 5 sondaggi geognostici eseguiti a distruzione di nucleo, spinti a profondità variabili (fino a 42 m da p.c.). I sondaggi sono stati attrezzati con tubo inclinometrico, tubo in pvc per la realizzazione di sismica in foro di tipo Cross-Hole e n. 4 celle piezometriche elettriche.
- n. 1 prova con dilatometro piatto Marchetti (DMT), interrotta a 15,60 m da p.c per rifiuto alla penetrazione.
- n. 1 indagine sismica di tipo Cross-Hole.
- Rilievo topografico su tutto i punti di indagine.
- Prelievo di n. 4 campioni di acqua sottoposti ad analisi gascromatografica.

I campioni prelevati dalle verticali di indagine sono stati utilizzati per eseguire prove di laboratorio finalizzate alla determinazione delle caratteristiche di resistenza e di compressibilità dei litotipi attraversati oltre che analisi di tipo chimico. In particolare le prove eseguite consistono in:

- determinazione delle caratteristiche fisiche (plasticità e granulometria, peso di volume, contenuto d'acqua, peso specifico dei granuli);
- determinazione delle caratteristiche meccaniche legate ai parametri di resistenza (prove di taglio diretto, taglio anulare, prove CIU, ecc.) e prove finalizzate alla determinazione delle caratteristiche di compressibilità (prove edometriche).
- analisi chimiche di laboratorio su campioni di terreno prelevati dai sondaggi a finalità ambientale.

Tabella 4-1. Tabella di sintesi indagini geognostiche in sito Autostrade per l'Italia 2019 (TECHNOSOIL)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	SPT + C.R.	C.A.	Prove di permeabilità	Strumentazione
I1	11,115 ⁽³⁾	C.C.	60,0	9 ⁽¹⁾	10 - 10	3	2	Inclinometro (60,7 m)
I1bis	18,968 ⁽³⁾	D.N.	60,0	-	-	-	-	Inclinometro (57,7 m)
I2	18,344 ⁽³⁾	C.C.	60,0	12 ⁽¹⁾	10 - 12	3	1	Inclinometro (59,5 m)
I3	76,352 ⁽³⁾	C.C.	110,0	-	-	-	-	Inclinometro (110 m)
CH1	13,277 ⁽³⁾	C.C.	35,0	7 ⁽¹⁾	10 - 10	3	1	Tubo PVC (35 m)
CH1bis	13,054 ⁽³⁾	D.N.	35,0	-	-	-	-	Tubo PVC (35 m)
Pz1	18,322 ⁽³⁾	D.N.	42,0	-	-	-	-	C.P.E. (40 m)
Pz1bis	18,463 ⁽³⁾	D.N.	25,0	-	-	-	-	C.P.E. (13 m e 22 m)
Pz1ter	18,422 ⁽³⁾	D.N.	34,0	-	-	-	-	C.P.E. (33 m)
DMT1	13,054 ⁽³⁾	-	15,60	-	-	-	-	-

C.C.= perforazione a carotaggio continuo
D.N.= perforazione a distruzione di nucleo
D = profondità in metri da piano campagna
C.I. = n. di campioni indisturbati
C.P.C.= cella piezometrica Casagrande (profondità cella da p.c.)
⁽¹⁾ Prove di laboratorio: vedi certificati
⁽²⁾ Tipo Lefranc
⁽³⁾ Quota da rilievo topografico

4.2 INDAGINI PREGRESSE

4.2.1 Campagna di indagine 1981 Ferrovie dello Stato (GEOTEST)

La prima campagna di indagine risale al 1981; essa è stata eseguita da GEOTEST (Roma) per conto delle Ferrovie dello Stato, a seguito dell'evento franoso del 1979. Tale campagna è stata così articolata (vedi anche Tabella 4-2):

- n. 6 sondaggi (A, C, D, F, G, I) eseguiti a carotaggio continuo spinti fino a 40 m di profondità dal p.c.; nei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati per prove geotecniche di laboratorio; i sondaggi sono stati attrezzati con tubi inclinometrici.
- n. 3 sondaggi (B, E, H) eseguiti a distruzione di nucleo spinti fino a 30 m di profondità dal p.c.; nei sondaggi sono state effettuate prove di permeabilità tipo Lefranc e prove dilatometriche; i sondaggi sono stati attrezzati con piezometri tipo Casagrande.

Come osservabile dalla Planimetria di Ubicazione Indagini Geognostiche (elaborato GEO0007) la campagna è stata condotta al piede del versante, a cavallo della linea ferroviaria.

Tabella 4-2. Tabella di sintesi indagini geognostiche in sito Ferrovie dello Stato 1981 (GEOTEST)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	Prove dilatometriche	Prove di permeabilità	Strumentazione
A	10.0 ⁽³⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	Inclinometro (40 m)
C	12.0 ⁽³⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	Inclinometro (40 m)
D	10.0 ⁽³⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	Inclinometro (40 m)
F	12.5 ⁽³⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	Inclinometro (40 m)
G	13.0 ⁽³⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	Inclinometro (40 m)
I	15.0 ⁽³⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	Inclinometro (40 m)
B	11.0 ⁽³⁾	C.C.	30,0	-	4	4 ⁽²⁾	C.P.C. (15m e 30m)
E	13.0 ⁽³⁾	C.C.	30,0	-	4	4 ⁽²⁾	C.P.C. (15m e 30m)
H	15.0 ⁽³⁾	C.C.	30,0	-	4	4 ⁽²⁾	C.P.C. (15m e 30m)

C.C.= perforazione a carotaggio continuo
 D.N.= perforazione a distruzione di nucleo
 D = profondità in metri da piano campagna
 C.I. = n. di campioni indisturbati
 C.P.C.= cella piezometrica Casagrande (profondità cella da p.c.)
⁽¹⁾ Prove di laboratorio non disponibili
⁽²⁾ Tipo Lefranc
⁽³⁾ Quota non rilevata, stimata dalla Planimetria ubicazione indagini; la quota riportata può avere approssimazioni dell'ordine di 0.5 m (sondaggi che ricadono nelle aree coperte dal rilievo topografico e aereofotogrammetrico)

4.2.2 Campagna di indagine Ferrovie dello Stato 1983 (GEOTEST)

La seconda campagna di indagine risale al 1983 ed è stata eseguita da GEOTEST (Roma) per conto delle Ferrovie dello Stato. Tale campagna è stata così articolata (vedi anche Tabella 4-3):

- N. 18 sondaggi (1A-6A, 1B-6B, 1C-6C) eseguiti a carotaggio continuo spinti fino a 40 m-60 m di profondità dal p.c.; nei sondaggi 1B-6B sono stati prelevati campioni indisturbati per prove geotecniche di laboratorio ed installati piezometri tipo Casagrande; i sondaggi 1A-6A e 1C-6C sono stati attrezzati con tubi inclinometrici.

Come osservabile dalla Planimetria di Ubicazione Indagini Geognostiche (elaborato GEO0006) la campagna è stata condotta al piede del versante, a cavallo della linea ferroviaria. Di questi sondaggi, solo quelli con sigla 1A-1C e 2A-2C, sono ubicati in prossimità delle opere in progetto.

Tabella 4-3. Tabella di sintesi indagini geognostiche in sito Ferrovie dello Stato 1983 (GEOTEST)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	C.R.	Prove di permeabilità	Strumentazione
1A	8.0 ⁽²⁾	C.C.	60,0	-	-	-	Inclinometro (60 m)
1B	11.0 ⁽²⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	C.P.C. (9 m e 39 m)
1C	12.5 ⁽²⁾	C.C.	40,0	-	-	-	Inclinometro (40 m)
2A	16.0 ⁽²⁾	C.C.	60,0	-	-	-	Inclinometro (60 m)
2B	15.0 ⁽²⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	C.P.C. (15 m e 39 m)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	C.R.	Prove di permeabilità	Strumentazione
2C	15.0 ⁽²⁾	C.C.	40,0	-	-	-	Inclinometro (40 m)
3A	14.0 ⁽²⁾	C.C.	60,0	-	-	-	Inclinometro (60 m)
3B	6.5 ⁽²⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	C.P.C. (15 m e 39 m)
3C	7.0 ⁽²⁾	C.C.	40,0	-	-	-	Inclinometro (40 m)
4A	13.0 ⁽²⁾	C.C.	60,0	-	-	-	Inclinometro (60 m)
4B	9.5 ⁽²⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	C.P.C. (10 m e 39 m)
4C	10.5 ⁽²⁾	C.C.	40,0	-	-	-	Inclinometro (40 m)
5A	13.0 ⁽²⁾	C.C.	60,0	-	-	-	Inclinometro (60 m)
5B	6.0 ⁽²⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	C.P.C. (15 m e 39 m)
5C	5.5 ⁽²⁾	C.C.	40,0	-	-	-	Inclinometro (40 m)
6A	12.0 ⁽²⁾	C.C.	60,0	-	-	-	Inclinometro (60 m)
6B	19.0 ⁽²⁾	C.C.	40,0	4 ⁽¹⁾	-	-	C.P.C. (15 m e 39 m)
6C	19.0 ⁽²⁾	C.C.	40,0	-	-	-	Inclinometro (40 m)

C.C. = perforazione a carotaggio continuo
 D.N. = perforazione a distruzione di nucleo
 D = profondità in metri da piano campagna
 C.I. = n. di campioni indisturbati
 C.R. = n. di campioni rimaneggiati
 C.P.C. = cella piezometrica Casagrande (profondità cella da p.c.)
⁽¹⁾ Prove di laboratorio non disponibili
⁽²⁾ Quota non rilevata, stimata dalla Planimetria ubicazione indagini; la quota riportata può avere approssimazioni dell'ordine di 0.5 m (sondaggi che ricadono nelle aree coperte dal rilievo topografico e aereofotogrammetrico)

4.2.3 Campagna di indagine Autostrade 1991 (SIPES – ISMES – SGILAB)

La terza campagna di indagine risale al 1991 ed è stata eseguita da SIPES (Pescara) (sondaggi) e da ISMES (Bergamo) (prove penetrometriche statiche) per conto della società Autostrade a seguito dell'evento franoso del Gennaio 1991.

Tale campagna è stata così articolata (vedi anche Tabella 4-4 e Tabella 4-5):

- N. 8 sondaggi (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8) a carotaggio continuo spinti a profondità variabili fino a 60 m-100 m di profondità dal p.c.; nei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio ed installati tubi inclinometrici o piezometri elettropneumatici.
- N. 7 sondaggi (S2bis, S3bis, S4bis, S5bis, S6bis, S7bis, S8bis) a distruzione di nucleo spinti a profondità variabili fino a 60 - 80 m di profondità dal p.c. i fori sono stati strumentati con installazione di piezometri elettropneumatici e tubi inclinometrici.
- N. 2 prove penetrometriche statiche con misura anche delle pressioni interstiziali (CPTU01 e CPTU02) spinte fino a circa 35 m dal p.c.

Tabella 4-4. Tabella di sintesi indagini geognostiche in sito Autostrade 1991 (SIPES)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	C.R.	Prove di permeabilità	Strumentazione
S1	+18.99 ⁽¹⁾	C.C.	61,0	9	-	-	Inclinometro (61 m)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	C.R.	Prove di permeabilità	Strumentazione
S2	+22.59 ⁽¹⁾	C.C.	81,0	12	-	-	Inclinometro (81 m)
S2bis	+22.59 ⁽¹⁾	D.N.	71,0	-	-	-	P.E.(20m; 40m; 65m)
S3	+15.65 ⁽¹⁾	C.C.	81,0	10	-	-	Inclinometro (80.4 m)
S3bis	+15.65 ⁽¹⁾	D.N.	80,0?	-	-	-	P.E.(10m; 35m; 80m)
S4	+18.70 ⁽¹⁾	C.C.	60,0	7	-	-	P.E.(15m; 27.5m; 45m)
S4bis	+18.70 ⁽¹⁾	D.N.	60,0	-	-	-	Inclinometro (59.5 m)
S5	+17.41 ⁽¹⁾	C.C.	61,0	2	-	-	Inclinometro (61 m)
S5bis	+17.41 ⁽¹⁾	C.C.	58,0	-	-	-	P.E.(12.5m; 25m; 55m)
S6	+14.73 ⁽¹⁾	C.C.	101,0	5	-	-	Inclinometro (101 m)
S6bis	+14.73 ⁽¹⁾	C.C.	79,0	-	-	-	P.E.(34m; 50m; 75m)
S7	+17.72 ⁽¹⁾	C.C.	60.5	3	-	-	Inclinometro (58.8 m)
S7bis	+17.72 ⁽¹⁾	C.C.	63,0	-	-	-	P.E.(14m; 45m; 60m)
S8	+13.33 ⁽¹⁾	C.C.	50,0	2	-	-	Inclinometro (50 m)
S8bis	+13.33 ⁽¹⁾	C.C.	45,0	-	-	-	P.E.(5m; 20m; 40m)

C.C. = perforazione a carotaggio continuo
 D.N. = perforazione a distruzione di nucleo
 D = profondità in metri da piano campagna
 C. I. = n. di campioni indisturbati (campioni non riportati in stratigrafia, vedi certificati prove di laboratorio – SGILAB)
 C.R. = n. di campioni rimaneggiati
 P.E. = piezometri elettropneumatici (profondità cella da p.c.)
⁽¹⁾ Quota ripresa dalle stratigrafie

Tabella 4-5. Tabella di sintesi indagini geognostiche in sito Autostrade 1991 (ISMES)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	D (m)	Prove di dissipazione
CPTU01	17.5 ⁽¹⁾	36.2	a 4.15m e 25.5m da p.c.
CPTU02	15.5 ⁽¹⁾	35.0	a 17.33m, 25.67 e 34.94m da p.c.

⁽¹⁾ Quota non rilevata, stimata dalla Planimetria ubicazione indagini; la quota riportata può avere approssimazioni dell'ordine di 0.5 m (prova che ricado e in un'area coperta dal rilievo topografico e aereofotogrammetrico)

Sui campioni indisturbati prelevati dai fori di sondaggio sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio (SGILAB):

- Prove di classificazione (composizione granulometrica, peso di volume naturale, contenuto d'acqua naturale, limiti di Atterberg, ecc.).
- Prove edometriche a incremento di carico (ED-IL); tali prove, condotte secondo la procedura ad incrementi di carico finiti e permanenti per opportuni intervalli di tempo, hanno comportato una fase iniziale seguita con specifica accuratezza in modo da ottenere una buona definizione della spinta di rigonfiamento sviluppata dai provini all'aggiunta d'acqua.
- Prove triassiali non consolidate non drenate (TX-UU).
- Prove triassiali consolidate isotropicamente, non drenate, in condizioni di carico di compressione(TC-CIU-C); la fase di carico in condizioni non drenate è stata condotta a velocità di deformazione imposta bassa.
- Prove triassiali consolidate isotropicamente, drenate, in condizioni di carico di compressione(TC-CID-C); la fase di carico è stata condotta con velocità di deformazione imposte ancora più lente, per consentire la completa dissipazione delle pressioni interstiziali, e con rilevazione delle variazioni volumetriche.

- Prove di taglio diretto con determinazione anche della resistenza residua (TD e TD-res); le prove TD-res sono state a volte ripetute sui provini portati a completa disgiunzione e quindi ricomposti; le corse di taglio aggiuntive sono state realizzate analogamente alla prima, rispettando la direzione ed il verso della deformazione.
- Prove di taglio anulare su provini ricostituiti (TD-an) con apparecchi tipo (Bromhead); come prescritto, dai campioni è stata selezionata una sufficiente porzione operando con passaggi al vaglio n. 40 USA ASTM (luce netta 0.42 mm); le prove sono state condotte fino a raggiungere deformazioni relative molto elevate.

Come osservabile dalla Planimetria Ubicazione delle Indagini Geognostiche (elaborato GEO0006) la campagna è stata condotta al piede del versante, a cavallo della linea ferroviaria. Di questi sondaggi, solo quelli con sigla S1, S2, S3, S4, S8 e CPTU2 sono ubicati in prossimità delle opere in progetto.

4.2.4 Campagna di indagine Regione Molise 2000 - 2001 (Geotrivel – GEO s.p.A.)

La quarta campagna di indagine è stata condotta negli anni 2000-2001 (con il contributo dalla Regione Molise, della società Autostrade e delle Ferrovie dello Stato), nell'ambito degli studi commissionati dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile alla commissione tecnico-scientifica presieduta dai Proff. Vincenzo Cotecchia e Gregorio Melidoro. In questa sede si farà riferimento alle indagini eseguite per conto della Regione Molise e della società Autostrade.

La campagna di indagine Autostrade, condotta da GEOTRIVELL (Teramo), è stata così articolata (vedi anche Tabella 4-6):

- N. 7 sondaggi (AI1, AI2, AI4, AI5, AI7, AI9, AI10) eseguiti a carotaggio continuo e spinti a profondità variabili fino a 60-120 m di profondità dal p.c.; nei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio. I fori sono stati completati con installazione di tubi inclinometrici.
- N. 3 sondaggi (AP3, AP6, AP8) a carotaggio continuo spinti fino a 40 m □ 90 m di profondità dal p.c.; nei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati per prove geotecniche di laboratorio ed installati piezometri elettrici.

La campagna di indagine della Regione Molise, condotta da GEOTRIVELL (Teramo), è stata così articolata (vedi anche Tabella 4-7):

- N. 8 sondaggi (SC1, SC2, SC5, SC7, SC8, SC9, SC17, SC18) a carotaggio continuo spinti fino a 70 m-200 m di profondità dal p.c.; nei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati per prove geotecniche di laboratorio ed installati tubi inclinometrici.
- N. 12 sondaggi (SCP1, SCP2, SCP3, SC3, SC4, SC6, SC10, SC11, SC12, SC13, SC14, SC15, SC16) a carotaggio continuo spinti a profondità variabile fino a 50-150 m dal p.c.; nei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati per prove geotecniche di laboratorio ed installati piezometri elettrici (SC3, SC4, SC6, SC10, SC11, SC12), tipo Casagrande (SC13) e a tubo aperto (SC14); in alcuni fori di sondaggio sono stati installati sia piezometri a tubo aperto che piezometri Casagrande (SCP1, SCP2 e SCP3).

Tabella 4-6. Tabella di sintesi indagini geognostiche in sito Autostrade 2000-2001 (Geotrivel)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	C.R.	Prove di permeabilità	Strumentazione
AI1	11.5 ⁽¹⁾	C.C.	70,0	1	-	-	Inclinometro (70 m)
AI2	15.0 ⁽¹⁾	C.C.	100,0	2	-	3 ⁽²⁾	Inclinometro (100 m)
AP3	11.5 ⁽¹⁾	C.C.	40,0	1	-	-	P.E.(18m; 35m)
AI4	10.0 ⁽³⁾	C.C.	60,0	-	-	-	Inclinometro (60 m)
AI5	35.0 ⁽¹⁾	C.C.	120,0	3	-	2 ⁽²⁾	Inclinometro (120 m)
AP6	24.0 ⁽¹⁾	C.C.	90,0	1	-	-	P.E (27m; 35m; 82m)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	C.R.	Prove di permeabilità	Strumentazione
AI7	28.0 ⁽¹⁾	C.C.	70,0	1	-	-	Inclinometro (70 m)
AP8	15.0 ⁽¹⁾	C.C.	40,0	1	-	-	P.E. (20m)
AI9	14.0 ⁽¹⁾	C.C.	100,0	-	-	-	Inclinometro (100 m)
AI10	17.0 ⁽¹⁾	C.C.	100,0	-	-	-	Inclinometro (100 m)

C.C. = perforazione a carotaggio continuo
 D.N. = perforazione a distruzione di nucleo
 D = profondità in metri da piano campagna
 C.I. = n. di campioni indisturbati
 C.R. = n. di campioni rimaneggiati
 P.E. = piezometri elettrici (profondità cella da p.c.)

⁽¹⁾ Quota non rilevata, stimata dalla Planimetria ubicazione indagini; le quote riportate possono avere approssimazioni dell'ordine di 0.5 m (prove che ricadono nelle aree coperte dal rilievo topografico e aereofotogrammetrico)

⁽²⁾ Tipo Lugeon (non sono riportate in stratigrafia ma ci sono i certificati)

⁽³⁾ Quota non rilevata, stimata dalla Planimetria ubicazione indagini; la quota riportata (coperta solo dalla base cartografica della Carta Tecnica Regionale) è molto approssimativa e, nel caso specifico, può avere un'approssimazione di 3-4 m.

Tabella 4-7. Tabella di sintesi indagini geognostiche in sito Regione Molise 2000-2001 (Geotrivell)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	C.R.	Prove di permeabilità	Strumentazione
SCP1	217.5 ⁽¹⁾	C.C.	50,0	1 ⁽⁵⁾	-	-	C.P.C. (49.5m) T.A. (0m→38m)
SCP2	211.5 ⁽¹⁾	C.C.	50,0	1 ⁽⁵⁾	2 ⁽⁵⁾	-	C.P.C. (49.5m) T.A. (0m→30m)
SCP3	191.5 ⁽¹⁾	C.C.	50,0	1 ⁽⁵⁾	9 ⁽⁵⁾	-	C.P.C. (50m) T.A. (0m→20m)
SC1	61.0 ⁽¹⁾	C.C.	100,0	7 ⁽⁵⁾	4 ⁽⁵⁾	1 ⁽³⁾	Inclinometro (100 m)
SC2	83.5 ⁽¹⁾	C.C.	202,0	12 ⁽⁵⁾	12 ⁽⁵⁾	3 ⁽³⁾ ; 3 ⁽⁴⁾	Inclinometro(202 m)
SC3	79.0 ⁽¹⁾	C.C.	150,0	10	8 ⁽⁵⁾	1 ⁽³⁾ ; 2 ⁽⁴⁾	P.E. (16m; 53m; 94m)
SC4	104.0 ⁽¹⁾	C.C.	130,0	7 ⁽⁵⁾	12	2 ⁽³⁾ ; 2 ⁽⁴⁾	P.E. (16m; 59.3m; 115.5m)
SC5	85.0 ⁽¹⁾	C.C.	152,0	7	1 ⁽⁵⁾	3 ⁽³⁾ ; 3 ⁽⁴⁾	Inclinometro (152 m)
SC6	127 ⁽²⁾	C.C.	150,0	8 ⁽⁵⁾	9 ⁽⁵⁾	-	P.E. (28.5m; 64.5m; 119m)
SC7	94.0 ⁽¹⁾	C.C.	80,0	3 ⁽⁵⁾	2 ⁽⁵⁾	-	Inclinometro (80 m)
SC8	16.0 ⁽¹⁾	C.C.	80,0	-	-	-	Inclinometro a sonde fisse (18m, 34m, 46m, 65m)
SC9	171.0 ⁽¹⁾	C.C.	80,0	2 ⁽⁵⁾	6 ⁽⁵⁾	-	Inclinometro (80 m)
SC10	172.0 ⁽¹⁾	C.C.	50,0	1 ⁽⁵⁾	-	-	P.E. (33m)
SC11	51.5 ⁽¹⁾	C.C.	60,0	2 ⁽⁵⁾	4 ⁽⁵⁾	-	P.E. (21m; 55m)
SC12	150.0 ⁽²⁾	C.C.	60,0	2 ⁽⁵⁾	5 ⁽⁵⁾	-	P.E. (27m; 45m)
SC13	110.0 ⁽¹⁾	C.C.	60,0	2 ⁽⁵⁾	-	-	P.E. (25m; 60m)
SC14	97.0 ⁽¹⁾	C.C.	60,0	-	-	-	T.A. (30m→60m)
SC15	93.0 ⁽¹⁾	C.C.	50,0	-	-	-	P.E. (49m) T.A. (0m→20m)
SC16	23.5 ⁽¹⁾	C.C.	100,0	1 ⁽⁵⁾	2 ⁽⁵⁾	-	P.E. (5m)

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	C.R.	Prove di permeabilità	Strumentazione
							T.A. (40m→80m)
SC17	3.5 ⁽²⁾	C.C.	70,0	-	-	-	Inclinometro (70 m)
SC18	4.0 ⁽²⁾	C.C.	70,0	-	-	-	Inclinometro (70 m)

C.C. = perforazione a carotaggio continuo
 D.N. = perforazione a distruzione di nucleo
 D = profondità in metri da piano campagna
 C.I. = n. di campioni indisturbati
 C.R. = n. di campioni rimaneggiati
 P.E. = piezometri elettrici (profondità cella da p.c.)
 C.P.C. = cella piezometrica Casagrande (profondità cella da p.c.); T.A. = tubo aperto (tratto finestrato)

⁽¹⁾ Quota non rilevata, stimata dalla Planimetria ubicazione indagini; la quota riportata può avere approssimazioni dell'ordine di 0.5 m (sondaggi che ricadono nelle aree coperte dal rilievo topografico e aereofotogrammetrico)
⁽²⁾ Quota non rilevata, stimata dalla Planimetria ubicazione indagini; la quota riportata può avere approssimazioni dell'ordine di 2.5 m (sondaggi che ricadono nelle aree coperte solo dalla base cartografica della Carta Tecnica Regionale)
⁽³⁾ Tipo Lugeon (Mancano i certificati della prova)
⁽⁴⁾ Tipo Lefranc (Mancano i certificati della prova)
⁽⁵⁾ Prove di laboratorio non disponibili

Sui campioni indisturbati prelevati dai fori di sondaggio sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio (GEO S.p.A.):

- Prove di classificazione (composizione granulometrica, peso di volume naturale, contenuto d'acqua naturale, limiti di Atterberg, ecc.);
- Prove edometriche ad incremento di carico (ED-IL);
- Prove triassiali non consolidate non drenate (TX-UU);
- Prove triassiali consolidate isotropicamente, non drenate, in condizioni di carico di compressione(TC-CIU-C);
- Prove triassiali consolidate isotropicamente, drenate, in condizioni di carico di compressione(TC-CID-C);
- Prove di taglio diretto con determinazione anche della resistenza residua (TD e TD-res).

Come osservabile dalla Planimetria di Ubicazione delle Indagini Geognostiche (elaborato GEO0006) la campagna è stata estesa a tutto il versante interessato dalla frana di Petacciato. Ricadono, in prossimità delle opere in progetto ed a monte del tracciato autostradale, nel tratto di studio, i seguenti sondaggi: SCP2, SCP1, SC9, SC6, SC3, SC14, SC15, SC2, SC1, SC7, SC11, SC16, SC17, AI10, AI9, AI5, AI7, AP6 e AP8.

4.3 TABELLA RIASSUNTIVA DELLE INDAGINI RICADENTI IN PROSSIMITÀ DEL VIADOTTO CACCHIONE

Sulla base di quanto specificato ai paragrafi precedenti le indagini di interesse per l'area del Viadotto Cacchione sono riassunte nella Tabella 4-8.

Tabella 4-8. Indagini eseguite nell'area del Viadotto Cacchione

Campagna di indagine	Impresa	Indagine	Tipo / Lunghezza	Strumenti	Note
1983	GEOTEST	1C	CC 40m	Inclinometro	Laboratorio

1983	GEOTEST	1B	CC 40m	Piezometri	Laboratorio
1983	GEOTEST	1A	CC 60m	Inclinometro	Laboratorio
1991	SIPES	S1	CC 61m	Inclinometro	Laboratorio
1981	GEOTEST	C	CC 40m	Inclinometro	Laboratorio
1981	GEOTEST	B	DN 30m	-	-
1981	GEOTEST	A	CC 40m	Inclinometro	Laboratorio
1991	SIPES	S3	CC 81m	Inclinometro	Laboratorio
1991	SIPES	S3bis	DN 81m	Piezometri	-
1991	SIPES	S8	CC 50m	Inclinometro	Laboratorio
1991	SIPES	S8bis	DN 45m	Piezometri	-
1981	GEOTEST	E	DN 30m	-	-
1981	GEOTEST	D	CC 40m	Inclinometro	Laboratorio
1991	ISMES	CPTU2	35m	-	-
1981	GEOTEST	F	CC 40m	Inclinometro	Laboratorio
1991	SIPES	S2	CC 81m	Inclinometro	Laboratorio
2000-2001	GEOTRIVEL	AP6	CC 90m	Piezometri	Laboratorio
2000-2001	GEOTRIVEL	SC16	CC 100m	Piezometri	Laboratorio
1991	SIPES	S2bis	DN 71m	Piezometri	-
1991	SIPES	S4bis	DN 80m	Inclinometro	-
1981	GEOTEST	I	CC 40m	Inclinometro	Laboratorio
1981	GEOTEST	H	DN 30m	-	-
1981	GEOTEST	G	CC 40m	Inclinometro	Laboratorio
1991	SIPES	S4	CC 60m	Piezometri	Laboratorio
2019	TECHNOSOIL	I1	CC 60m	Inclinometro	Laboratorio
2019	TECHNOSOIL	I1bis	DN 60m	Inclinometro	-
2019	TECHNOSOIL	I2	CC 60m	Inclinometro	Laboratorio
2019	TECHNOSOIL	CH1	CC 35m	Tubo PVC	Laboratorio
2019	TECHNOSOIL	CH1dis	DN 35m	Tubo PVC	-
2019	TECHNOSOIL	PZ1	DN 42m	Piezometro el.	-
2019	TECHNOSOIL	PZ1bis	DN 25m	Piezometro el.	-
2019	TECHNOSOIL	PZ1ter	DN 34m	Piezometro el.	-
2019	TECHNOSOIL	DMT1	16.50m	-	-

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

5.1 CARATTERI TETTONICI E STRUTTURALI

Le caratteristiche geologiche dell'area sono condizionate dal sollevamento appenninico, che ha generato elementi strutturali allungati in direzione NO-SE.

Se si considera il territorio compreso fra l'Abruzzo e la Puglia, si possono schematicamente distinguere tre grandi zone a differente assetto strutturale:

- una zona di sollevamento orogenico vera e propria ("Appennino Calcereo"), caratterizzata da scaglie tettoniche a vergenza orientale; si tratta della dorsale appenninica in senso stretto rappresentata in questa regione dai complessi montuosi della Maiella, del Morrone e della Porrata;
- una zona a tettonica distensiva ad oriente della precedente, rappresentata dal tavolato calcereo pugliese, con uno stile tettonico a faglie dirette ("horst e graben");
- una zona intermedia, che consiste sostanzialmente in una depressione tettonica caratterizzata da una forte subsidenza e da una complessa evoluzione, riempita da unità sedimentarie terrigene di età prevalentemente pliocenica-pleistocenica.

In quest'ultima zona, dove è ubicata l'area in esame, sono riconoscibili due diversi bacini, separati fra loro da un alto strutturale: a Nord il bacino di Pescara, con un asse orientato NO-SE e a Sud il bacino Molisano, con asse NNO/SSE.

Il primo si sviluppa nel Pliocene Inferiore, in concomitanza con la fase parossistica dell'orogenesi appenninica; con il passare del tempo si verifica una rotazione del suo asse ed il suo progressivo riempimento, mentre comincia a svilupparsi la fossa molisana, interessata dall'accumulo di grossi depositi di sedimenti terrigeni torbiditici. E' in questo periodo (Pliocene medio e superiore) che si verifica anche una imponente traslazione tettonica gravitativa dei sedimenti accumulati nella fossa da SO verso NE, come conseguenza del sollevamento appenninico e dei relativi scivolamenti innescati (colata gravitativa dell'Aventino-Sangro).

Nel Quaternario, il prodursi di un'ulteriore serie di faglie dirette con orientamento N-S o NO-SE origina nuove depressioni tettoniche; la forte subsidenza, caratteristica di queste fosse, permette l'accumulo di una notevole quantità di sedimenti, che sono prevalentemente di età pleistocenica.

Nella Figura 5-1 è riportato lo schema neotettonico dell'area; si può osservare come la zona in frana sia delimitata a Sud da una linea di sovrascorrimento con direzione approssimativa N-S e con vergenza NE. Questa linea divide una zona più meridionale, caratterizzata da faglie normali con modesti rigetti sia negativi sia positivi per ragioni di equilibrio isostatico, da una zona più settentrionale con abbassamenti più consistenti e recenti, seguiti da sollevamenti che hanno portato le formazioni di deposito marino, d'ambiente litorale, del periodo Calabriano, agli attuali 200 metri d'altezza circa sul livello del mare.

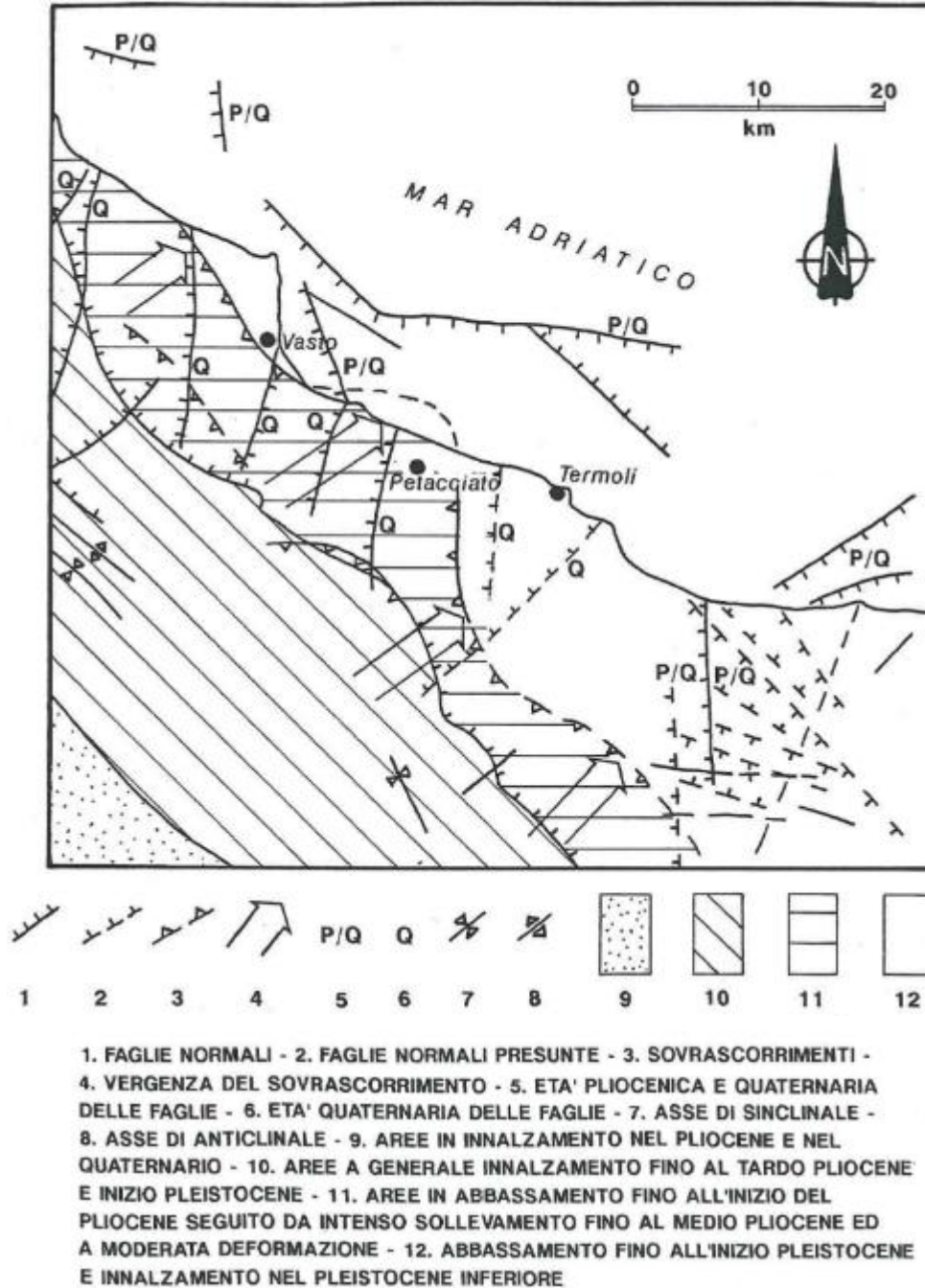


Figura 5-1. Schema neotettonico (da Neotectonic map of Italy, 1983)

Le varie unità litostratigrafiche affioranti, descritte al successivo paragrafo, hanno assetto monoclinale e giacitura per lo più sub-orizzontale o debolmente immergente verso N e NE.

Le deformazioni tettoniche più recenti sono dovute all'azione di faglie principali con andamento N-S, passante a SSO-NNE; in particolare la faglia all'incirca coincidente con il percorso del torrente Tecchio delimita l'area storica della frana di Petacciato verso Nord Ovest.

Si osserva altresì una frequente coincidenza fra le zone interessate da fenomeni tettonici recenti e le principali aree in frana della costa adriatica.

5.2 STRATIGRAFIA

L'area di studio si colloca nella porzione più esterna della catena dell'Appennino centro meridionale, cioè procedendo verso est si giunge all'Avampaese Adriatico. In particolare, si riscontra la presenza estensiva della successione silicoclastica del Pliocene superiore – Pleistocene inferiore denominata Formazione di Mutignano (Figura 5-2).

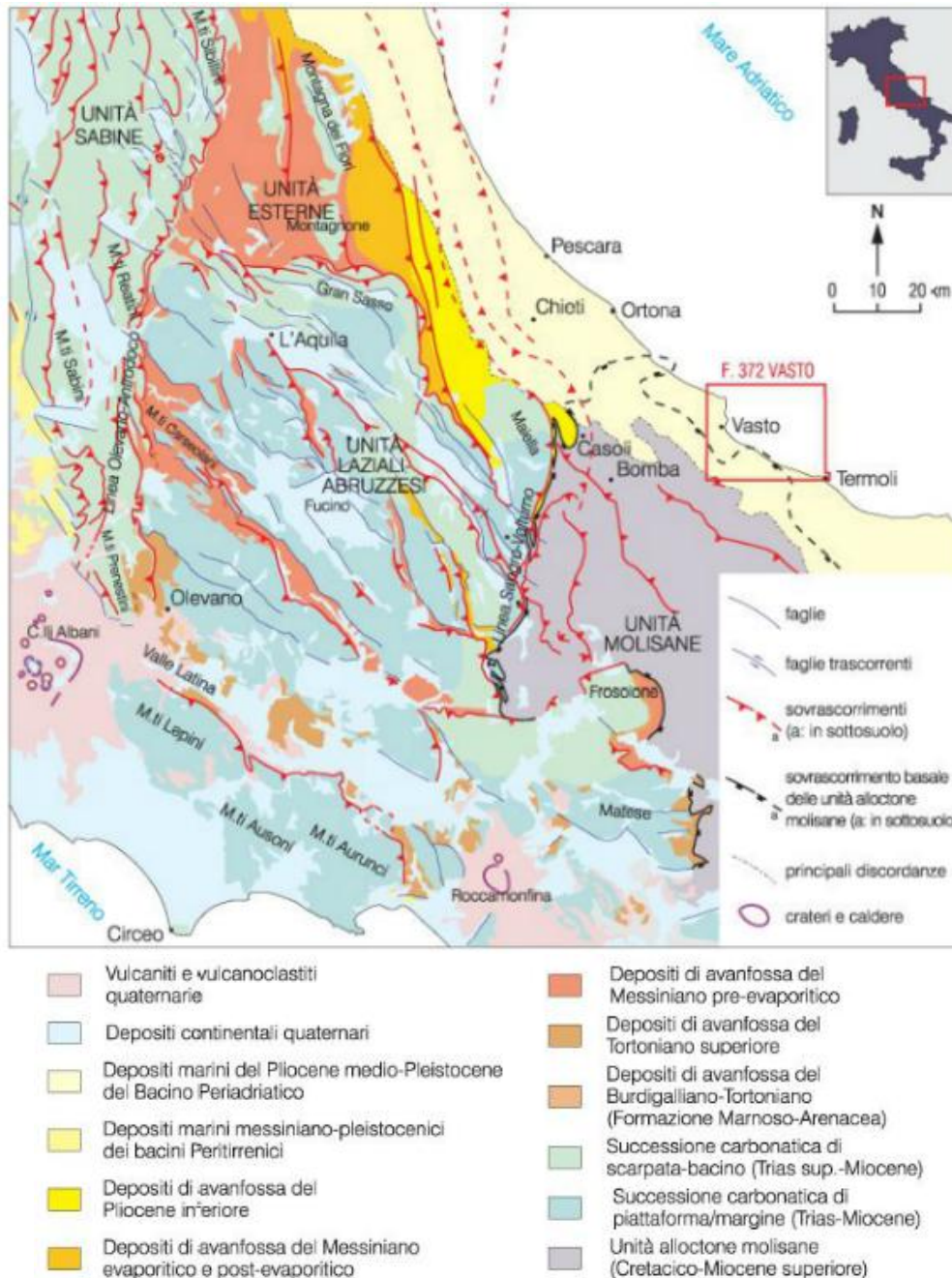


Figura 5-2. Schema geologico strutturale dell'appennino centro-meridionale (Note Illustrative Carta Geologica d'Italia 1:50.000 Foglio 372 Vasto)

Di seguito si riporta una descrizione delle principali unità litostratigrafiche presenti nell'area, procedendo dalla più antica alla più recente; le suddivisioni sono conformi a quelle operate dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 372-Vasto, della quale si conservano anche le sigle attribuite alle unità.

5.2.5 Successione marina del Pliocene superiore – Pleistocene

- *Formazione di Mutignano (FMT)*

La formazione si presenta come una potente successione, prevalentemente pelitica, depostasi in discordanza sulle Unità più antiche, deformate ed erose. I termini della Formazione di Mutignano sono riferibili ad ambienti che vanno dall'offshore (mare aperto) allo shoreface (spiaggia sommersa), la loro organizzazione verticale individua un trend interpretabile come una fase di progradazione degli ambienti deposizionali verso le aree bacinali con tendenza al colmamento del depocentro plio-pleistocenico (Figura 5-3).

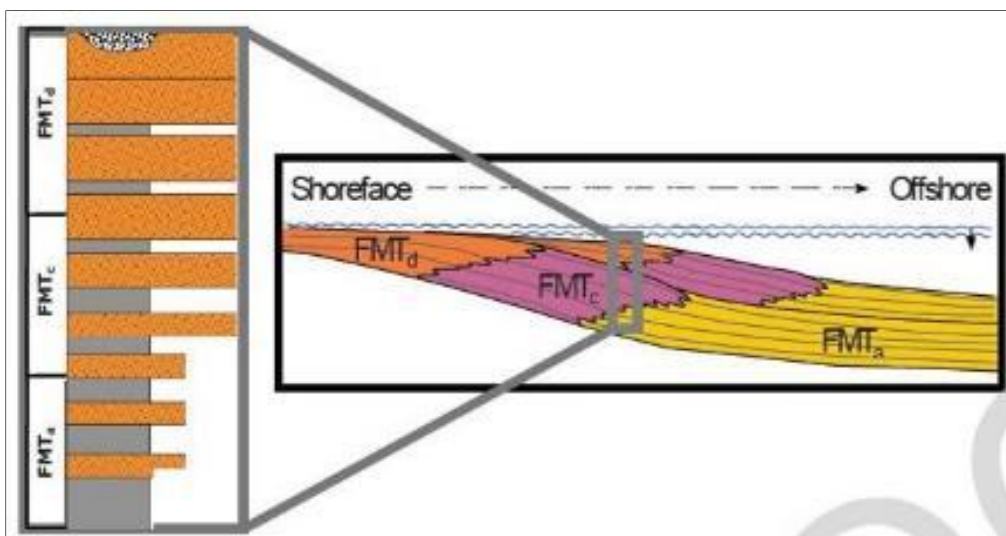


Figura 5-3. Organizzazione verticale e spaziotemporale dei depositi della formazione di Mutignano (Note Illustrative Carta Geologica d'Italia 1:50.000 Foglio 351 Pescara)

I depositi della dell'associazione pelitico-sabbiosa della Formazione di Mutignano (FMTa) dominano in misura prevalente il paesaggio collinare, rappresentano i depositi marini del pliocene superiore – pleistocene inferiore più giovani affioranti al di sotto delle coperture continentali quaternarie.

Al di sopra dell'associazione pelitico – sabbiosa (FMTa), in corrispondenza delle parti alte delle zona collinari, sono presenti i termini dell'associazione sabbioso-pelitica (FMTc), e i depositi dell'associazione sabbioso-conglomeratica (FMTd) che chiudono il ciclo marino del Pliocene medio p.p. – Pleistocene inferiore p.p. (Figura 5-4).

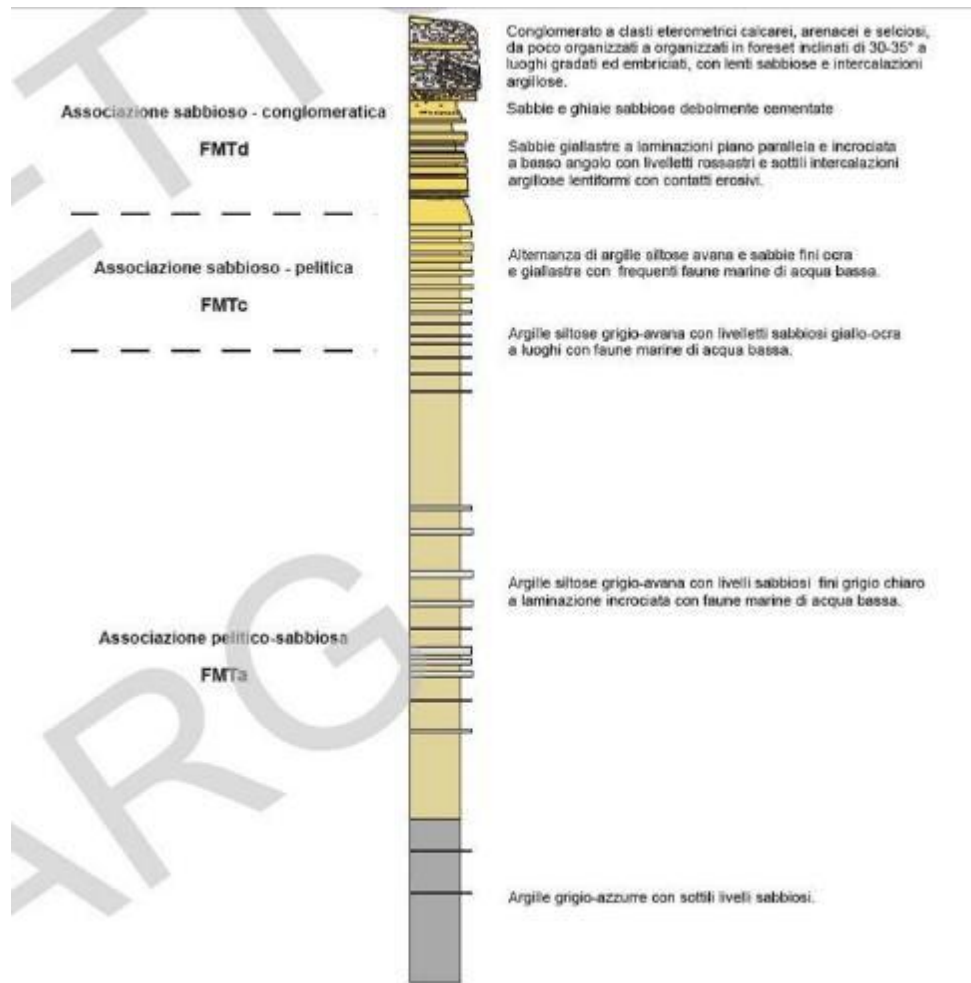


Figura 5-4. Log stratigrafico schematico della formazione di Mutignano (Note Illustrative Carta Geologica d'Italia 1:50.000 Foglio 351 Pescara)

La complessità della sedimentazione deriva dall'interazione fra la tettonica compressiva sindeposizionale, i processi di sollevamento regionale ed il concomitante basculamento verso NE dell'intero settore periadriatico.

Lo spessore affiorante della formazione è valutabile in 200 metri.

Età: Pliocene superiore - Pleistocene inferiore.

Di seguito si descrivono le associazioni cartografate nell'area di studio:

Associazione pelitico - sabbiosa (FMTa)

Rappresenta il termine stratigraficamente più basso della Formazione di Mutignano riconosciuto nell'area di studio.

Ad esclusione delle forme calanchive lungo le maggiori incisioni fluviali la formazione mostra scarsi affioramenti e generalmente cattive esposizioni di affioramento.

Il limite con la formazione sottostante è segnato dalla presenza di argille marnose con un incremento del contenuto di sabbia, e con una importante concentrazione di frammenti di pectinidi e molluschi.

E' costituita da argille e da argille marnose di colore grigio-azzurro, compatte, spesso a frattura concoide, con intercalati livelli sottili di sabbie gialle, sabbie limose e sabbie microconglomeratiche. Le intercalazioni sabbiose possono presentare laminazione pianoparallela e incrociata. Il rapporto sabbia/argilla è sempre nettamente inferiore all'unità. Localmente sono presenti livelli fossiliferi a pecten, gasteropodi e molluschi. La maggiore concentrazione di sabbie è stata riscontrata in corrispondenza della base della successione.

Sulla base dei caratteri generali delle facies l'ambiente dovrebbe corrispondere ad un'area di offshore al largo di un sistema deltizio.

Lo spessore affiorante della litofacies è valutabile in almeno 170 metri. L'età è riferibile al Pliocene superiore - Pleistocene inferiore.

Associazione sabbioso-conglomeratica (FMTd)

Nella zona di studio affiora nella porzione più acclive del versante generalmente al di sotto della formazione RPT che la ricopre lungo una superficie inconforme blandamente immergente verso N (NE).

Massimi spessori affioranti 40 metri.

La discordanza al tetto è spesso caratterizzata da geometrie canalizzate mentre la base, a geometria prevalentemente tabulare, è in concordanza o paraconcordanza con la sottostante associazione pelitico-sabbiosa.

Si tratta di sabbie da poco a scarsamente cementate da fini a molto grossolane, generalmente ben classate, di colore giallastro, frequentemente bioturbate, in strati da fini a medio-spessi che generalmente si seguono con notevole continuità laterale lungo le scarpate di erosione selettiva. A queste sabbie si intercalano livelli di ghiaie e di conglomerati composti da ciottoli decimetrici e anche pluri-decimetrici sempre ben sciacquati ed embriciati, in prevalenza calcarei o, subordinatamente silicei.

Le sabbie mostrano strati con geometrie prevalentemente tabulari o ondulate, con prevalenti stratificazioni incrociate planari a basso angolo, spesso bidirezionali. La bioturbazione è un carattere frequente con numerose tracce di organismi fossatori evidenziate da concrezioni carbonatiche secondarie.

Di seguito si riporta uno schema di sezione con i rapporti stratigrafici tra le Unità affioranti in zona Petacciato:

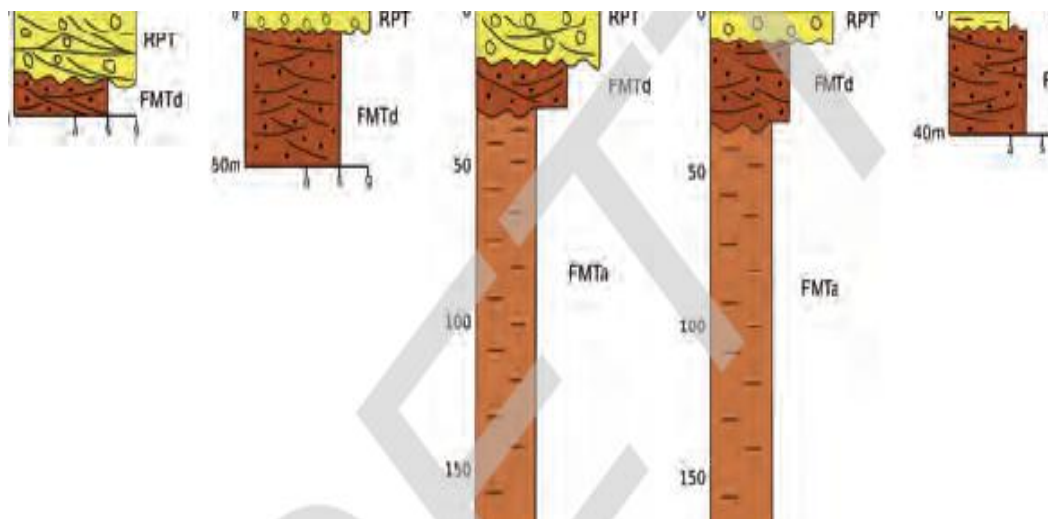


Figura 5-5. Sezioni stratigrafiche dei rapporti tra l'associazione sabbioso-conglomeratiche (FMTd) e la sovrastante argille e conglomerati di Ripa Teatina (RPT) (Note Illustrative Carta Geologica d'Italia 1:50.000 Foglio 372 Vasto)

L'associazione di facies, caratterizzata da laminazioni piano-parallele e incrociate a duna e ripples simmetrici e bidirezionali, la presenza di rari e sottili livelli tabulari argillosi e di paleosuoli, suggerisce un ambiente di spiaggia prevalentemente emersa lagunare o di piana intertidale. L'assetto giagiturale generale caratterizzato da pendenze di pochi gradi verso nord, così come la presenza locale clinostratificazione sempre verso nord, suggeriscono una tendenza alla crescita verso nord del sistema di spiaggia.

L'età è riferibile al Pleistocene inferiore.

L'associazione nel suo complesso indica una importante fase regressiva con l'individuazione di ambienti di spiaggia progradante, prevalentemente verso nord, che si conclude con la deposizione delle argille e conglomerati di Ripa Teatina.

5.2.6 Successione di transizione dal marino al continentale del Pleistocene

- *Argille e conglomerati di Ripa Teatina (RPT)*

Formano un corpo tabulare inclinato di pochi gradi verso nord, morfologicamente ben riconoscibile, bordato da scarpate alte pochi metri. Il passaggio alla sottostante formazione di Mutignano è marcato da una discordanza erosiva.

Si tratta di conglomerati poligenici, eterometrici, fino alle dimensioni dei blocchi, da sub angolosi ad arrotondati in strati da sottili a spessi, con grado di cementazione variabile. Presentano stratificazioni incrociate sia planari sia a truogolo all'interno di canali generalmente di piccole dimensioni e clinostratificazione non sempre evidente. Sono alternate a sabbie grossolane in lenti e strati da medi a fini, possono inoltre essere presenti sottili livelli discontinui di argille e argille siltose. Presentano una base erosiva costituita da canali generalmente ampi e poco profondi. L'ambiente deposizionale varia dalle facies deltizie e di spiaggia ad alta energia alle facies fluviali. La sommità delle ghiaie può presentarsi alterata con un paleosuolo relitto, argillificato, decarbonato e rubefatto solo localmente ben conservato.

Lo spessore massimo in affioramento è di circa 25 metri.

Le facies conglomeratiche sono ben visibili in corrispondenza di falesie attive ed inattive spesso sede di grandi fenomeni gravitativi.

Nel settore di studio, i conglomerati affiorano con buona continuità da Petacciato fino al torrente Sinarca formando una superficie tabulare inclinata di pochi gradi verso est. Il loro spessore è tuttavia molto ridotto (massimo 10 metri) e mostrano un basso grado di selezione in quanto caratterizzati prevalentemente da facies a supporto di matrice sabbioso-argillosa. Anche la superficie basale erosiva sui terreni appartenenti alla formazione di Mutignano FMTd mostra generalmente canali piatti e poco incisi. I caratteri sedimentologici suggeriscono una deposizione in ambiente di fan-delta fortemente alimentato.

Nel complesso i caratteri di questa unità sono indicativi della chiusura di un ciclo regressivo e del passaggio a condizioni definitivamente continentali ben marcate dal paleosuolo sommitale.

L'età dell'unità è attribuibile ad un generico Pleistocene medio p.p. prevalentemente sulla base di considerazioni litostratigrafiche, trattandosi di sedimenti grossolani non significativi dal punto di vista biostratigrafico.

5.2.7 Successione del quaternario continentale

I depositi della successione del Quaternario continentale affiorano prevalentemente lungo le valli dei corsi d'acqua principali (Fiume Trigno e Torrente Buonotte) e lungo la piana costiera. Tali depositi sono riferibili ad ambiente fluviale, eolico, palustre o di conoide alluvionale; sono altresì presenti coltri eluvio colluviali, depositi di frana e depositi antropici.

Di seguito si descrivono le litofacies presenti nell'area di studio:

- *Depositi di frana (olo_{a1})*

I depositi di frana sono molto estesi lungo i versanti nell'area di studio (per una ampiezza di circa 5 km trasversalmente e quasi 2 km longitudinalmente alla direzione di movimento, compresi tra quota 180 m s.l.m. e il mare).

Sono caratterizzati da litologie differenti in funzione delle unità coinvolte nelle frane, generalmente si presentano come depositi poligenici ad assetto caotico. Nelle aree di affioramento della successione marina plio-pleistocenica (facies grossolane), i depositi di frana sono formati da blocchi conglomeratici,

frammisti a depositi sabbioso-argillosi. In corrispondenza delle superfici di frana principali sono inoltre presenti ripetizioni dei livelli conglomeratici, poiché dislocati dallo scorrimento del corpo di frana.

- *Depositi eluvio - colluviali (olo_{b2})*

Limi, argille e sabbie, da grigiastri a bruno-rossastri, con sparsi clasti centimetrici arenacei, selciferi e calcarei; sono presenti frequenti concrezioni calcaree, particolarmente sviluppate in corrispondenza del contatto con le unità sottostanti. Localmente, in corrispondenza dei versanti impostati su litotipi conglomeratici, i depositi eluvio – colluviali sono costituiti da sabbie e ghiaie in assetto caotico o blandamente stratificate parallelamente al versante.

Il limite inferiore dell'unità è erosivo ed il suo spessore è variabile da qualche metro a oltre 10 metri.

- *Depositi eolici (olo_d)*

Si tratta di sabbie a granulometria medio-fine, ben classate, sciolte o debolmente addensate. Sono presenti lungo il settore costiere nella zona di Marina di Petacciato e costituiscono i corpi di dune incipienti o stabilizzate dalla vegetazione arbustiva ed arborea. Le dune incipienti sono sempre di dimensioni molto ridotte, con un'ampiezza massima di qualche metro, ma spesso inferiore al metro e altezza di qualche decimetro, sono allungate in direzioni variabili, perpendicolari od oblique rispetto alla direzione del litorale ed in genere interessate da sporadica vegetazione arborea. Le dune stabilizzate formano cordoni allungati parallelamente alla costa con un'ampiezza di alcuni metri ed un'altezza che può superare il metro; sono coperte da fitta vegetazione erbacea ed arbustiva o da una fitta pineta. In molti casi, la porzione del litorale interessata dalle dune costiere è stata intensamente antropizzata con la rimozione, il rimaneggiamento, il rimodellamento dei depositi e la distruzione della forme.

- *Depositi lacustri e palustri (olo_e)*

Si tratta di peliti e talvolta sabbioso-ciottolose, ma ci sono anche terreni di bonifica, torbe, e sedimenti limno-palustri. Nell'area di studio questi depositi sono presenti lungo la piana costiera in prossimità di Marina di Petacciato. Sono riferibili ad ambienti generalmente palustri che, nella maggior parte dei casi, sono stati oggetto di interventi di bonifica nel secolo scorso.

- *Depositi di spiaggia (olo_{g2})*

I depositi di spiaggia affiorano lungo gran parte del litorale e costituiscono gran parte della piana costiera ancorché interessati da una intensa antropizzazione.

Sono costituiti prevalentemente da sabbie a granulometria medio-fine, sciolte o addensate. Lo spessore generalmente non supera i 10 metri.

- *Depositi antropici (olo_b)*

Questi depositi sono diffusi in tutta la zona di studio e sono legati principalmente alle infrastrutture che l'attraversano. Sono costituiti da terreni ad assetto caotico e sono eterometrici ghiaiosi, sabbiosi, limo-argillosi, talvolta contenenti frammenti di manufatti. Il loro spessore è generalmente di pochi metri, ma può in alcuni casi superare i 10.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DEL VERSANTE IN FRANA

6.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

L'idrogeologia del versante in frana è articolata e complessa. Sulla base di quanto riportato nello studio dei Proff. V.Cotecchia e G.Melidoro, possono essere distinte falde freatiche superficiali e falde confinate in pressione profonde.

Le falde freatiche superficiali sono ospitate nei vari corpi di frana più superficiali, costituiti da terreni sabbioso-conglomeratici dislocati a blocchi o rimaneggiati, dalle argille grigie o avana disgregate e dalla coltre eluvio-colluviale. I livelli piezometrici di tali acquiferi sono influenzati dai vari sottobacini di frana e non correlabili tra loro, per cui non risulta significativo tracciare le superfici isopiezometriche dell'intero versante.

Le falde in pressione sono confinate negli interstrati di sabbia presenti nelle argille grigie oppure in zone disturbate da movimenti gravitativi profondi. Si osserva quanto segue:

- I livelli piezometrici registrati in alcuni sondaggi della campagna di indagine 2000-2001 sono risultati anche 5-10 m superiori al p.c.; nello stesso documento è riportato che nel sondaggio F11 eseguito dalle Ferrovie dello stato nell'ambito della campagna di indagine 2000-2001 si è registrato una fuoriuscita d'acqua per alcuni mesi estivi (luglio e agosto) sul p.c., con portata modesta, ma costante di 0.81 l/min.
- Analoghi riscontri, relativi a livelli di falda superiori al p.c., sono stati osservati nei piezometri installati nella campagna di indagine 1991 (vedi paragrafo 6.2.3); nel corso dell'esecuzione del sondaggio S3, una volta raggiunta la profondità di 79 m, è stata intercettata una falda in pressione in costante ricarica. Dai tubi inclinometrici S6, S8 e AI5 continua ancora la fuoriuscita d'acqua dopo diversi anni dalla data di installazione.
- Sulla base dei dati a disposizione la zona maggiormente interessata dalla presenza di falde artesiane profonde è quella al piede del versante tra il Fosso degli Ulivi (o Fosso Cacchione) e il Fosso dei Lupi.

6.2 DATI IDROGEOLOGICI DERIVANTI DALLE CAMPAGNE DI INDAGINE

6.2.1 Monitoraggio piezometrico indagini Ferrovie dello Stato 1981-1982

I dati di monitoraggio piezometrico relativi ai sondaggi B, E ed H, attrezzati con piezometri tipo Casagrande (vedi Tabella 4-2 ed elaborato GEO0009), sono riassunti in Tabella 6-1.

Si può osservare che in un periodo di tempo dell'ordine di qualche mese le celle piezometriche tipo Casagrande hanno fornito valori dei livelli piezometrici prossimi al p.c. o addirittura superiori (Sondaggio B cella a 30 metri).

Tabella 6-1. Letture piezometriche nei sondaggi B, E ed H della campagna d'indagine 1981

Data	Sondaggio B Livello piezometrico da p.c. (m)		Sondaggio E Livello piezometrico da p.c. (m)		Sondaggio H Livello piezometrico da p.c. (m)	
	Cella a 15m	Cella a 30m	Cella a 15m	Cella a 30m	Cella a 15m	Cella a 30m
31/7/81	8.3	8.46	12.2	11.93	5.63	5.58
28/8/81	4.7	4.4	7.50	6.95	2.8	2.64
19/9/81	1.49	1.23	5.79	5.25	2.43	2.38
22/10/81	1.45	1.30	5.70	5.10	2.7	2.52
18/12/81	0.0	+0.05	5.20	4.63	1.7	1.56
8/1/82	0.05	+0.11	5.20	4.63	1.58	1.45
9/2/82	0.01	+0.11	5.11	4.48	1.58	1.45

Nota: il segno + indica livelli piezometrici al di sopra del p.c.

6.2.2 Dati di monitoraggio desunti dallo studio dei Proff. V. Cotecchia e G. Melidoro

I dati desunti dallo studio dei Proff. V. Cotecchia e G. Melidoro (2002), sono relativi ai piezometri installati nei fori di sondaggio eseguiti per conto della Regione Molise (vedi Tabella 4-7 ed elaborato GEO0009); tali dati si riferiscono a un periodo di tempo di circa 1 anno (Luglio 2000-Giugno 2001). Nella Tabella 6-2 sono stati riportati i livelli piezometrici massimi registrati.

I dati riportati in Tabella 6-2 indicano che nella parte medio-bassa del versante i livelli piezometrici possono risultare prossimi al p.c.; nel sondaggio SC6, ubicato lungo il versante in sinistra idrografica del fosso Morgetta, a quota di circa 125 m da p.c., i livelli piezometrici misurati nei due piezometri più profondi risultano significativamente superiori al p.c.

Tabella 6-2. Livelli di falda massimi nel periodo Luglio 2000-Giugno 2001 rilevati nei sondaggi eseguiti per conto della Regione Molise

Sondaggio	Livello piezometrico dal p.c. (m)		
SCP1	C.P.C. (49.5m)	T.A. (0m→38m)	-
	5/7/00-13/6/01; 40.2	5/7/00-13/6/01; 31.2	-
SCP2	C.P.C. (49.5m)	T.A. (0m→30m)	-
	5/7/00-13/6/01; 23.2	5/7/00-13/6/01; 22.3	-
SCP3	C.P.C. (50m)	T.A. (0m→20m)	-
	5/7/00-13/6/01; 29.6	5/7/00-13/6/01; 22.7	-
SC3	P.E. (16m)	P.E. (53m)	P.E. (94m)
	4/8/00-11/7/01; 6.7	6/7/00-13/6/01; 1.5	6/7/00-13/6/01; 0.4
SC4	P.E. (16m)	P.E. (59.3m)	P.E. (115.5m)
	6/7/00-13/6/01; 13.1	6/7/00-13/6/01; 12.2	6/7/00-13/6/01; 9.4
SC6	P.E. (28.5m)	P.E. (64.5m)	P.E. (119m)
	6/7/00-13/6/01; 17.9	6/7/00-13/6/01; +6.9	6/7/00-13/6/01; +8.1
SC10	P.E. (33m)	-	-
	6/7/00-13/6/01; 3.4	-	-
SC11	P.E. (21m)	P.E. (55m)	-
	6/7/00-13/6/01; 5.4	6/7/00-13/6/01; 1	-
SC12	P.E. (27m)	P.E. (45m)	-
	6/7/00-13/6/01; 10.5	6/7/00-13/6/01; 16	-
SC13	C.P.C. (25m)	C.P.C. (45m)	-
	5/7/00-13/6/01; 2.5	5/7/00-13/6/01; 0.8	-
SC14	T.A. (30m→60m)	-	-
	7/8/00-11/7/01; 15.6	-	-
SC15	P.E. (49m)	T.A. (0m→20m)	-
	6/7/00-13/6/01; 14.3	6/7/00-13/6/01; 10.1	-

C.P.C. = cella piezometrica Casagrande (profondità da p.c.)
 P.E. = piezometri elettrici (profondità da p.c.)
 T.A. (tratto finestrato)
 Note:
 • il segno + indica livelli piezometrici al di sopra del p.c.
 • non sono disponibili i dati ai piezometri in SC16

6.2.3 Monitoraggio piezometrico Indagini società Autostrade

I dati di monitoraggio piezometrico relativi alla campagna di indagini condotta da Autostrade nel 1991, (Tabella 4-4 e elaborato GEO0009.), sono riassunti in Tabella 6-3. I dati indicano che nella parte bassa

del versante, dove si collocano i sondaggi, i livelli piezometrici risultano prossimi o addirittura significativamente superiori al p.c.

Tabella 6-3. Livelli di falda massimi rilevati nel 1996 nei sondaggi eseguiti nell'ambito della campagna di indagine 1991

Sondaggio	Livello piezometrico dal p.c. (m)		
S2bis	P.E. (20m)	-	-
	8/3/96-20/3/96; +0.7	-	-
S3bis	P.E. (10m)	P.E. (35m)	P.E. (80m)
	8/3/96; 4	8/3/96; 20.9 (?)	8/3/96; +3.4
S4	P.E. (15m)	P.E. (27.5m)	-
	8/3/96-20/4/96; 1.5	8/3/96-20/4/96; 24.7 (?)	-
	22/2/01-25/7/01; +0.75	22/2/01-25/7/01; -20.75 (?)	-
S5bis	P.E. (12.5m)	P.E. (25m)	P.E. (55m)
	8/3/96-20/3/96; 5.5 22/2/01-25/7/01; 7.7	8/3/96-20/3/96; 1.4 22/2/01-25/7/01; 1.5	8/3/96-20/3/96; +8.1 -
S6bis	P.E. (34m)	P.E. (50m)	P.E. (75m)
	8/3/96-20/3/96; +3.8 22/2/01-25/7/01; +10.1?	8/3/96-20/3/96; +3 -	8/3/96-20/3/96; +9.1 -
S7bis	P.E. (14m)	P.E. (45m)	P.E. (60m)
	8/3/96-20/3/96; +1.3 22/2/01-25/7/01; +2.6	8/3/96-20/3/96; +0.2 22/2/01-25/7/01; +0.6	8/3/96-20/3/96; +3.6 22/2/01-25/7/01; +2.9
S8bis	P.E. (5m)	P.E. (20m)	P.E. (40m)
	8/3/96-20/3/96; +0.2 22/2/01-25/7/01; +0.65	8/3/96-20/3/96; +2.6 22/2/01-25/7/01; +8.5	8/3/96-20/3/96; +3.4 22/2/01-25/7/01; +16.5 (?)
P.E. = piezometri elettrici (profondità da p.c.) Nota: il segno + indica livelli piezometrici al di sopra del p.c.			

6.2.4 Campagna indagini Autostrade (2019)

In prossimità della Spalla sud del viadotto Cacchione, carreggiata sud, sono state installate nel mese di marzo 2019, n. 4 celle piezometriche rispettivamente alla profondità di 13, 22, 33 e 40 metri dal p.c. finalizzate al monitoraggio in "continuo" delle pressioni interstiziali. Il monitoraggio sta per essere avviato al momento della stesura della presente relazione.

6.2.5 Prove Lefranc

Le prove di permeabilità Lefranc eseguite nei fori di sondaggio hanno permesso la stima quantitativa del coefficiente di permeabilità dei terreni interessati dalle opere in progetto.

I litotipi presenti nell'area di studio sono costituiti prevalentemente da argille – limose / limi argillosi con locali intercalazioni da mm a cm di sabbia fine limosa. Superficialmente, nei primi metri, si osserva un aumento della componente sabbiosa. La permeabilità di questi terreni è di tipo primario per porosità ed i valori che li caratterizzano variano in relazione alle percentuali di materiali "granulari" dei livelli in cui è stata effettuata la misura.

Sono state eseguite complessivamente n. 4 prove di permeabilità Lefranc condotte a carico variabile per immissione in corrispondenza di intervalli di prova di spessore variabile da 0.8 a 1.0 metri. I dati di sintesi sono riassunti nella tabella seguente:

Tabella 6-4. Prove Lefranc (2019 – Technosoil)

Sigla	Ditta	Anno	Tipo	Profondità (m da p.c.)	K (m/s)	Grado di permeabilità
I1	Technosoil	2019	Lefranc	0.5-1.5	4.9 ^{*-08}	Molto Basso
I2				14-14.8	2.8 ^{*-08}	Molto Basso
CH1				1.17-2.12	4.7 ^{*-08}	Molto Basso
				20.7-21.7	8.1 ^{*-09}	Molto Basso

I dati di monitoraggio piezometrico indicano la presenza in profondità di livelli piezometrici superiori al piano di campagna; di conseguenza l'area in esame è interessata da moti di filtrazione diretti verso l'alto e da gradienti di pressione superiori a quelli idrostatici determinati con livelli di falda prossimi al piano campagna. La differenza tra livelli piezometrici reali e livelli piezometrici idrostatici determinati assumendo la falda prossima al piano campagna cresce con l'aumentare della profondità, ma può essere considerata scarsamente rilevante negli strati più superficiali.

In ragione delle considerazioni espone nei paragrafi precedenti, e del fatto che i dati del monitoraggio fino ad ora eseguito rappresentano misure puntuali, non continue nel tempo e talvolta acquisiti in condizioni di falda non stabilizzata (letture eseguite a breve distanza dall'installazione dei piezometri), appare opportuno non basarsi esclusivamente su questi dati per definire la "falda di progetto"; viceversa, è necessario tenere in considerazione l'effetto delle oscillazioni stagionali ed annuali a lungo termine e, soprattutto, occorre tener conto delle specifiche caratteristiche dell'opera ingegneristica. Infatti, la valutazione dei franchi di sicurezza deve variare in funzione della tipologia delle soluzioni adottate, ovvero in funzione della loro vulnerabilità (la valutazione dei franchi di sicurezza non può prescindere dalla tipologia delle soluzioni adottate).

7 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

7.1 ELEMENTI GENERALI

L'orografia del territorio è quella tipica della fascia costiera dell'area abruzzese-molisana, caratterizzata da un paesaggio collinare lentamente degradante verso i quadranti nordorientali, con una quota massima di circa 230 m s.l.m. e una quota minima al livello del mare.

Nella zona di Petacciato si individua un rilievo tabulare con quote che superano i 200 m s.l.m. orlato da nette scarpate degradanti dolcemente verso est fino alla valle del torrente Sinarca.

Il litorale è costituito da un tratto di costa bassa di ampiezza variabile, dai 50 ai 300 metri.

L'idrografia è contraddistinta da un corso d'acqua principale, il fiume Trigno e da una serie di corsi d'acqua minori, tra cui il torrente Tecchio ed il torrente Sinarca posti rispettivamente a NO e a SE dell'area di studio. Nell'area di studio è inoltre presente un reticolo minore costituito da fossi. Tutti i corsi d'acqua presentano decorso circa SO-NE perpendicolare alla linea di costa.

Il bacino idrografico del Biferno e minori, in cui ricade l'area di studio, presenta forma allungata e simmetrica.

L'assetto morfostrutturale è caratterizzato da un ampio rilievo tabulare tipo mesa debolmente inclinato verso i quadranti orientali modellato dall'erosione selettiva e da un importante fenomeno franoso (frana di Petacciato) nelle successioni argilloso-sabbioso conglomeratiche plio-pleistoceniche.

7.1.6 Lineamenti geomorfologici locali

L'analisi geomorfologica individua e riconosce le varie forme prodotte dagli agenti morfogenetici come ad esempio la gravità, lo scorrimento delle acque superficiali, l'azione del vento e l'opera dell'uomo.

Questo tipo di rilievo permette di ricostruire il quadro dinamico delle modificazioni del territorio a seconda del prevalere delle dinamiche fisiche su quelle indotte dalle attività antropiche e permette di riconoscere l'insieme delle forme e dei fenomeni che possano avere interesse pratico nei confronti della valutazione delle condizioni generali del territorio.

Tali forme sono state differenziate in funzione dei diversi agenti morfogenetici che le hanno prodotte, in particolare, nell'area in esame si distinguono:

- Forme di versante dovute alla gravità;
- Forme e processi dovuti allo scorrimento delle acque superficiali;
- Forme legate a processi marini ed eolici
- Forme strutturali
- Forme e processi antropici.

Prima di analizzare nel dettaglio i cinque gruppi di forme si premette che:

Le forme di versante dovute alla gravità sono riferibili essenzialmente a fenomeni franosi di diversa tipologia e dimensione, da attive a quiescenti a inattive, e da movimenti lenti di versante, come osservato anche nell'ambito dei censimenti del Progetto IFFI. Sono state individuate da piccole frane superficiali prevalentemente per colamento nelle coltri di alterazione superficiale, a frane di grandi dimensioni con movimento di scorrimento rototraslativo come nel caso della grande frana di Petacciato. I processi gravitativi comprendono le frane, che sono state suddivise in funzione del grado di attività, distinguendo forme attualmente in evoluzione e forme attualmente quiescenti e inattive, ove possibile, suddivise in corpo di frana, nicchia di distacco e coronamento. In particolare, si evidenzia che sono considerate attive le frane con evoluzione stagionale o comunque quelle che all'analisi temporale mostrano una persistenza di forme e segnali di attività. Nella valutazione del grado di attività sono state altresì utilizzate le risultanze del monitoraggio inclinometrico. Si sottolinea come le frane quiescenti presentino una forte propensione alla riattivazione quando osservate su scala temporale più ampia e soprattutto in presenza di fenomeni eccezionali (meteorici o sismici) o nel caso di interventi antropici non correttamente concepiti. Le forme attive indicano fenomeni che possono costituire condizioni di rischio reale, mentre le forme inattive rappresentano situazioni di pericolosità potenziale che possono

degenerare in occasione di eventi meteorici eccezionali o di impropri interventi di trasformazione del suolo.

Le forme dovute alle acque correnti superficiali, d'accumulo e di erosione, sono costituite principalmente da terrazzi fluviali e da conoidi alluvionali; a queste si aggiungono forme dovute al ruscellamento diffuso e concentrato che caratterizzano i versanti ed il reticolo idrografico minore. Conoidi alluvionali si individuano sulla piana costiera allo sbocco dei principali torrenti, questi presentano evidenze nette di una reincisione e rimodellamento sia da parte dei torrenti sia da parte del mare.

Le forme strutturali sono legate sia alla natura litologica dei terreni affioranti che alla tettonica. A causa della presenza di litotipi competenti (arenarie e conglomerati) sopra altri facilmente erodibili (argille e limi), i rilievi tipo mesa sono orlati da scarpate di degradazione e/o do frana ad influenza strutturale. Tuttavia le caratteristiche litologiche, sono in genere tali, da non consentire un'efficace preservazione delle forme strutturali; queste sono quindi soggette a rapida evoluzione morfologica.

Nei paragrafi seguenti, vengono descritte le caratteristiche morfo-dinamiche che caratterizzano i diversi processi analizzati mentre per la descrizione dettagliata di tutte le forme individuate nell'area di studio si rimanda ai capitoli 8 e 12.

7.1.7 Forme di versante dovute alla gravità

Forme di denudazione

Frattura / nicchia di distacco

Si tratta di forme che derivano dall'evoluzione morfologica di una scarpata in seguito all'azione della gravità. Si tratta di scarpate, con orlo generalmente netto, che marciano una rottura di pendio di forma concava, ad arco. Sono raggruppate in diverse tipologie in funzione al grado di attività (attive, quiescenti, inattive)

Scarpata di degradazione

Si tratta di brusche rotture di pendio che possono essere determinate da vari fattori tra cui semplici variazioni litologiche o particolari assetti strutturali degli ammassi rocciosi. Questa forma può essere attiva o non attiva, e generalmente è indicativa di condizioni d'equilibrio precarie, ovvero di situazioni che potrebbero dar luogo a dissesti nel caso in cui si verificassero incauti interventi antropici, azioni sismiche o variazioni della capacità erosiva delle acque superficiali

Forme di accumulo

Corpo di frana

Si tratta di accumuli di materiale generati da movimenti di versante distinguibili in base al tipo di movimento che li ha generati ed al loro stato di attività. Le principali tipologie riscontrate sono:

- Movimenti di tipo complesso e di tipo scivolamento

I movimenti di tipo complesso presentano uno stile con combinazioni di diversi fenomeni succedutisi nel tempo a quelli originari, per evoluzione della zona di nicchia ovvero dell'accumulo; in alcuni casi sono state individuate situazioni nei quali i movimenti originari sono correlabili ad evoluzione a stile composito.

Si tratta di fenomeni combinati di differenti tipologie (colamento, scivolamento, crollo); è evidente come la tipologia prevalente dei movimenti dipenda essenzialmente dal substrato (litologia) e dalla conseguente morfologia dei versanti. Per tutti i litotipi contraddistinti da una significativa componente argillosa, come quelli affioranti nell'area di studio, la tipologia prevalente di dissesto è quella degli scivolamenti (rotazionali o planari) associati a colata.

I movimenti di scorrimento/scivolamento possono avvenire lungo una o più superfici e possono essere sia di tipo traslazionale, sia di tipo rotazionale. Gli scorrimenti (o scivolamenti, slides) comportano uno spostamento per taglio lungo una o più superfici, oppure entro un "livello" abbastanza sottile.

- Movimenti di tipo colamento lento

Sono fenomeni che si manifestano diffusamente soprattutto in zone costituite da depositi argillosi e sabbiosi o da materiali detritici prevalentemente fini. I fenomeni si innescano su versanti di varia pendenza, anche blanda, ma i movimenti persistono anche sui settori a modestissima inclinazione. Salvo casi particolari, la massa si sposta con notevole lentezza attraverso continui processi di deformazione dei materiali coinvolti. Le superfici di taglio hanno in genere breve durata, si attivano durante il movimento e non sono più riconoscibili al termine dell'evento stesso. Oltre alle caratteristiche litologiche e geotecniche dei materiali coinvolti, notevole importanza assume il contenuto d'acqua. I fattori predisponenti sono infatti essenzialmente geologici ed idrogeologici, la componente argillosa del materiale favorisce l'impregnazione ed il ristagno idrico causando la mobilitazione e la fluidificazione degli orizzonti superficiali. La fessurazione dei terreni argillosi nei periodi di scarse precipitazioni favorisce, in caso di piogge, la penetrazione dell'acqua e la conseguente destabilizzazione degli stessi.

- Versante interessato da deformazioni superficiali lente (soliflusso o creep)

Lungo in versanti sono state osservate lievi ondulazioni, gibbosità ed aree parzialmente svuotate, cioè forme tipiche dei soliflussi e dei creep. Si tratta di deformazioni superficiali correlabili a comportamento plastico del terreno; questi fenomeni possono verificarsi anche con pendenze limitate. La lentezza delle deformazioni e la mancanza di evidenti superfici di taglio o di nicchie di distacco modella il terreno in maniera non appariscente e quindi anche la delimitazione areale del fenomeno diventa difficoltosa. Gli spessori coinvolti generalmente sono nell'ordine di pochi metri, 1÷3 m di spessore (creeping), ma localmente possono anche superare i 5 m (creep). Si tratta di deformazioni che determinano la formazione di aree caratterizzate da ondulazioni, gibbosità, terrazzetti ed aree di svuotamento. Le zone soggette a soliflusso devono essere considerate con cautela in ragione dell'evoluzione dei fenomeni, che possono essere equiparati a frane attive di coltre.

- Deformazione Gravitativa Profonda (DGPV)

Si tratta di fenomeni di movimento in massa in cui la presenza di una eventuale superficie di scorrimento continua non è macroscopicamente evidente e non è necessario postularla per rendere conto delle deformazioni osservate sia in superficie che in profondità. L'entità della deformazione è piccola rispetto alle dimensioni del fenomeno). Le DGPV possono essere definite come frane di grandi dimensioni (dell'ordine del kmq) ed estremamente lente (< 16 mm/anno) (Chinaglia a Mazzoccola, 1997). Il processo deformativo avviene per spostamenti differenziali molto lenti che si sviluppano lungo giunti e piani di discontinuità variamente orientati o concentrati lungo fasce di maggior debolezza localizzate a diversa profondità e con differenti spessori. Questo determina un mutamento delle condizioni di stabilità generale di ampi settori di versante, coinvolgendoli dagli spartiacque fino al fondovalle per profondità che superano il centinaio di metri e causando spostamenti di volumi rocciosi di parecchie decine di milioni di metri cubi.

- Frane di crollo e ribaltamento:

Si tratta di dissesti associati alla presenza di pareti verticali o fortemente inclinate, solitamente con inclinazione non inferiore a 45-50°. Nelle frane di crollo si ha il distacco di blocchi o di una massa di roccia di dimensioni variabili; in particolare, è possibile distinguere la caduta di singoli elementi di roccia dalle cadute in massa, nel primo caso la caduta può avvenire spesso improvvisamente e senza segni premonitori, mentre il crollo in massa generalmente è preceduto dall'aumento della caduta di blocchi e di massi.

I blocchi lapidei si muovono essenzialmente in aria per caduta libera o tramite rotolamento e rimbalzi o talora tramite scivolamento. La superficie di distacco può avere diverse forme a seconda del numero di discontinuità presenti all'interno dell'ammasso roccioso e della giacitura delle stesse. Sono proprio le superfici di debolezza (es. strati e fratture) a determinare il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso e di conseguenza anche la quantità e la dimensione dei blocchi. Pareti verticali o molto inclinate e la presenza di numerose famiglie di discontinuità che si intersecano sono le principali cause predisponenti di un crollo, come anche la presenza di riempimenti argillosi nelle discontinuità aperte

che si possono rigonfiare aumentando la pressione laterale; infine, si cita l'erosione esercitata al piede delle scarpate e la conseguente formazione di una parete strapiombante. Tra i fattori scatenanti: cicli di gelo e disgelo e le escursioni termiche (l'acqua che percola nelle fratture gela, aumenta di volume e provoca l'allargamento delle discontinuità); le forti precipitazioni aumentano la pressione idrostatica all'interno delle fratture, soprattutto quelle riempite da materiale argilloso nelle zone perimetrali. I riempimenti argillosi impediscono all'acqua che percola nelle fratture di allontanarsi e l'argilla si idrata aumentando di volume. Le radici degli alberi possono penetrare sempre più in profondità nelle discontinuità allargandole.

7.1.8 Forme, processi e depositi per acque correnti superficiali

Orlo di scarpata di erosione fluviale

Si tratta di una forma lineare, che si determina in seguito all'erosione dovuta all'azione delle acque di ruscellamento e/o in seguito all'approfondimento dell'alveo fluviale. Sono presenti alla base del versante in prossimità del F. Sangro.

Solco da ruscellamento concentrato

Si tratta di una forma di erosione lineare determinata dall'approfondimento di rivoli prodotti dal riunirsi di filetti idrici secondo linee di scorrimento preferenziali. Individua la direzione di deflusso delle acque incanalate sia artificialmente che naturalmente.

Erosione areale diffusa

Sono quelle aree ove avviene un trasporto delle particelle detritiche lungo linee di massima pendenza ad opera del velo d'acqua che ricopre diffusamente il suolo, il quale subisce un logoramento pressoché uniforme su tutta la superficie. Questo fenomeno è caratterizzato da un finissimo reticolato di rivoli, i quali si distribuiscono sul pendio in maniera diversa nel tempo, i solchi generati, nelle zone coltivate, vengono facilmente eliminati dalle lavorazioni agrarie stagionali.

Erosione incanalata (rill)

Nelle aree collinari, in particolare nella parte sud del tracciato in esame, si osserva la presenza di solchi erosivi tipo "rill" in alcune vallecicole, è possibile individuare localmente, al termine del solco, i depositi colluviali di neo formazione e marcati dall'assenza di vegetazione.

Conoide alluvionale

Allo sbocco delle valli in pianura è possibile individuare la presenza di coni alluvionali che si sviluppano al piede dei versanti, tali forme non sono però presenti nell'ambito dell'area di studio.

Aree con difficoltà di drenaggio

Queste aree a differenza delle precedenti mostrano dei dislivelli minimi rispetto al contesto circostante; si individuano comunque chiari segni di ristagno e/o di difficoltà di drenaggio delle acque meteoriche in occasione degli eventi pluviometrici più intensi.

Zona Umida

Nelle zone di contatto tra la laguna di Orbetello e la pianura retrostante si osservano delle aree dove le acque salmastre possono essere presenti saltuariamente e dove pertanto non si rileva l'attività agricola, sono zone di vegetazione naturale di tipo probabilmente palustre.

7.1.9 Forme di origine marina ed eolica

Duna costiera

Nel tratto di costa compreso tra la foce del Torrente Tecchio ed il fosso degli Ulivi è presente una fascia, pressoché continua, dove si è sviluppata una duna costiera stabile. La duna, ricoperta da vegetazione, risulta delimitata sul lato mare dall'arenile e su quello di terra dalla pineta.

7.1.10 Forme strutturali

Mesa

Rilievo isolato caratterizzato da strati a giacitura orizzontale, di dimensioni in pianta decisamente maggiori rispetto all'altezza.

7.1.11 Forme antropiche

Orlo di scarpata di sbancamento

Indica la presenza di rotture di pendio determinate da sostanziali modifiche del profilo del versante dovute all'opera dell'uomo. Appartengono a queste forme le scarpate connesse ai tracciati stradali.

Rilevato stradale e aree antropiche

Si tratta di riprofilature del terreno ottenute mediante apporto di materiali inerti, in generale sono localizzati in prossimità di rilevati stradali o nel tessuto urbano.

7.2 COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA – VERIFICA DOCUMENTI DI PIANO

Di seguito si riportano una sintesi dei “documenti di piano” prodotti dagli enti istituzionali e riguardanti l'area della frana di Petacciato.

7.2.1 Regione Molise: Studio del Rischio Idrogeologico

Con il termine "rischio idrogeologico" si descrive l'insieme di quei fenomeni o eventi naturali connessi prevalentemente alla rovinosa interferenza delle acque libere in superficie e/o all'interno del suolo che, producendo effetti, possono portare alla veloce trasformazione dell'ambiente fisico, a danni alle attività e alle opere antropiche, alla perdita di vite umane. Questi eventi comprendono:

- *frane e smottamenti;*
- *alluvioni e inondazioni;*
- *erosione costiera.*

Conseguenza dei rischi idrogeologici sono le "calamità naturali", definite come eventi dannosi provocati dalle forze della natura. L'entità di una calamità naturale dipende non solo dalla furia dei fattori che la determinano, ma anche dagli elementi di rilevanza umana, quali le tecniche di costruzione utilizzate o le misure di prevenzione adottate. Nel 2001 la Regione Molise ha concluso uno studio finalizzato all'individuazione delle criticità areali relativamente alle pericolosità da frana e idraulica".

Di seguito si riporta uno stralcio della “Carta Inventario” e della “Carta della Pericolosità” annesse allo Studio.

“L’Inventario dei Fenomeni Franosi”, rappresenta il documento base per la successiva perimetrazione delle aree a rischio. Nella carta sono rappresentati tutti i fenomeni di instabilità dei versanti verificatisi nel passato o attualmente in evoluzione, distinti, sulla base di apposita simbologia che ne descrive la tipologia del movimento ed il suo stato di attività. Con riferimento alla “Carta Inventario”, il versante nord – orientale a valle dell’abitato di Petacciato, alla base del quale si collocano le opere in progetto, si evince che sarebbe interessato da diversi corpi di frana di tipo “Scivolamento Rotazionale” con stato di attività quiescente (Figura 7-2).

“La Carta della Pericolosità da Frana rappresenta l’elaborato di sintesi più utile ai fini della pianificazione territoriale in quanto oltre a contenere informazioni circa l’attuale stato di dissesto di un’area, rappresenta, in senso probabilistico, la vocazione di un territorio al dissesto.

La Pericolosità rappresenta la probabilità che un dato fenomeno di instabilità si verifichi in un determinato intervallo di tempo in una certa area. E’ espressa in una scala percentuale tra 0% (nessuna probabilità di accadimento) e 100 % (certezza di accadimento). Nello studio la zonazione della

pericolosità avviene per classi crescenti, da Pf0 (Pericolosità nulla) a Pf3 (Pericolosità da frana estremamente elevata)”.

Di seguito si analizza la pericolosità da frana Elevata (Pf2) Figura 7-2), in cui ricadono le opere oggetto dalla progettazione, in particolare, “appartengono a tale classe le aree evidenziate dalla presenza di elementi distintivi del carattere di quiescenza (contropendenze, ondulazioni, gibbosità, mammellonature, ecc.) o di imminente attivazione (fratture di trazione, aperture anomale nei giunti di discontinuità, rigonfiamenti, ecc.).

L’attribuzione ad una o all’altra classe può avvenire attraverso le seguenti metodologie:

- *previsione spaziale (carta inventario);*
- *previsione temporale (in genere ad un tempo di ritorno basso, inferiore a 2 anni, corrisponde una pericolosità molto elevata, che diventa elevata se i tempi di ritorno sono dell’ordine dei 2-10 anni e moderata se i tempi di ritorno sono dell’ordine dei decenni/secoli);*
- *previsione tipologica (carta inventario);*
- *previsione nell’evoluzione.*

Per maggiori dettagli si rimanda allo studio della regione Molise (<http://regione.molise.it/llpp/>).

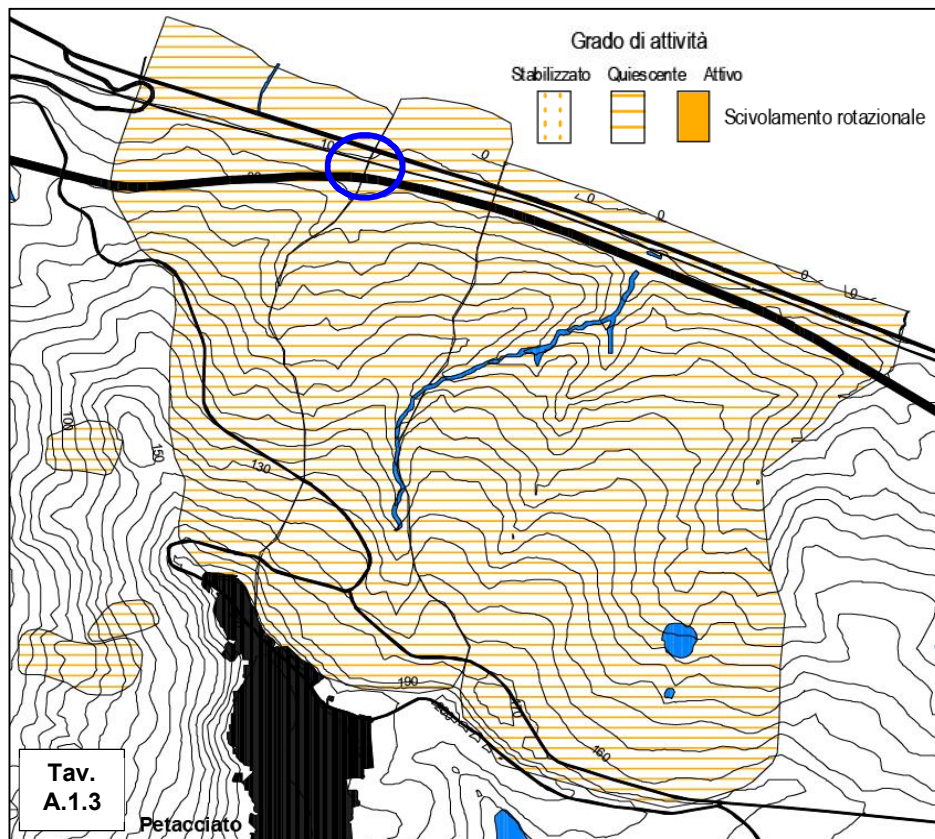


Figura 7-1 Regione Molise, Studio del Rischio Idrogeologico nella Regione – Tav. A.1.3. Carta Inventario degli Eventi Franosi - sez. 37215 (ICS=indice cinematico di stabilità) (accesso dell’aprile 2019). Il cerchio blu individua la zona interessata dalle opere in progetto.

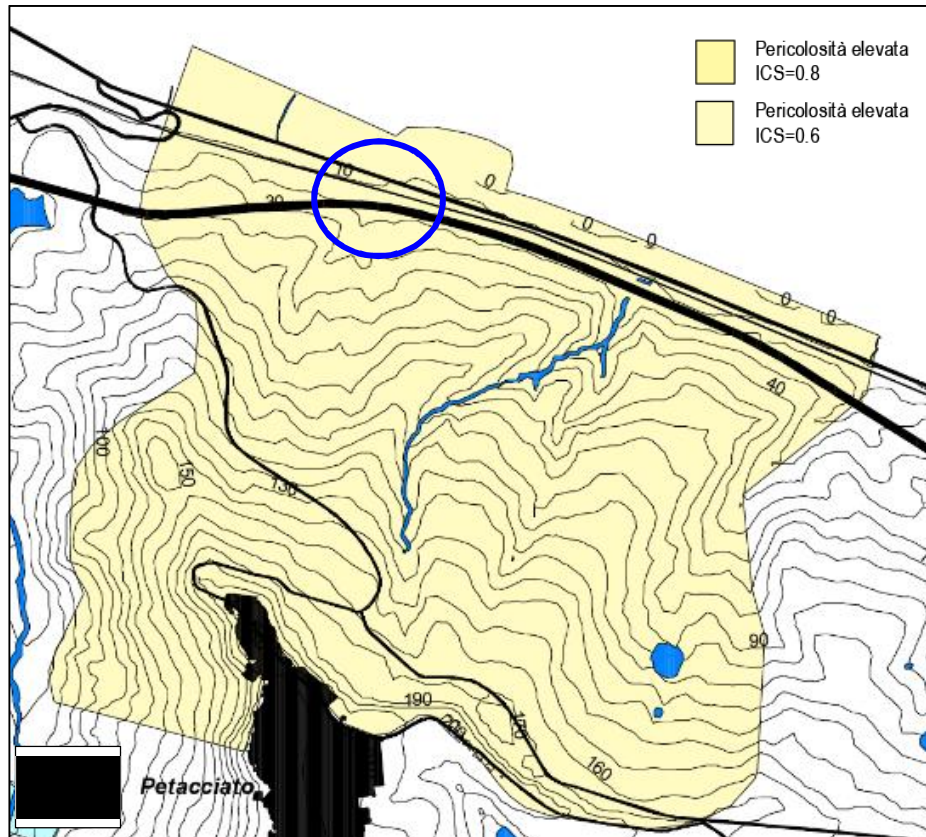


Figura 7-2 Regione Molise, Studio del Rischio Idrogeologico nella Regione –Tav. A.2.3. Carta della Pericolosità da Frana - sez. 37215 (ICS=indice cinematico di stabilità) (accesso dell'aprile 2019). Il cerchio blu individua la zona interessata dalle opere in progetto.

7.2.2 Piano Assetto Idrogeologico (PAI)

La zona studiata ricade all'interno delle aree di pertinenza del Piano Stralcio l'Assetto Idrogeologico Per il Bacino regionale del Fiume Biferno e Minori (Approvato dal comitato Tecnico nella seduta n. 25 del 16 dicembre 2004; Adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 87 del 28 ottobre 2005).

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del fiume Biferno e Minori è stato redatto ai sensi dell'art 17 comma 6 ter della L. 183/89 (Legge Quadro in materia di difesa del suolo).

Nell'ambito del PAI sono identificati e descritti i criteri di pericolosità idraulica e di instabilità geomorfologica, finalizzati alla redazione di strumenti di pianificazione per la salvaguardia del territorio.

Le indicazioni del PAI sono state recepite nel corso del presente studio, al fine di permettere la corretta valutazione delle eventuali interferenze e condizioni di pericolosità potenziale con le opere oggetto di intervento, sia per pericolosità da frana che per la pericolosità idraulica.

La carta di Pericolosità fornisce una distribuzione territoriale delle aree esposte a processi di dinamica geomorfologica ordinate secondo classi a gravosità crescente. In particolare, sono state distinte le seguenti categorie: pericolosità da frana/idraulica moderata (PF1); pericolosità da frana/idraulica elevata (PF2); pericolosità da frana/idraulica estremamente elevata (PF3).

Si riporta di seguito uno stralcio della Carta di Pericolosità da Frana e Valanga pubblicata dalla regione Molise, dal quale si osserva che tutto il versante nord – orientale a valle dell'abitato di Petacciatto, compresa la zona interessata dalle opere in progetto (cerchio blu), ricade in un'area classificata a Pericolosità da Frana e Valanga Elevata (PF2) (Figura 7-3).

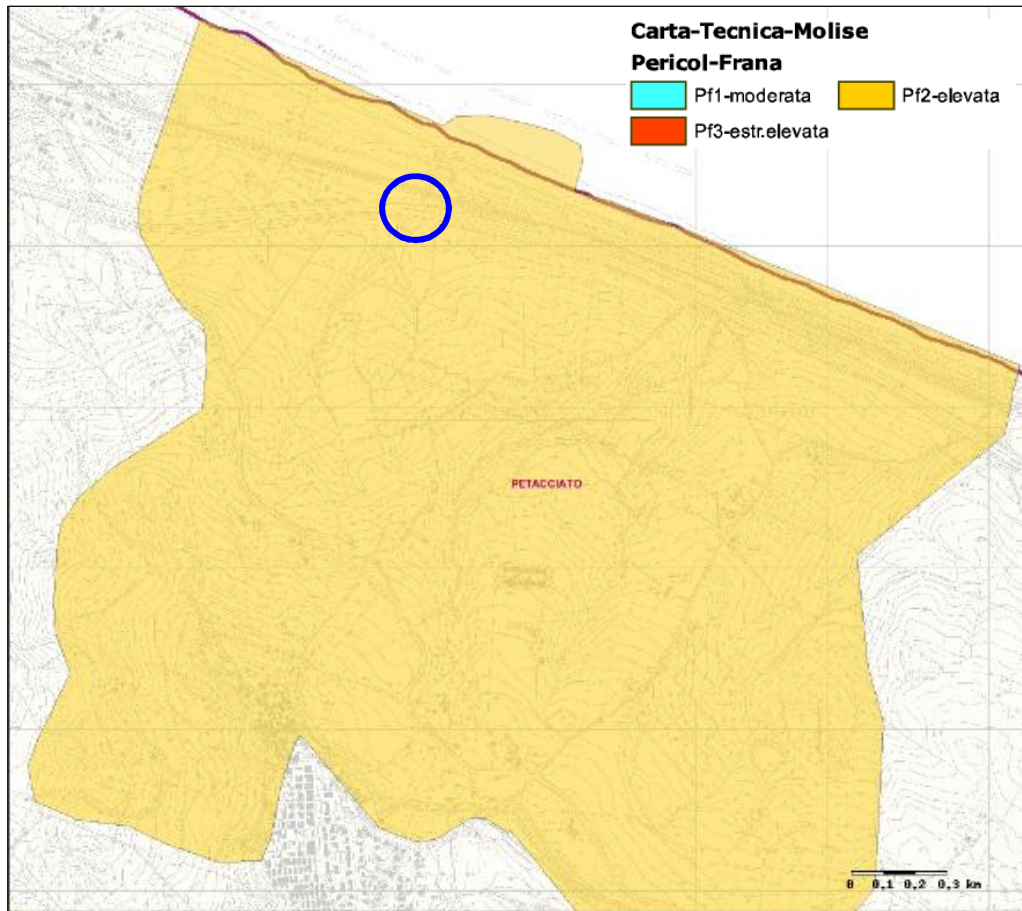


Figura 7-3. Progetto Piano Stralcio Per l'assetto Idrogeologico – Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori Saccione e Fortere – Carta della Pericolosità da Frana e Valanga - Cartografia WEB GIS (accesso dell'aprile 2019). Il cerchio blu individua la zona interessata dalle opere in progetto.

Con riferimento alla Classi di Pericolosità da Frana, si riporta di seguito uno stralcio dell'art. 24 contenuto nelle Norme di Attuazione del PAI relativo alle sole classi PF3 e PF2:

“Appartengono alla classe PF3 le aree a pericolosità da frana estremamente elevata in cui sono presenti movimenti di massa attivi, con cinematismi e caratteri evolutivi che mirano o meno all'estensione areale del fenomeno (frane attive (fenomeno associato a processi in atto al momento del rilevamento o che ricorrono con un tempo massimo di due cicli stagionali – art. 7); rientrano in tale classe le deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV). **Appartengono alla classe PF2** le aree con elevata pericolosità da frana evidenziate dalla presenza di elementi distintivi del carattere di quiescenza (fenomeno non attivo al momento del rilevamento, per il quale però esistono indizi che ne dimostrino un oggettiva possibilità di riattivazione, in quanto esso non ha esaurito la propria potenzialità di evoluzione e per il quale permangono le cause predisponenti al movimento – art.7) e da indicatori geomorfologici diretti quali la presenza di corpi di frana preesistenti e di segni precursori di fenomeni gravitativi (ondulazioni, contropendenze, fratture di trazione, aperture anomale nei giunti di discontinuità, rigonfiamenti, etc.). Appartengono a tale classe le aree di probabile evoluzione spaziale dei fenomeni censiti con stato attivo. Rientrano in tale classe anche fenomeni di dissesto superficiali (soliflussi e/o deformazioni viscosi dei suoli per i quali è scontata l'attività continua nel tempo o, al più, il carattere stagionale) censite come frane s.s. anche se tali non possono considerarsi (Canuti & Esu 1995; Cruden 1991) e le frane sulle quali sono stati realizzati interventi di consolidamento (frane stabilizzate artificialmente). Appartengono a tale classe, inoltre, gli areali che, sulla base dei caratteri fisici (litologia e caratteristiche geotecniche dei terreni, struttura e giacitura dei corpi geologici, processi di degradazione meteorica, dinamica geomorfologica in atto, etc.), vegetazionale e di uso del suolo sono privi, al momento, di indicazioni morfologiche di fenomeni franosi superficiali e/o profondi ma che potrebbero evolvere attraverso fenomenologie di frana a cinematica rapida (crolli, ribaltamenti, debris flow). Tale ultima indicazione assume carattere cautelativo, volto a scongiurare l'insorgere di nuove condizioni di rischio e a mitigare quelle già esistenti”

Nei confronti della Pericolosità Idraulica, le opere in progetto ricadono in corrispondenza di un “Tratto Fluviale non Studiato” per i cui aspetti di dettaglio si rimanda all’articolo 16 delle Norme di Attuazione del PAI (Figura 7-4).

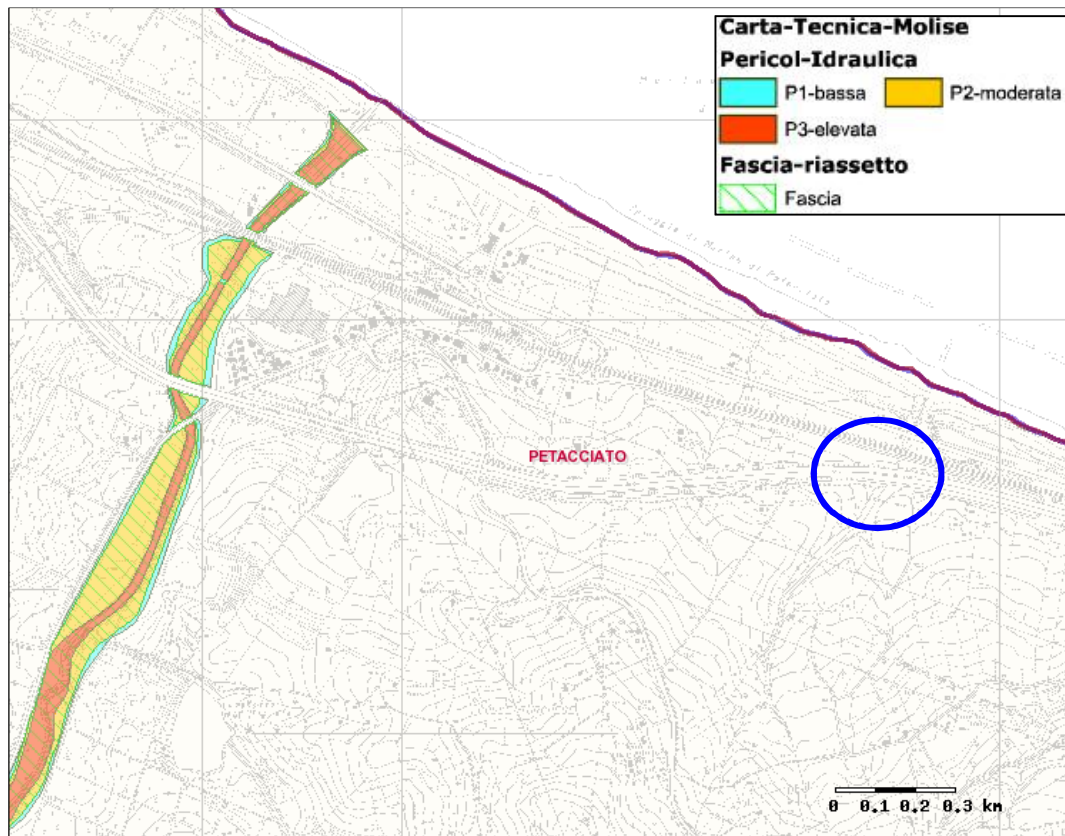


Figura 7-4. Progetto Piano Stralcio Per l’assetto Idrogeologico – Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori Saccione e Fortere – Carta della Pericolosità Idraulica - Cartografia WEB GIS (accesso dell’aprile 2019). Il cerchio blu individua la zona interessata dalle opere in progetto.

7.2.3 Piano di gestione rischio alluvioni (P.G.R.A.)

La normativa di riferimento in materia di valutazione e gestione del rischio di alluvioni è la Direttiva europea 2007/60/CE conosciuta anche come “Direttiva Alluvioni”.

La Direttiva, recepita nell’ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49, in analogia a quanto predispose la Direttiva 2000/60/CE in materia di qualità delle acque, intende creare un quadro di riferimento omogeneo a scala europea per la gestione dei fenomeni alluvionali e si pone pertanto l’obiettivo di ridurre i rischi di conseguenze negative derivanti dalle alluvioni soprattutto per la vita e la salute umana, l’ambiente, il patrimonio culturale, l’attività economica e le infrastrutture.

Il recepimento della normativa europea da parte della legislazione nazionale ha portato alla definizione dei Distretti idrografici, soggetti competenti per gli adempimenti previsti dalla Normativa, tra i quali fondamentale importanza ha la redazione delle mappe di pericolosità idraulica e rischio idraulico. In Italia, sono stati individuati 8 Distretti Idrografici. Il territorio dei Distretti è stato a sua volta suddiviso in Unit of Management (UoM) ovvero unità territoriali omogenee di riferimento per la gestione del rischio di alluvione corrispondenti ai principali bacini idrografici, ognuna delle quali fa riferimento alla relativa Autorità Competente o Competent Authority (CA).

Nel caso in esame, il distretto competente è il Distretto Idrografico dell’Appennino Meridionale, Autorità di Bacino Nazionale dei Fiumi Liri – Garigliano e Volturno (Regione Abruzzo, Regione Basilicata, Regione Calabria, Regione Campania, Regione Lazio, Regione Puglia).

Il Primo Piano di Gestione Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico Appennino Meridionale PGRA DAM, è stato adottato, ai sensi dell’art. 66 del d.lgs. 152/2006, con Delibera n° 1 del Comitato

Istituzionale Integrato del 17 dicembre 2015, è stato approvato, ai sensi dell'art. 4 comma 3 del d.lgs. 219/2010, con Delibera n°2 del Comitato Istituzionale Integrato del 3 marzo 2016 (Competent Authority ADB Nazionale Liri-Garigliano e Volturno).

Il PGRA ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate, tenendo conto delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato e sulla base delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni, le misure di prevenzione, di protezione, di preparazione e di risposta e ripristino finalizzate alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio.

La rappresentazione della pericolosità avviene attraverso tre classi in funzione della frequenza di accadimento come di seguito specificato:

- *Pericolosità da alluvione elevata (P3)* corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno TR minore/uguale a 30 anni (è la classe con maggior frequenza di accadimento);
- *Pericolosità da alluvione media (P2)* corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni;
- *Pericolosità da alluvione bassa (P1)* corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale

Come si può osservare dall'allegato stralcio planimetrico le opere in progetto non ricadono in aree interessate dalle fasce di pericolosità del Piano. Da segnalare il punto/area di eventuale crisi idraulica cartografato in corrispondenza della confluenza in mare del Fosso Cacchione, a valle del tracciato autostradale (Figura 7-5).

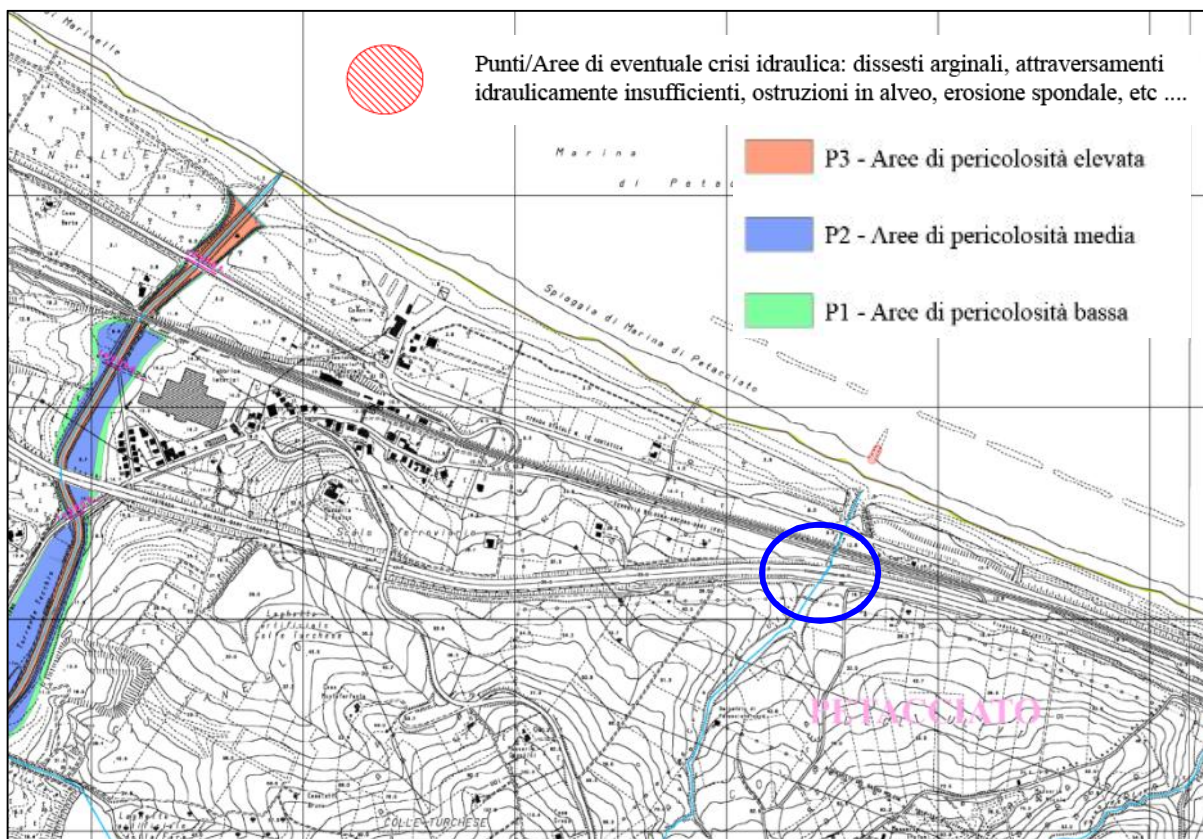


Figura 7-5. Piano di Gestione del Rischio di Alluvione – Mappa della Pericolosità Idraulica – TAV. 52P. Il cerchio blu individua l'area interessata dalle opere in progetto.

7.2.4 Inventario Fenomeni franosi in Italia (Progetto IFFI)

Il Progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia), promosso dal Comitato dei Ministri per la Difesa del Suolo (ex legge 183/89), nasce dalla esigenza di fornire un quadro completo ed aggiornato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale, attraverso la raccolta e l'omogeneizzazione dei dati e di offrire uno strumento conoscitivo di base per la valutazione del rischio da frana, per la programmazione degli interventi di difesa del suolo e per la pianificazione territoriale a scala nazionale e locale.

Il progetto, realizzato per conto del Servizio Geologico - ISPRA con l'ausilio delle Regioni e Province autonome, costituisce il primo inventario omogeneo e aggiornato dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale. L'inventario dei fenomeni franosi rappresenta, un utile strumento conoscitivo per la valutazione della pericolosità da frana e, più in generale, come supporto alle decisioni da operare in ambito territoriale.

Lo stralcio cartografico allegato, evidenzia la complessità del fenomeno franoso che interessa tutto il versante nord – orientale a valle dell'abitato di Petacciato; il dissesto è caratterizzato dalla presenza di due corpi di frana principali di tipo complesso e da numerosi corpi "secondari" con tipologia da complesso a scivolamento a colamento lento.

Il Fosso degli Ulivi, su cui si imposta il viadotto Cacchione, rappresenta il limite occidentale del corpo di frana principale che si sviluppa a valle dell'abitato di Petacciato, oltre a questo, sia in sinistra che in destra idrografica del fosso, sono stati cartografati diversi corpi di frana tutti con stato di attività quiescente e la cui causa è stata attribuita a "precipitazioni breve ed intense / precipitazioni eccezionali prolungate" (Figura 7-6).

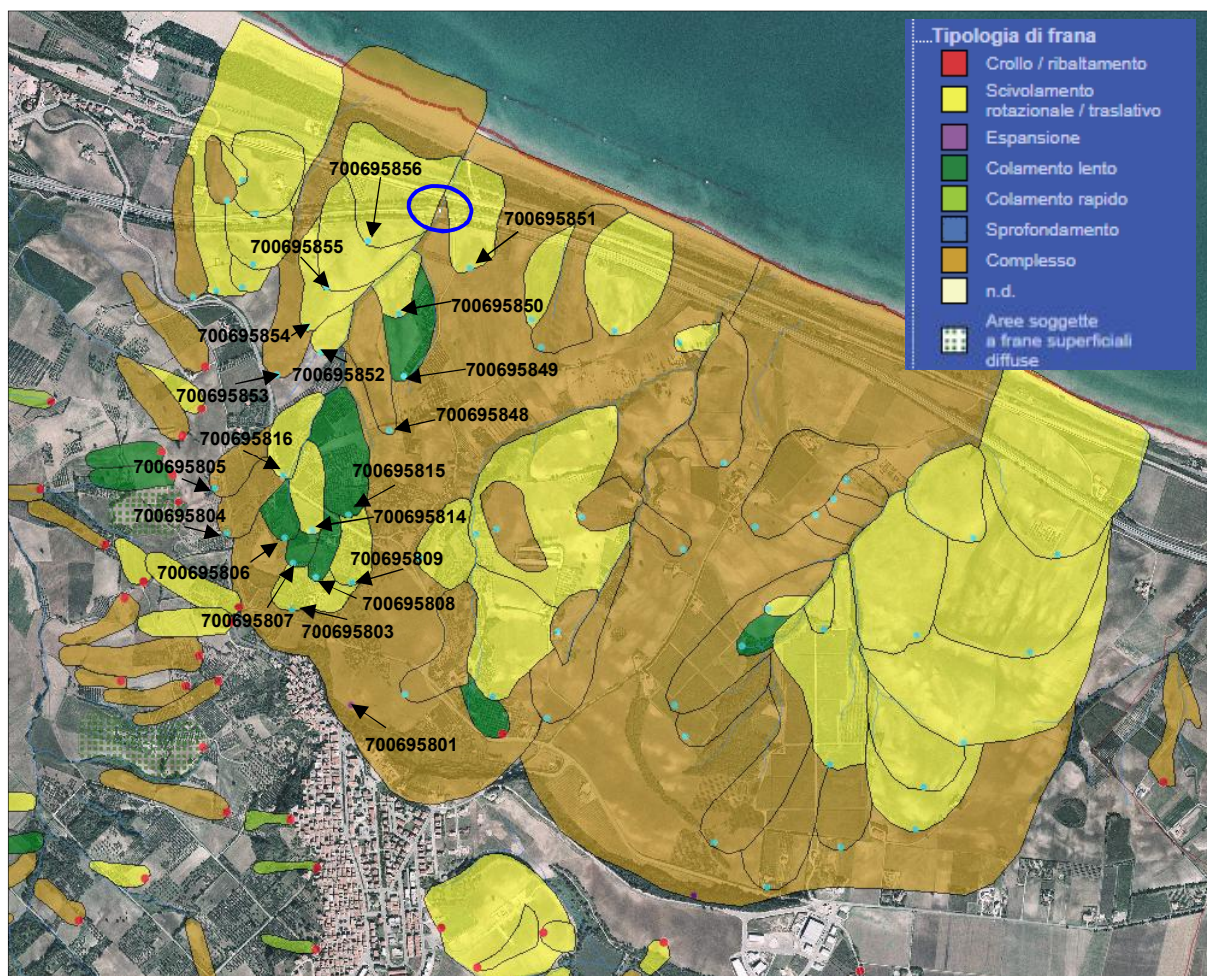


Figura 7-6. Sinanet Progetto IFFI (accesso dell'aprile 2019). Il cerchio blu individua l'area interessata dalle opere in progetto (Viadotto Cacchione).

Di seguito si riporta una tabella di sintesi estrapolata dalla banca dati del progetto IFFI (SINAnet-ISPRA) relativa ai corpi di frana cartografati a monte del viadotto Cacchione, i cui codici sono rappresentati in Figura 7-6, tutti i corpi censiti presentano uno stato di attività quiescente (Regione Molise, Provincia di Campobasso, Comune di Petacciato, Autorità di Distretto Appennino Meridionale)

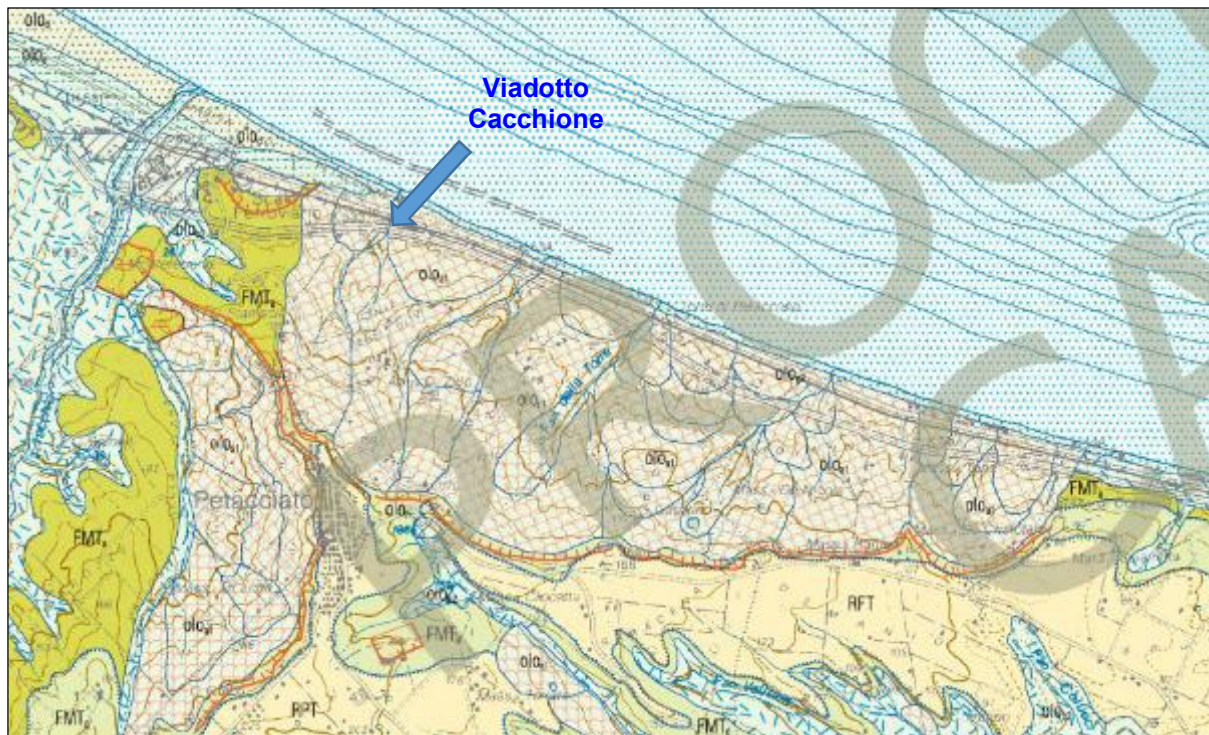
Solo per il corpo di frana principale (cod. 700695801) sono segnalati i danni causati (Nuclei/centri abitati, Strade, Ferrovie), le date dell'evento (1906, 1926, 1916-01-23, 1936-02-09, 1938-02-07, 1954, 1955-03, 1956-03-24, 1959-03-15, 1960-02-10, 1979-03-07, 1991-01-22, 1991-06-30, 1996-03-14) e gli interventi di ripristino (canalette superficiali, consolidamenti, edifici, pali); negli altri casi queste informazioni non sono state determinate.

IDFrana	Tipo di movimento	Litologia	Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività	Area della frana (m ²)	Causa
700695801	Complesso	Terreni prev. sabbiosi	Fotointerpretazione, Rilevamento sul terreno	1101562	materiale debole, imbibizione/disseccamento, erosione marina base versante, precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695848	Complesso	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	44768	Precipit. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695849	Colamento lento	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	36794	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695850	Scivolamento rotazionale/traslato	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	21576	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695851	Scivolamento rotazionale/traslato	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	55659	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695852	Scivolamento rotazionale/traslato	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	13981	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695853	Complesso	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	194920	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695854	Scivolamento rotazionale/traslato	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	29855	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695855	Scivolamento rotazionale/traslato	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	59009	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695856	Scivolamento rotazionale/traslato	Prev. argillosi	Fotointerpretazione	99732	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695803	Scivolamento rotazionale/traslato	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	29670	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695804	Complesso	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	28377	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695805	Complesso	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	22819	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695806	Colamento lento	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	15777	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695807	Colamento lento	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	9389	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695808	Colamento lento	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	15074	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695809	Scivolamento rotazionale/traslato	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	25313	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate

IDFrana	Tipo di movimento	Litologia	Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività'	Area della frana (m ²)	Causa
700695814	Scivolamento rotazionale/traslatoivo	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	27024	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate
700695816	Scivolamento rotazionale/traslatoivo	Prev. argillosi	Fotointerpretazione, Rilevamento	29475	precipitaz. brevi ed intense, precipitaz. eccezionali prolungate


7.2.5 Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Progetto CARG)

Di seguito si riporta uno stralcio della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Foglio 372 Vasto) dove è cartografata l'area interessata dalla "Grande Frana di Petacciato" che coinvolge tutto il versante nord - orientale a valle dell'abitato di Petacciato e alla cui base si collocano le opere in progetto (Figura 7-7).



Depositi olocenici

Depositi di frana poligenici in assetto caotico. In generale sono formati da blocchi conglomeratici, imballati in depositi sabbioso-argillosi (nelle aree di affioramento della Successione marina del Pliocene superiore - Pleistocene), o da blocchi di calcari o gessi di dimensione fino a decametrica, imballati in terreni argillosi grigi (nelle aree di affioramento dell'Unità del F. Treste) (olo₁).

 orlo di scarpata di frana

 a, Deposito di frana

Figura 7-7. Stralcio Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 372 Vasto.

7.2.6 Piano Regolatore Comune di Petacciato

Con delibera c.c. n. 37/2013 il comune di Petacciato ha adottato le misure su salvaguardia idrogeologica apportate alla variante generale, in seguito al movimento franoso del marzo 2015.

Tra i documenti di piano consultati, si segnala l'elaborato 1a "Riperimetrazione del Movimento Franoso" (Maggio 2016) resosi necessaria a seguito dell'evento franoso del 18/03/2015.

Nella relazione, tra le altre cose, si riporta: "Sul Viadotto Cacchione, inoltre, il movimento franoso ha provocato un taglio e un dislivello superiore ai 15 cm, che ha obbligato prima la chiusura dell'intera arteria autostradale, poi la riapertura parziale di una sola carreggiata, quella sud, con doppio senso di marcia. Sempre restando nell'ambito del piede della frana, movimenti significativi si sono avuti anche sui binari della strada ferrata NO-BA che dopo un momento di fermo del traffico ferroviario, è stata ripristinata ma con grossi rallentamenti... Sulla spiaggia si sono avute delle fuoriuscite delle argille limose e sabbiose tipo vulcani dovute alle sovrappressioni e liquefazione delle argille sabbiose di base...". Danni significativi fino a determinarne l'interruzione si sono avuti anche sulla condotta idrica del Consorzio di Bonifica. Per quanto riguarda il coronamento della frana, lo stesso ha avuto un'espansione laterale ed un arretramento significativo".

Di seguito si riporta uno stralcio della cartografia relativa alla riperimetrazione del movimento franoso prima (Figura 7-8) e dopo l'evento del 18/03/2015 (Figura 7-9) (PRG: Tavola F e Tavola G, maggio 2016).

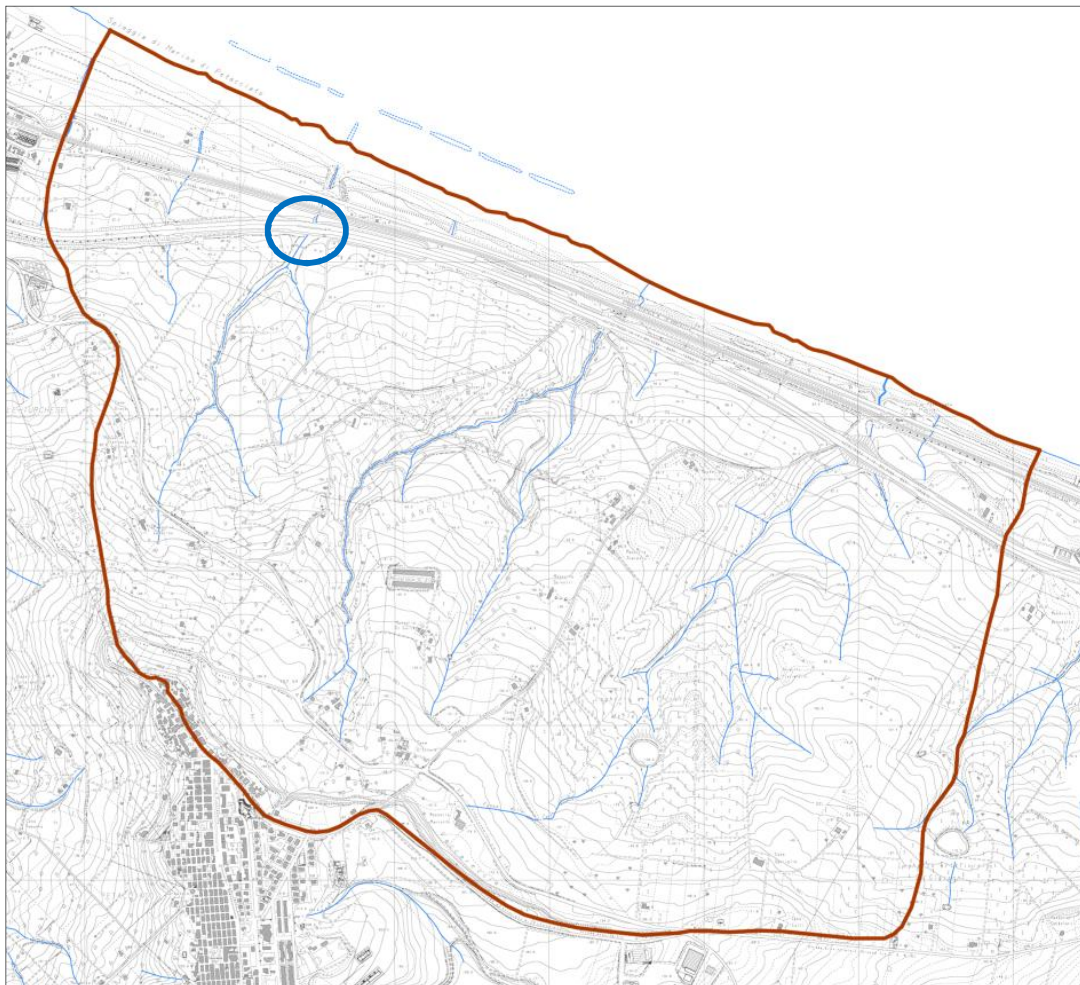


Figura 7-8. Comune di Petacciato – Riadozione Variante al Piano Regolatore Generale - Tav. F - Carta della perimetrazione del movimento franoso prima dell'evento del 18/03/2015, maggio 2016. Il cerchio azzurro individua la zona interessata dalle opere in progetto (viadotto Cacchione).

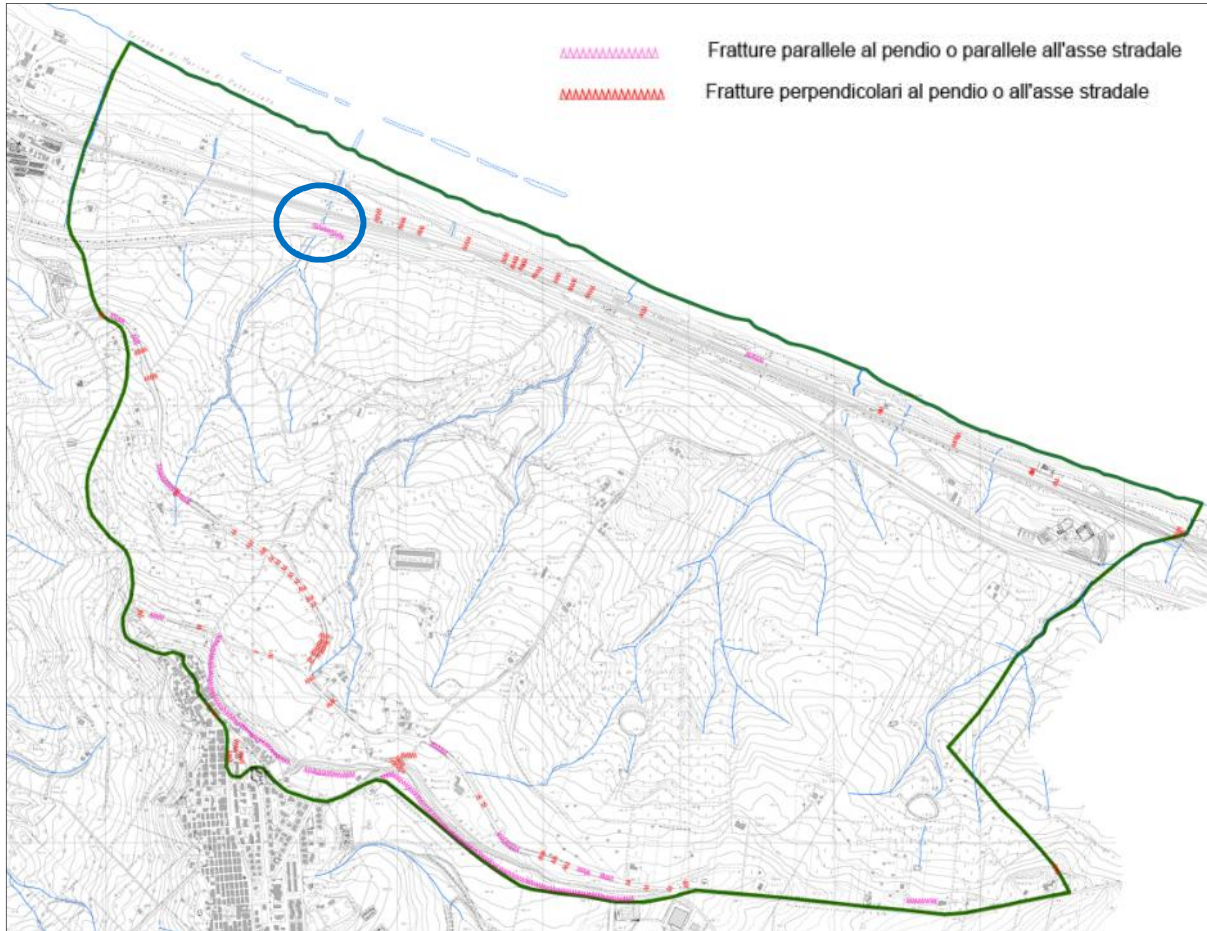


Figura 7-9. Comune di Petacciato – Riadozione Variante al Piano Regolatore Generale - Tav. G - Carta della perimetrazione del movimento franoso dopo l'evento del 18/03/2015, maggio 2016. Il cerchio azzurro individua la zona interessata dalle opere in progetto (viadotto Cacchione).

Con riferimento alla tavola C2 "Carta d'Uso del Suolo o delle penalità ai fini edificatori" si segnala che le opere in progetto ricadono in un'area classificata come "Terreno Pessimo" per la quale "L'edificabilità è preclusa per l'elevatissima penalizzazione: pendio acclive; reale possibilità di frane. Aree con presenza di fenomeni di dissesto, diffuso dissesto geologico idraulico, drenaggio impedito e frequenti condizioni di saturazione del terreno interventi previsti ai sensi dell'Art. 2 Delib. 103 del 29 Settembre 2006 Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore". (Figura 7-10).



TERRENO PESSIMO - L'edificabilità è preclusa per l'elevatissima penalizzazione : pendio acclive; reale possibilità di frane. Aree con presenza di fenomeni di dissesto, diffuso dissesto geologico idraulico, drenaggio impedito e frequenti condizioni di saturazione del terreno interventi previsti ai sensi dell'Art.2 Dellb.103 del 29 Settembre 2006 Autorità di Bacino del Fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore.

Figura 7-10. Comune di Petacciato – Riadozione Variante al Piano Regolatore Generale - Tav. C2 – Carta d'Uso del Suolo o delle Penalità ai fini edificatori. Il cerchio blu individua la zona interessata dalle opere in progetto (viadotto Cacchione).

Dal punto di vista geomorfologico, il versante nord – orientale a valle dell'abitato di Petacciato è interessato da un corpo di frana con stato di attività quiescente. Nella relazione geologica, elaborato n. 1b "Relazione Geologica Redatta ai sensi della l.r. n. 20 del 6 giugno 1996 – maggio 2016" si riporta:

"... la morfologia derivante dalla modellazione e dalla evoluzione dei versanti, è per lo più di tipo franoso. Ad alta densità si riscontrano frane posizionate maggiormente lungo le pendici vallive dei corsi d'acqua e dove l'azione antropica ha effettuato disboscamenti e modellazioni del reticolo idrografico originario naturale. Particolare rilevanza nel territorio allo studio assume il movimento franoso esteso in tutta la zona nord del centro abitato. Questo fenomeno interessa un'area estesa per circa 4.000.000 m² ove insiste una densità abitativa di 25 abitanti ogni 1.000.000 m². All'interno dell'area dissestata si individuano diversi movimenti franosi verificatisi in tempi e modi diversi, di conseguenza la configurazione morfologica dell'area in frana ha subito continue modificazioni nel tempo. Infatti notizie storiche certe sul verificarsi dei movimenti franosi si hanno dal 1906, di conseguenza le evidenze morfologiche osservate permettono di affermare che la gran parte dei fenomeni franosi sono molto antichi e che nel corso degli anni, hanno subito periodiche e locali riattivazioni. Tali riattivazioni nella maggior parte dei casi hanno prodotto variazioni morfologiche evidenti con il locale arretramento del coronamento. La placca sabbiosa ove sorge l'attuale abitato di Petacciato senz'altro abbia avuto una maggiore estensione sia verso nord che verso sud, presumibilmente variata a seguito sia di attività antropiche che di eventi franosi a carattere retrogressivo che hanno coinvolto porzioni di versante sempre più interne. Esso si presenta con un coronamento di testata lungo circa 2,5 Km, con profondità dei piani di rottura che interessano le argille di base stimata da studi specifici variabile fino a profondità di oltre 60 m, nell'area di testata, e stimate fino a oltre 100 m, in avvicinamento alla costa. Il profilo longitudinale del pendio presenta un'inclinazione di 5°-7°, ed eccezionalmente raggiunge i 10°. Esso è caratterizzato da scarpate e linee di rottura principali e secondarie, limiti dei corpi di frana, depressioni o conche di frana, superfici ruotate contromonte, spostamenti laterali, sollevamenti, rughe di compressione, terrazzi di frana. Al piede in corrispondenza della linea di costa risulta emersa dalle sabbie una "lingua" di argilla, rappresentante il piede di una delle superfici di rottura, nonché alcuni piccoli crateri di acqua e melma argillosa. Sembra sollevato anche il cordone di dune. Lo scoglio

conglomeratico di fronte al viadotto Marinella sembra si sia “avvicinato” alla costa di una diecina di metri per effetto del sollevamento del fondale marino dovuto al movimento franoso. Infine, per l'interpretazione del meccanismo del movimento franoso è interessante tener presente che i segni di rimobilizzazione spesso si sono verificati prima al piede del pendio e poi si sono propagati verso monte, fino all'abitato di Petacciato, come ad esempio per gli eventi del 1979 e 1991. Nel settore ovest dell'abitato si rilevano altresì frane con tipo di movimento dal crollo (interessanti le sabbie costituenti il bedrock, cioè la base del nucleo urbano) e di tipo scivolamento-rotazionale nelle argille poste più a valle. Anche nei settori sud-est e sud-ovest si rinvencono aree con concentrazione mediamente elevata di fenomeni gravitativi che interessano principalmente le sponde dei valloni impiantati su terreni argillosi. In corrispondenza delle confluenze e delle immissioni dei valloni e rigagnoli negli affluenti e corsi d'acqua maggiori si rinvencono delle piccole conoidi alluvionali costituite da depositi limosi, sabbiosi-ghiaiosi”.

Di seguito si riporta uno stralcio della carta geomorfologica annessa ai documenti di pianto relativo alla porzione di versante in cui si collocano le opere in progetto (TAV.A2), il retino arancione indica la presenza di una frana di tipo quiescente (Figura 7-11).

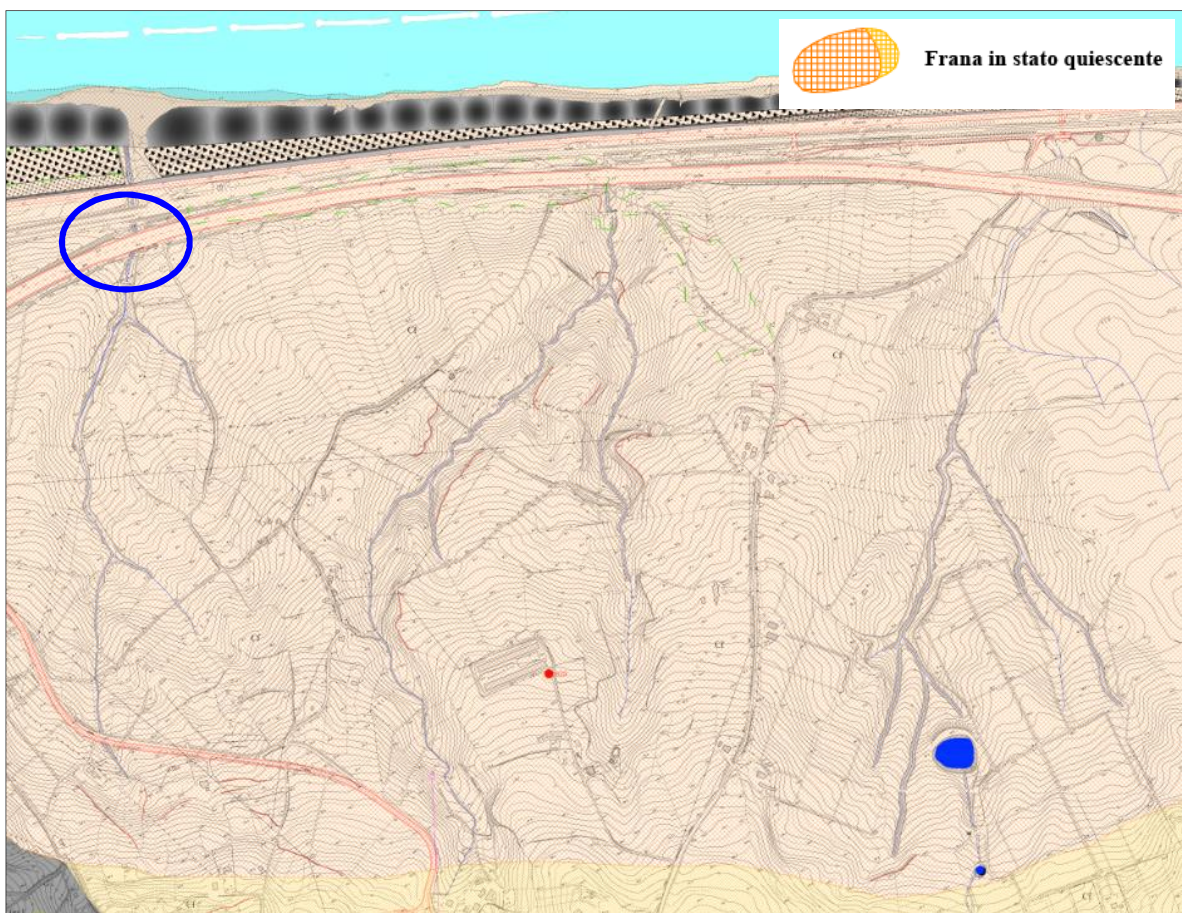


Figura 7-11. Comune di Petacciato – Riadozione Variante al Piano Regolatore Generale - Tav. A2 – Carta Geomorfologica con Ubicazione Indagini Geognostiche. Il cerchio blu individua la zona interessata dalle opere in progetto (viadotto Cacchione).

7.2.7 Provincia di Campobasso (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – PTCP)

Con riferimento alla “Matrice ambientale” del PTCP di Campobasso, si riporta quanto segue: “ Tra i più importanti processi di evoluzione morfologica di evidenza ...deformazioni gravitative profonde tra le quali abbiamo la frana di Petacciato...”

Di seguito si riporta uno stralcio della “Carta della Pericolosità” inserita tra i documenti del P.T.C.P. come “Tavola di Analisi” della Componente Ambientale. Nell’elaborato, tutta l’area interessata dalla frana di Petacciato è stata classificata a “Pericolosità Elevata” da P.A.I. (Figura 7-12).

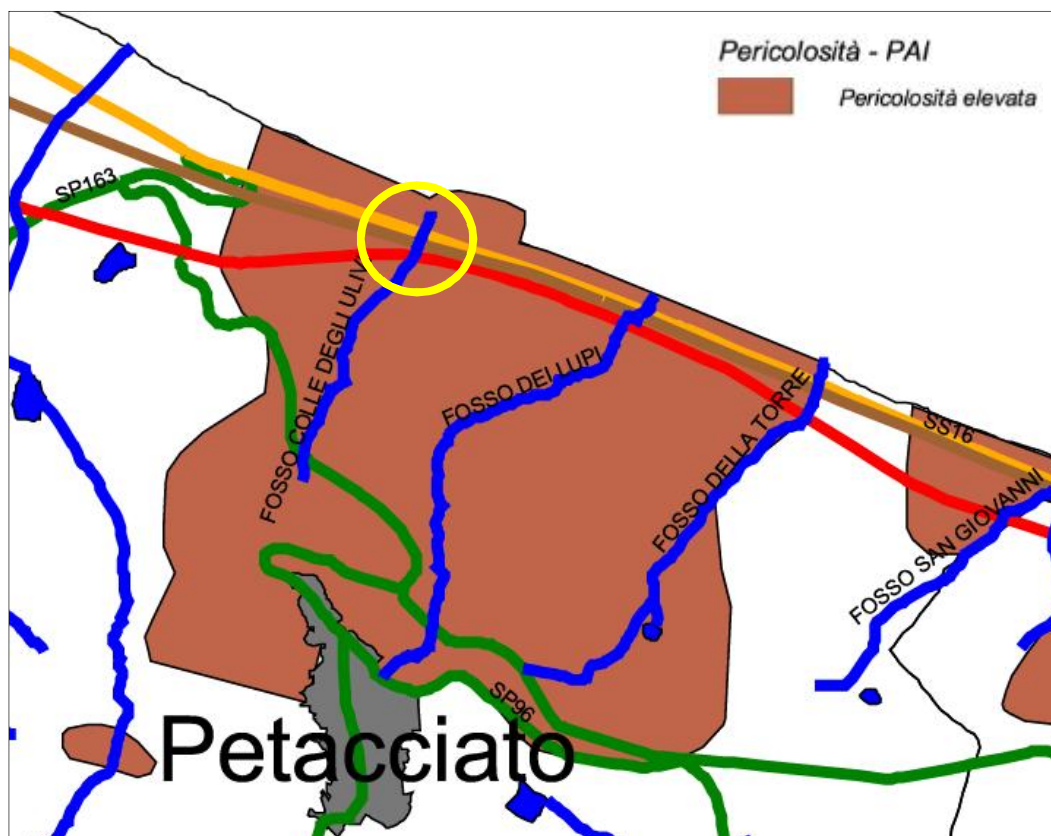


Figura 7-12 Provincia di Campobasso – PTCP “Il Percorso per lo Sviluppo Sostenibile del Molise – Matrice Ambientale – TAV.A Carta della Pericolosità (accesso dell’aprile 2019). Il cerchio giallo individua la zona interessata dalle opere in progetto.

“Gli elaborati sono base di studio per la redazione del PTCP e poiché sono suscettibili di ulteriori approfondimenti non sono da ritenersi documenti ufficiali ai fini di un eventuale utilizzo per altri scopi. Uso amministrativo interno. Divulgazione e riproduzione vietata. Formato PDF. Realizzazione CD Ufficio di Piano”.

8 LA GRANDE FRANA DI PETACCIATO

8.1 CARATTERISTICHE GENERALI

La frana di Petacciato, si sviluppa sul versante costiero dell'abitato per un'ampiezza di quasi 7 km trasversalmente e quasi 2 km longitudinalmente al movimento; con un dislivello superiore ai 200 m, risulta la frana più estesa della regione. I suoi limiti storici sono compresi fra la foce del Torrente Tecchio a Ovest e la stazione ferroviaria di Coppella a Est, e fra l'abitato di Petacciato e il mare Adriatico.

Il versante presenta una generale direzione ONO-ESE e alla sua sommità, lungo i bordi del tavolato su cui è posto l'abitato, si osserva una netta scarpata lunga oltre 3 km, con un'altezza variabile che arriva fino a 10 m e una forma costituita da una serie di archi che delineano corone di frana contigue e che testimoniano il progressivo arretramento del ciglio.

Dalla base della scarpata fino alla costa si osserva un versante a debole pendenza (5-7° massimo 10°), con morfologia ondulata, mammellonare, caratterizzato da una serie di contropendenze e di scarpate successive, riferibili a corone di frana secondarie all'interno del corpo principale, organizzate in diversi ordini. In corrispondenza delle contropendenze possono formarsi locali ristagni da acqua. Le geometrie di superficie suggeriscono quindi l'esistenza di una superficie di scorrimento profonda. Il movimento arriva ad interessare una porzione del fondale marino sommersa; nei pressi della costa gli scorrimenti rotazionali hanno determinato un sollevamento e basculamento delle dune e lungo la linea di riva l'espulsione di lembi di argilla del substrato (vedi elaborati GEO0005 e GEO0006).

Nelle aree di affioramento delle litologie sabbioso-arenacee e conglomeratiche, la presenza di blocchi e di contropendenze ha determinato la formazione di stagni con diametro anche dell'ordine dei 50-80 m alimentati anche artificialmente per scopo irriguo.

Nel corpo di frana esistono alcune sorgenti di contatto che si sviluppano al passaggio fra la formazione sabbioso-arenacea e la sottostante unità argillosa.

Su tutta questa zona sono presenti evidenze riferibili a movimenti del versante, molte sono le abitazioni, le recinzioni e le strade che presentano lesioni minori e fessurazioni. Indicativa anche l'osservazione della posizione assunta dai tronchi delle piante, in particolare ulivi, che sono tipicamente arcuati ed inclinati a sottolineare lenti movimenti gravitativi con direzioni anche differenti.

La rete idrografica è poco sviluppata, caratterizzata da vallecole incise nei tratti più cementati ed arenacei, con un andamento da S a N passante a SSO-NNE.

Le testimonianze storiche sulle varie rimobilitazioni dei movimenti franosi sul versante costiero dell'abitato di Petacciato, risalgono all'inizio del secolo e da allora sono documentati almeno 15 eventi di attivazione (1906, 1916, 1932, 1936, 1938, 1953, 1954, 1955, 1956, 1960, 1979, 1991, 1996, 2009 e nel 2015); con ogni probabilità, in base ai caratteri geomorfologici, si tratta di eventi franosi molto più antichi (A. Guerricchio, G. Melidoro, V Simeone, 1996).

L'immagine seguente riporta alcuni dei principali eventi elencati sopra (Figura 8-1/Figura 8-2).

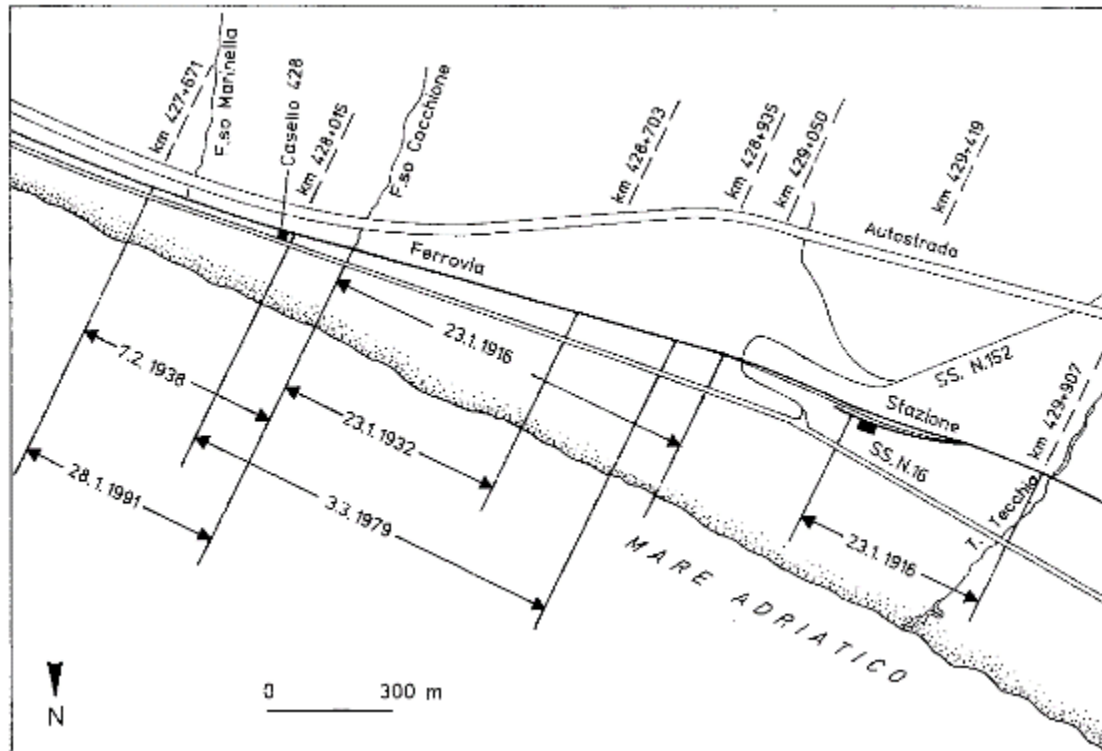


Figura 8-1. Indicazione schematica della larghezza dei movimenti franosi valutata in corrispondenza della ferrovia, con la data dell'evento (da A. Guerricchio at alii, 1996).

Studi pregressi, confermano la presenza di superfici di scorrimento profonde, fino oltre 80 metri sotto il piano campagna. Il meccanismo ricostruito per la frana è attribuibile ad un movimento di genesi complessa per la coesistenza di vari cinematismi osservabili nelle diverse zone a differente litologia; sembra prevalere tuttavia un movimento per scorrimento rototraslativo, almeno per le componenti principali della frana, evidenziato da contropendenze rilevabili lungo tutto il corpo (Fiorillo, 2003).

La causa dei dissesti può essere identificata nelle caratteristiche lito-strutturali. Per quanto riguarda i caratteri litologici, quest'area è impostata sui diversi termini della Formazione di Mutignano (FMT); dal livello attuale del mare fino a 120-130 m risulta caratterizzata dai depositi argillosi (associazione pelitico – sabbiosa FMTa), che gradualmente passano verso l'alto a termini con una maggiore componente sabbiosa (associazione sabbioso – conglomeratica FMTd). Dai 180 ai 230 m di quota sono presenti le sabbie gialle (associazione sabbioso – conglomeratica); localmente la successione litostratigrafica è chiusa da conglomerati di transizione al continentale (Argille e conglomerati di Ripa Teatina - RPT). Un altro elemento di forte influenza sui movimenti sembrano essere le precipitazioni (Gori & Mezzabotta, 1995), che si avverte sia per lunghi periodi caratterizzati da scarsa piovosità (1965-1979), quindi con elevati tempi di ritorno delle precipitazioni, sia per periodi caratterizzati da piogge abbondanti e concentrate (1951-1959). Un ulteriore importante ruolo è svolto dall'intensa deforestazione avvenuta tra la fine dello scorso secolo e l'inizio del 1900, che ha aggravato le condizioni di stabilità del versante.

I dati storici (da A. Guerricchio at alii, 1996), suggeriscono movimenti di versante caratterizzati da attivazioni parziali che hanno interessato soprattutto la porzione occidentale del corpo di frana principale, in particolare:

- 23.01.1916 (ore 8) - Dagli atti esistenti presso l'Ufficio della Sezione Lavori di Pescara delle Ferrovie dello Stato, il movimento franoso ha prodotto lo spostamento del binario dal km 428+190 al km 429+050 e dal km 429+419 al km 429+907, con una freccia massima verso mare di 0.60 m.
- 23.01.1932 (mattino) - Da una relazione redatta dal Comune sulla frana che minacciava la vecchia borgata di Petacciato, si rileva che il movimento franoso ha reso inabitabile parecchie case della vecchia borgata di Petacciato; tale movimento franoso ha avuto ripercussioni anche

sulla ferrovia al piede del versante provocando lo spostamento del binario dal km 428+175 al km 428+700. E' più o meno una rimobilitazione di quella del 1916.

- 09.02.1936 - Notevoli movimenti.
- 07.02.1938 (ore 17) - Dall'ufficio del Genio Civile viene segnalata alla Prefettura una frana che lambisce le prime case del vecchio borgo di Petacciato per una larghezza al coronamento di circa 2 km e per un tratto della linea ferroviaria di 0.5 km con freccia massima di 0.60 m in corrispondenza del casello ferroviario del km 428. Le lesioni dei fabbricati hanno ripreso per lo più quelle delle manifestazioni precedenti; è stata interessata in più punti la vecchia strada statale 16, che scende da Petacciato. Si sono manifestate altresì lesioni sul terreno per una vasta estensione.
- 15-16.03.1953 - Dai documenti del Genio Civile risulta che sono state coinvolte tutte le strade tra l'abitato e il mare. Anche la linea ferroviaria ha subito danneggiamenti.
- Nel 1954, 1955, 1956 e 1960 ci sono state riattivazioni dei movimenti franosi precedenti.
- 03.03.1979 - In un rapporto redatto per Ferrovie dello Stato, Ventriglia (1981) riporta movimenti franosi che hanno interessato la ferrovia tra i due fossi Cacchione e Marinella, con uno spostamento massimo dei binari di 0.30 m, ed i viadotti dell'Autostrada A14. Successivamente, il 7-8 marzo il movimento si è manifestato nella parte alta, interessando l'abitato. La propagazione del movimento è avvenuta quindi da basso verso l'alto del versante. Nell'aprile del 1979 si sono verificati movimenti franosi tra le progr. Km 428 e 429, circa in corrispondenza dei due fossi. A seguito di tale movimento franoso sono scaturite:
 - le campagne di indagine delle Ferrovie dello Stato del 1981 e del 1983, nonché il progetto e la realizzazione di opere di sostegno interrato (pozzi di lunghezza 30-40 m)
 - il progetto e la realizzazione da parte di SPEA ed Autostrade di un'opera di sostegno interrato a monte della spalla lato Bari del viadotto Cacchione. Tale opera è costituita da una doppia fila di pali trivellati di diametro Φ 1500 e lunghezza 30 m, tirantati (Appendice 3).
- 28.01.1991 - Il fenomeno che si è verificato la notte del 28 gennaio 1991 ha interessato il versante destro del torrente Cacchione, poco più a Est dell'area interessata dal fenomeno del 1979, provocando numerosi danni all'abitato di Petacciato e l'interruzione temporanea delle principali vie di comunicazione costiera (autostrada, ferrovia e strada statale). Con questo evento, si sono avuti segni di riattivazione del grande corpo di frana antica, che da Petacciato si sviluppa per una lunghezza superiore ai 2 km e uno sviluppo dell'antico ciglio di circa 1 km. Tra le infrastrutture presenti alla base del versante, il più danneggiato è stato il viadotto Cacchione dell'autostrada in quanto il lato sinistro della parte rimobilitata passa proprio per il fosso omonimo, dove si sono prodotte divaricazioni dei giunti con rotazione degli appoggi con fessurazione della pavimentazione stradale, meno dissestato è stato il viadotto Marinella. Il 29.06.1991 si sono avuti alcuni segni di riattivazione.
- 14-15.03.1996 - Lenta riattivazione del movimento franoso
- 20.02.2009 (notte) - Il fenomeno franoso ha interessato il versante destro del torrente Cacchione, Il giorno 20 Febbraio 2009, alle ore 19.00 circa, l'area di frana si è riattivata coinvolgendo l'abitato di Petacciato, la viabilità comunale, l'infrastruttura autostradale (A14), quelle sottostanti ferroviarie (linea Ancona-Bari) e la Strada Statale N. 16. Le evidenze e gli effetti causati da tale riattivazione sono descritte in dettaglio nel paragrafo 8.3.

Oltre agli eventi storicamente documentati ne sono avvenuti altri, di cui si è persa la memoria e di cui rimangono solo alcune tracce come vecchie nicchie di distacco o la presenza di grossi massi conglomeratici, testimoni di antichi crolli della falesia e di lenti movimenti del versante verso il mare.

È importante osservare che, nonostante la presenza delle opere di sostegno interrato realizzate da Ferrovie dello Stato e dalla Società Autostrade successivamente all'evento franoso del 1979, nel corso della riattivazione del 1991 i binari ferroviari, le spalle e la pila del viadotto Cacchione hanno subito rilevanti spostamenti. Ciò è una chiara indicazione del fatto che i movimenti franosi nell'area in oggetto possono avvenire anche lungo superfici di scorrimento poste a profondità maggiori di 30 m dal p.c. (vedi anche i risultati del monitoraggio inclinometrico descritti nel paragrafo 7.2.3).

8.2 EVIDENZE GEOMORFOLOGICHE DELLA RIATTIVAZIONE DEL 1991

Di seguito si riporta una sintesi delle principali evidenze relative all'evento franoso del 1991. Le osservazioni si basano sia sulle evidenze dei rilievi condotti in sito nel periodo (luglio-agosto 1991) sia sui dati geognostici emersi durante il periodo di assistenza alle indagini (febbraio-aprile 1991). Per quanto concerne i rilievi di campagna, l'intensa attività agricola e i lavori condotti per ripristinare le condizioni precedenti al dissesto, hanno in parte obliterato alcuni elementi utili ai fini della ricostruzione geologica dell'evento franoso.

Di seguito si descrive quanto osservato procedendo dall'abitato di Petacciato verso valle, per i riferimenti di dettaglio si rimanda all'elaborato GEO0005 (Carta delle evidenze geomorfologiche della riattivazione del movimento franoso del gennaio 1991).

8.2.1 Zona dell'abitato di Petacciato

L'abitato di Petacciato sorge su un tavolato al bordo di un'antica falesia che raggiunge quote di circa 220 m slm. Le litologie affioranti sono costituite prevalentemente da sabbie giallastre passanti ad arenarie più o meno cementate con livelli conglomeratici nella parte sommitale della serie. La formazione immerge blandamente verso Est con pendenze inferiori ai 10 gradi.

Il fenomeno franoso ha provocato il distacco di alcune porzioni di falesia, tale distacco si è originato in corrispondenza di alcune fratture caratterizzate da elevata continuità laterale e sviluppo parallelo al fronte con il conseguente e progressivo arretramento del suo margine.

In particolare, nel piazzale panoramico antistante la vecchia chiesa parrocchiale si è aperta una profonda lesione (Figura 8-2 – F1), larga da 20 ad 80 cm, che si sviluppa con direzione prevalente verso NO interessando le proprietà poste in prossimità del ciglio (Figura 8-3 – F2) e perdendosi nel detrito che si accumula ai piedi della scarpata (Figura 8-4 – F3), dopo uno sviluppo continuo di circa 200 metri.

L'apertura di questa fessura ha interessato, oltre al piazzale, anche parte delle abitazioni vicine. Alcune evidenze della stessa sono riconoscibili anche verso oriente (dal piazzale panoramico davanti alla chiesa), in forma di lesioni ai fabbricati e di alcune fratture per rilascio tensionale al bordo della scarpata; queste ultime tendono a isolare dei prismi di materiale arenaceo in equilibrio precario (Figura 8-5 – F4).



Figura 8-2. Lesione in zona di coronamento (foto del 7 febbraio c.a.)



Figura 8-3 Sviluppo verso est della lesione.



Figura 8-4 Lesione in zona di coronamento, porzione orientale (foto del 7 febbraio c.a.).

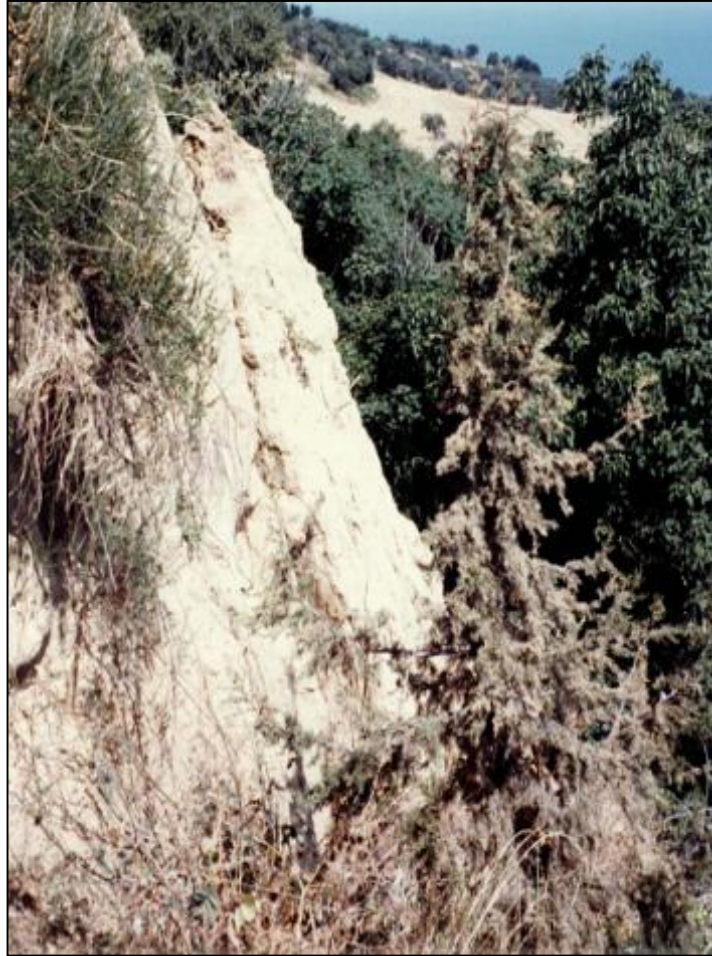


Figura 8-5 Prisma di materiale arenaceo in equilibrio precario.

Proseguendo lungo il coronamento della frana in direzione Est (verso Termoli), sono riconoscibili in modo abbastanza continuo gli stessi episodi di distacco e di abbassamento del ciglio, per uno sviluppo complessivo del fronte interessato di circa 2 km.

Questi fenomeni assumono particolare importanza nelle seguenti località:

- Cava della Ripa, dove una serie di fratture e dislocazioni hanno interrotto la strada che dalla piana di Trance prosegue in direzione NE, creando una serie di terrazzamenti (Figura 8-6 – F5) con un rigetto massimo superiore ad un metro (Figura 8-7 – F6). Queste lesioni si presentano in continuità con una serie di gradini morfologici già esistenti e parzialmente coinvolti dal nuovo evento franoso. Lo spostamento verso valle di questi terrazzi ha provocato la caduta di alcuni pali della rete di distribuzione elettrica, insieme ad altri piccoli dissesti sulla scarpata arenacea.
- Vaccareccia, lungo la strada che corre al margine della scarpata, dove si è creata una lunga fessura curvilinea, continua per almeno 200 m, con un rigetto superiore al metro e della larghezza di parecchi decimetri (Figura 8-8 – F7).



Figura 8-6 Località Cava della Ripa –Lesioni sulla strada (F5).



Figura 8-7 Località Cava della Ripa – Particolare strada e smottamento falesia (F6).



Figura 8-8 Località Vaccareccia – Lesione sulla strada di forma concava ad arco (F7).

8.2.2 Porzione sommitale del versante a valle della falesia

Nell'area immediatamente a valle della falesia sono osservabili numerose evidenze morfologiche legate movimento franoso; in particolare, nel settore più occidentale, è riconoscibile una cicatrice nel terreno che, quasi in continuità con la frattura precedentemente descritta (Figura 8-8), scende verso valle attraversando la strada che porta a Petacciato. Questa frattura, dopo aver creato un gradino nella strada con rigetto di circa un metro, si articola in alcune brevi ramificazioni, rimanendo facilmente riconoscibile fino alla nuova strada statale sottostante (quota +130 m s.l.m. circa).

Nel terreno, alla base del contrafforte che sostiene il terrazzo panoramico erano visibili, nei primi mesi successivi al movimento in esame (1991), oltre ad una lesione principale sviluppata per almeno 170 m e di grosse dimensioni, altre secondarie, successivamente nascoste dalla crescita della vegetazione (Figura 8-9). Il terreno in adiacenza mostrava evidenti rigonfiamenti. Si osservano anche limitate lesioni strutturali ad un edificio abitativo e ad una recinzione, ubicati nelle vicinanze della nuova strada Statale.

Poco più a occidente, verso il Colle Turchese, si notano dei gradini morfologici legati al fenomeno franoso del 1979 (Figura 8-10).

Verso Est non si rilevano invece evidenze attribuibili con certezza alla frana del 1991, ad eccezione di alcune piccole lesioni nel terreno osservate a suo tempo dai residenti ma oggi scomparse.



Figura 8-9 Fratture ai piedi della scarpata (F8).



Figura 8-10 Gradino morfologico (F9).

8.2.3 Area tra il Colle degli Ulivi ed il torrente Cacchione

E' stata individuata la traccia di una lunga lesione nel terreno che, partendo dai campi a circa 100 m di quota presso Fonte Ravanelli, scende perpendicolarmente alla linea di costa interessando la strada, i muri di sostegno ed una costruzione in costruzione; tale lesione è riconoscibile sia nei manufatti, sia

nel terreno di fondazione della casa (Figura 8-11 - F10 e F11). A valle dell'abitazione lesionata si osserva la continuazione della fessura verso l'impluvio del torrente Cacchione (Figura 8-12 - F12).

La fessura non sembra, nel suo sviluppo, condizionata dalla morfologia preesistente, essendo con ogni probabilità un fenomeno legato ad un movimento profondo; è inoltre riconoscibile la parte in movimento, in quest'area verso NNE. La fessura prosegue finendo per coincidere con il solco vallivo del torrente Cacchione.

Nelle immediate vicinanze dell'omonimo viadotto si moltiplicano le evidenze del movimento e i danni ai manufatti. Il viadotto autostradale, a causa della rotazione della pila centrale, risulta fessurato in diversi punti, inoltre sono stati tranciati e spostati sia i canali per la raccolta delle acque sia il manufatto relativo al acquedotto posto poco più a monte (Figura 8-15 - F15 e Figura 8-16 - F16).

A valle del viadotto si osservano una serie di fratture che interessano in continuità anche i manufatti della ferrovia e della strada statale e che mantengono lo stesso andamento perpendicolare alla linea di costa. I binari ferroviari hanno subito spostamenti verso mare pari a circa 0.3 m nel primo giorno di riattivazione e pari a 0.07 m nei tre giorni successivi (Melidoro & Mazzabotta, 1996).

Verso Est si osservano lesioni anche in corrispondenza del viadotto autostradale Marinella, dove sono riconoscibili fessure con andamento all'incirca parallelo alla costa.

Il versante in sinistra orografica del torrente Cacchione non presenta evidenze della riattivazione pertanto l'impluvio è stato considerato come limite occidentale del movimento franoso del 1991.



Figura 8-11 Località "Fonte Ravanelli" – Lesioni sugli edifici (F10 e F11).



Figura 8-12 Strada vicinale in località "Colle degli Ulivi" – Lesioni sulla pavimentazione (F12).



Figura 8-13 Continuazione a valle della strada della lesione di Figura 8-12 (F13).



Figura 8-14 Particolare della lesione di Figura 8-13 (F14).



Figura 8-15 Lesioni sul rivestimento della canaletta del fosso Cacchione in corrispondenza del viadotto autostradale (F15).



Figura 8-16 Lesioni sulla canaletta di rivestimento del fosso Cacchione in prossimità del viadotto autostradale (F16).



Figura 8-17 Lesioni sulla strada vicinale a valle del viadotto Cacchione (F17).

8.2.4 Area tra il Colle degli Ulivi ed il Fosso della Torre

In tutta questa zona non esistono elementi riconoscibili che siano con certezza attribuibili al movimento franoso del 1991, se si eccettuano alcune lesioni sul manto stradale della Strada Statale in prossimità

della località Torre di Petacciato. É quindi estremamente difficile riconoscere con precisione il limite orientale del fenomeno franoso del 1991, che si può comunque considerare coincidente con il versante destro del Fosso della Torre.

É importante sottolineare che in gran parte di quest'area la formazione argillosa è coperta dalla soprastante unità arenacea, che si presenta in genere come ben cementata e passante a conglomerato (Figura 8-18– F18).

Questa formazione ha spessore dell'ordine di qualche decina di metri nella zona più di monte, mentre si riduce progressivamente a pochi metri verso la costa; è presente su tutta l'area anche se, come indicato dalle diverse condizioni di giacitura, è suddivisa in blocchi che hanno subito una certa rotazione e, almeno nei settori più vicini alla costa, anche una traslazione verso valle.



Figura 8-18 Blocco di conglomerato in località Morgetta (F18).

8.2.5 Zona del litorale

Anche sul litorale sono state osservate evidenze sicuramente legate alla frana del 1991. In particolare, in conseguenza del movimento franoso, è affiorato lungo la zona di battigia un cuneo in argilla lungo circa 10 metri, largo mediamente un metro e di altezza non superiore ai 60 cm (Figura 8-19 – F19). Con il passare del tempo questo materiale è stato asportato dal moto ondoso, fino a scomparire completamente.

In prossimità di questo dosso argilloso, dall'aspetto molto disturbato e contenente diversi piani di taglio, è stato notato, nei primi giorni dopo il verificarsi del movimento franoso, una fuoriuscita, modesta ma continua, di acqua mista a fango.

É inoltre importante notare come in corrispondenza della zona di affioramento delle argille vi siano evidenti rigonfiamenti della retrostante berma sabbiosa e importanti deformazioni a danno della Strada Statale lungo la costa, appena più a monte.

Proseguendo sul litorale verso Termoli non sono state individuate altre emergenze di argilla e/o altri elementi attribuibili all'evento franoso.



Figura 8-19 Linea di battigia – Cuneo di argilla emerso a seguito del movimento franoso (Foto 14 febbraio) (F19).



Figura 8-20 Spiaggia – sollevamento berma in corrispondenza delle argille (F20).

8.3 EVIDENZE GEOMORFOLOGICHE DELLA RIATTIVAZIONE DEL 2009

Di seguito si riporta una sintesi delle principali evidenze relative all'evento franoso del 2009. Le osservazioni si basano sulle evidenze dei rilievi condotti in sito nei giorni del 2-3 Marzo 2009. Per quanto concerne i rilievi di campagna, l'intensa attività agricola e i lavori condotti per ripristinare le condizioni precedenti al dissesto, hanno in parte obliterato alcuni elementi utili ai fini della ricostruzione geologica dell'evento franoso.

Di seguito si descrive quanto osservato procedendo dall'abitato di Petacciato verso valle, per i riferimenti di dettaglio si rimanda all'elaborato GEO0006 (Carta delle evidenze geomorfologiche della riattivazione del movimento franoso del febbraio 2009).

8.3.6 Zona dell'abitato di Petacciato

L'abitato di Petacciato sorge su un tavolato al bordo di un'antica falesia che raggiunge quote di circa 220 m slm. Le litologie affioranti sono costituite prevalentemente da sabbie giallastre passanti ad arenarie più o meno cementate con livelli conglomeratici nella parte sommitale della serie. La formazione immerge blandamente verso Est con pendenze inferiori ai 10 gradi.

L'abitato di Petacciato sorge su un'antica falesia alta fino a 220 m slm, costituita prevalentemente da sabbie giallastre passanti ad arenarie più o meno cementate con livelli conglomeratici nella parte sommitale della serie. La formazione è immersa verso Est con una pendenza inferiore ai 10 gradi.

Il fenomeno franoso ha provocato il distacco di alcune parti della falesia, distacco guidato da alcune fratture ad elevata continuità laterale e sviluppo parallelo al fronte, con il conseguente e progressivo arretramento del suo margine.

In particolare, sul ciglio della scarpata di fronte il piazzale panoramico antistante la vecchia chiesa parrocchiale si sono aperte numerose fratture per rilascio tensionale, che si sviluppano con direzione prevalente verso NO (Figura 8-21 – F1), interessando le proprietà poste sul ciglio e perdendosi nel detrito che si accumula ai piedi della scarpata (Figura 8-22 – F2), dopo uno sviluppo continuo di circa 50 metri.

Il movimento avvenuto in quest'area ha coinvolto, oltre al piazzale, anche parte delle abitazioni più vicine, con lesioni sulle strutture murarie (Figura 8-23 – F3). Alcune evidenze dello stesso sono riconoscibili anche verso oriente sotto forma di alcune fratture nel piazzale antistante la chiesa parrocchiale (Figura 8-24 – F4).

Proseguendo lungo il coronamento della frana in direzione Est (verso Termoli), si possono riconoscere in modo abbastanza continuo gli stessi episodi di distacco e di abbassamento locale del ciglio (Elaborato GEO0006 - Foto 5), per una lunghezza complessiva del fronte interessato di circa 2 km.



Figura 8-21 Fratture sul ciglio della scarpata di fronte alla vecchia chiesa di Petacciato (F.1).



Figura 8-22 Continuazione verso Nord Ovest delle fratture di Figura 8-21 (F.2).



Figura 8-23 Lesioni alle strutture murarie di abitazioni ubicate in prossimità del piazzale (F.3).



Figura 8-24 Continuazione verso Est delle lesioni di Figura 8-21 (F.4).

Questi elementi assumono particolare importanza nelle seguenti due località:

- Area in località Cava della Ripa, dove una serie di fratture e dislocazioni hanno interrotto nuovamente la strada che dalla piana di Trance prosegue in direzione NE, creando una serie di terrazzamenti (Figura 8-25 - F6) con un rigetto massimo superiore ad un metro (Figura 8-26 - F7).

- Area in località Vaccareccia, lungo la strada che corre al margine della scarpata, con una lunga fessura curvilinea, continua per almeno 150 m, con un rigetto superiore al metro e della larghezza di parecchi decimetri (Figura 8-27 - F8).
- Queste linee di rottura sono già state sede di riattivazioni passate ed inoltre sembrano essere contigue con una serie di gradini morfologici esistenti già coinvolti nei precedenti eventi franosi.



Figura 8-25 Località "Cava della Ripa" – ampia lesione sulla strada comunale (F6).



Figura 8-26 Località "Cava della Ripa" – Terrazzamenti lungo il fronte di frana (F7).



Figura 8-27 Località "Vaccareccia" – Lesioni lungo la strada provinciale di Petacciato (F8).

8.3.7 Porzione sommitale del versante a valle della falesia

Nell'area immediatamente a valle della falesia sono osservabili numerose evidenze morfologiche legate movimento franoso; in particolare è possibile riconoscere, nel settore più orientale, una lesione che ha coinvolto oltre alla S.P. litoranea (Figura 8-28- F9) anche alcune porzioni delle abitazioni più vicine (Figura 8-29 - F10).

Evidenze della riattivazione sono riconoscibili spostandosi verso occidente, lungo la S.P. Litoranea, sotto forma di lesioni nella pavimentazione stradale (Figura 8-30 - F11), e nei campi adiacenti, con direzione delle fratture prima verso Ovest (Figura 8-31 - F12), poi verso Nord-Ovest (Figura 8-32 - F13 e Figura 8-33 - F14) e quindi verso Nord (Figura 8-34 - F15).

Nel terreno, alla base del contrafforte che sostiene il terrazzo panoramico è stata notata, una fessura continua per almeno 200 m di grosse dimensioni (Figura 8-35 - F16).

Altre evidenze del fenomeno sono le numerose fratture aperte lungo la strada Provinciale di Petacciato (Figura 8-36 - F17).



Figura 8-28 Lesione sulla strada provinciale di Petacciato (F.9).



Figura 8-29 Lesione di Figura 8-28 che ha interessato anche il muro di recinzione di una abitazione (F.10).



Figura 8-30 Fratture sulla pavimentazione sulla S.P. litoranea (F.11).



Figura 8-31 Fratture nei terreni adiacenti la S.P. litoranea direzione ovest (F.12).



Figura 8-32 Fratture sulla pavimentazione della S.P. litoranea direzione NORD-OVEST (F.13).



Figura 8-33 Fratture sulla pavimentazione della S.P. litoranea, direzione NORD-OVEST (F.14).



Figura 8-34 Fratture nei terreni al margine della S.P. di Petacciato, direzione NORD (F.15)



Figura 8-35 Frattura nel terreno alla base del versante panoramico di Petacciato (F.16).



Figura 8-36 Frattura nella pavimentazione stradale della S.P. di Petacciato (F.17).

8.3.8 Area tra il Colle degli Ulivi ed il torrente Cacchione

In questo settore, le tracce della riattivazione sono rappresentate da evidenti lesioni nella pavimentazione stradale che a partire dal bivio della Strada comunale dei Bagni, a quota di circa 83 m s.l.m., si rinvengono fino a valle in prossimità del tracciato autostradale e della ferrovia (Figura 8-37 – F18; Figura 8-38 – F19; Figura 8-39 – F20).

Nelle immediate vicinanze dell'omonimo viadotto si moltiplicano le evidenze del movimento sia sul terreno che sui manufatti (infrastrutture).

Il viadotto Cacchione, a causa dello spostamento di entrambe le spalle, ha subito danni ai 4 appoggi unidirezionali delle pile, con rottura delle parti in acciaio degli appoggi e conseguente lesione delle travi interessate (Figura 8-40 – F21a,21b,21c).

Verso Est si osservano lesioni sul rilevato nel tratto compreso tra la spalla sud del viadotto Cacchione e il viadotto Marinella (Figura 8-41 – F22).

Il viadotto Marinella è stato interessato da modesti spostamenti in corrispondenza delle prime due campate, che non hanno generato lesioni evidenti al rilevato.

A valle dei viadotti si osservano una serie di fratture che interessano con continuità la S.S. n. 16 Adriatica e che mantengono lo stesso andamento perpendicolare alla linea di costa (da Figura 8-42 a Figura 8-45 – F23-F24-F25-F26).



Figura 8-37 Frattura nella pavimentazione stradale della strada comunale che scende a mare (F.18).



Figura 8-38 Frattura nella pavimentazione stradale sulla strada vicinale nel tratto compreso tra il viadotto Cacchione e la Ferrovia (F.19).



Figura 8-39 Frattura nella pavimentazione stradale sulla strada vicinale nel tratto compreso tra il viadotto Cacchione e la Ferrovia (F.20).





Figura 8-40 Frattura nella pavimentazione stradale sulla strada vicinale nel tratto compreso tra il viadotto Cacchione e la Ferrovia (F.21a - 21b - 21c).



Figura 8-41 Lesione sulla pavimentazione autostradale in carreggiata nord (F.22).



Figura 8-42 Fratture nel terreno in adiacenza alla s.s. 16 adriatica (F.23).



Figura 8-43 Lesioni sulla pavimentazione stradale della s.s. 16 adriatica (F.24).



Figura 8-44 Lesioni sulla pavimentazione stradale della s.s. 16 adriatica (F.25).



Figura 8-45 Lesioni sulla pavimentazione stradale della s.s. 16 adriatica (F.26).

8.3.9 Area tra il Colle degli Ulivi ed il Fosso della Torre

In tutta questa zona non esistono elementi riconoscibili che siano con certezza attribuibili al movimento franoso del 2009 ad eccezione di alcune lesioni sul manto stradale della S.S. N. 16 Adriatica (Figura 8-46 - F27) e della strada comunale adiacente la ferrovia (Figura 8-47 – F28), in prossimità della località Torre di Petacciato.

É quindi estremamente difficile riconoscere con precisione il limite orientale del fenomeno franoso del 2009, che è stato ipotizzato come coincidente con il versante destro del Fosso della Torre.



Figura 8-46 Località "Torre di Petacciato" Lesioni sulla pavimentazione stradale della s.s. 16 adriatica (F.27).



Figura 8-47 Località "Torre di Petacciato" Lesioni sulla pavimentazione della strada comunale in adiacenza alla ferrovia (F.28).

8.3.10 Zona del litorale

Anche sul litorale sono state osservate evidenze sicuramente legate alla frana del febbraio 2009.

In particolare, in conseguenza del movimento franoso, è affiorato lungo la zona di battigia un cuneo in argilla lungo circa 5 metri, largo mediamente 3 metri e di altezza non superiore al metro (Figura 8-48 - F29). Con il passare del tempo questo materiale è stato asportato dal moto ondoso, fino a scomparire completamente.

Proseguendo sul litorale verso Termoli non sono state individuate altre emergenze di argilla e/o altri elementi attribuibili all'evento franoso.



Figura 8-48 Cuneo di argilla in affioramento nella zona di battigia (F.29).

8.4 EVIDENZE DELLA RIATTIVAZIONE DEL 2015 IN PROSSIMITA' DEL VIADOTTO CACCHIONE

Segni della riattivazione del 2015 in prossimità del viadotto Cacchione, sono documentati nel verbale redatto dai tecnici di Spea successivamente all'ispezione straordinaria condotta nel mese di marzo 2015 (18.03.2015 e 20.03.2015) "SPEA Ingegneria Europea, Verbale di ispezione straordinaria (SVE07 - TEC\510007\REL\2015\IT05\005), Viadotti Cacchione e Marinella (14.07.213572136), 27/03/2015".

In corrispondenza del tratto di rilevato / mezzacosta autostradale compreso tra il viadotto Cacchione ed il Viadotto Marinella; sono state osservate una serie di lesioni con andamento trasversale all'autostrada (Figura 8-49 e Figura 8-50). Di queste lesioni, quelle di maggiore ampiezza e rigetto risultano ubicate a 70m circa dalla Spalla Bari del Viadotto Cacchione in Carreggiata Sud (lesioni "D6" - Figura 8-50 e Figura 8-51) e a 55m circa dalla stessa spalla in Carreggiata Nord (lesione "S5" - Figura 8-50 e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Infine, la Figura 8-53 raccoglie le fotografie delle lesioni "S1", "S2", "S3" ed "S4" manifestatesi in Carreggiata Nord, a Sud della Spalla Bari del Viadotto Cacchione. Tutte le lesioni descritte sono caratterizzate da un "gradino" con abbassamento della sede autostradale procedendo dal Viadotto Cacchione verso il Viadotto Marinella; resta visibile

anche ad occhio nudo un leggero avvallamento della sede autostradale subito a Sud della Spalla Bari del Viadotto Cacchione.

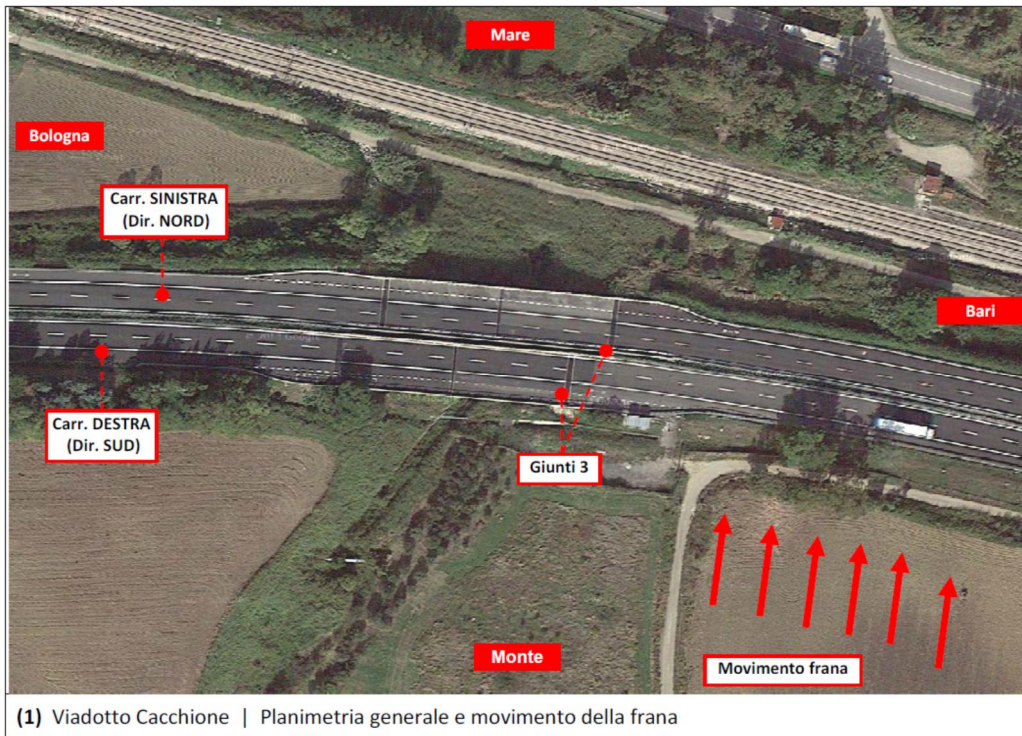


Figura 8-49. Viadotto Cacchione – Riattivazione 2015: Planimetria generale e movimento della frana



Figura 8-50. Viadotto Cacchione – Riattivazione 2015: Lesioni nella pavimentazione stradale nel tratto di rilevato compreso tra il Viadotto Cacchione ed il Viadotto Marinella.



(34) Lesione D6 - Panoramica



(35) Lesione D6 - Slittamento tra fronti della lesione



(36) Lesione D6 - Apertura lesione



(37) Lesione D6 - Altezza

Figura 8-51. Viadotto Cacchione – Riattivazione 2015: Lesioni nella pavimentazione stradale nel tratto di rilevato/mezzacosta compreso tra il Viadotto Cacchione ed il Viadotto Marinella (Lesione "D6" in Carreggiata Sud a 70m circa dalla Spalla Bari del viadotto).



(42) Lesione S5 – Direzione mare



(43) Lesione S5 – Direzione monte



(44) Lesione S5 - Vista disassamento linea di margine



(45) Lesione S5 - Slittamento tra fronti della lesione

Figura 8-52. Viadotto Cacchione – Riattivazione 2015: Lesioni nella pavimentazione stradale nel tratto di rilevato/mezzacosta compreso tra il Viadotto Cacchione ed il Viadotto Marinella (Lesione “S5” in Carreggiata Nord a 55m circa dalla Spalla Bari del viadotto).

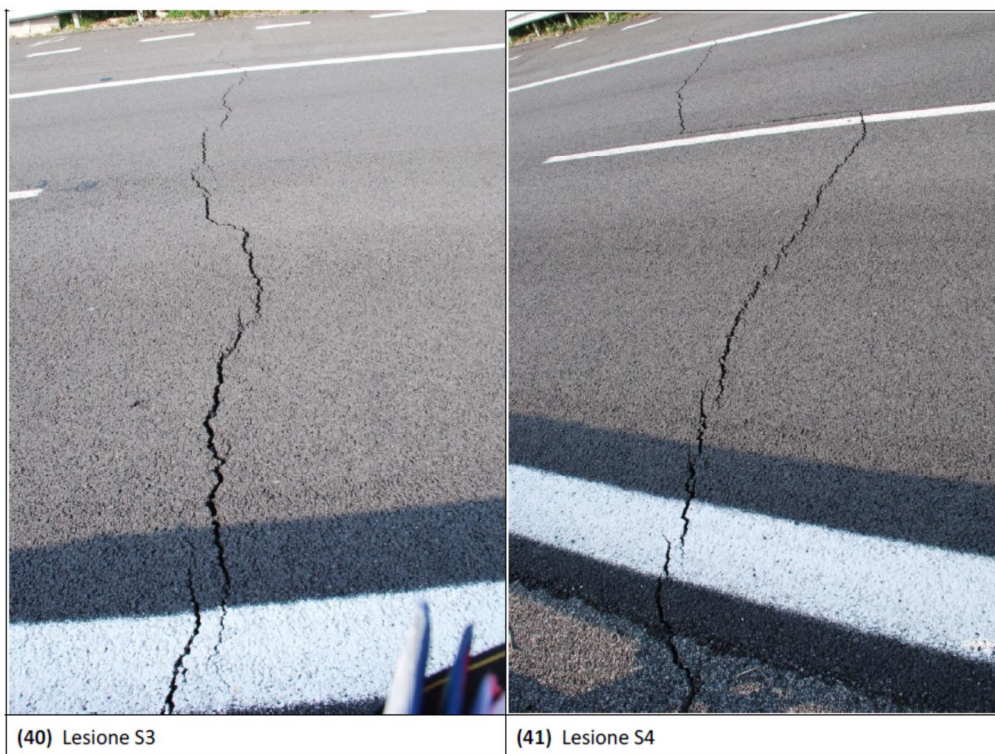
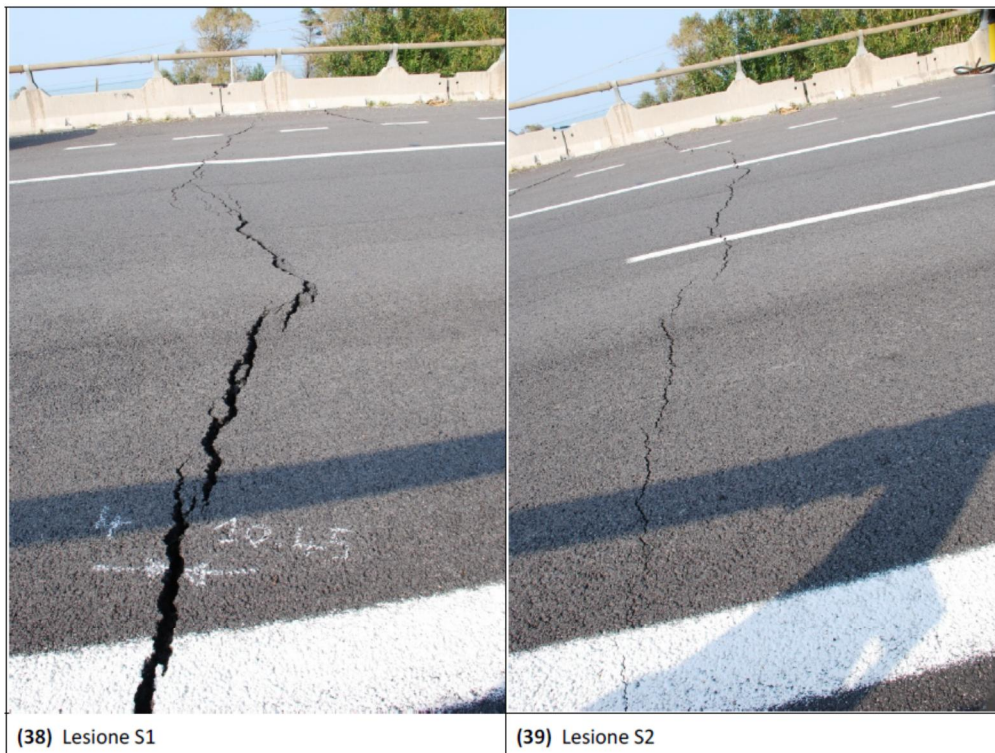


Figura 8-53. Viadotto Cacchione – Riattivazione 2015: Lesioni nella pavimentazione stradale nel tratto di rilevato/mezzacosta compreso tra il Viadotto Cacchione ed il Viadotto Marinella (Lesioni “S1”, “S2”, “S3” ed “S4” in Carreggiata Nord).

Oltre alle lesioni segnalate sulla pavimentazione, sono state osservate distorsioni sui giunti del viadotto e rilevati problemi sugli appoggi, inoltre “un buon numero di trasduttori installati su entrambe i viadotti

per il monitoraggio degli spostamenti degli impalcati rispetto alle strutture di elevazione, risultano danneggiati e non più funzionanti”

Per maggiori dettagli si rimanda al documento di riferimento.

8.5 MONITORAGGIO INCLINOMETRICO PREGRESSO

In questo paragrafo vengono riassunti i dati del monitoraggio inclinometrico. I dati sono presentati nel seguente ordine:

- Dati di monitoraggio rilevati dalle Ferrovie dello Stato nelle verticali della campagna d'indagine 1981, aggiornati al 1982.
- Dati di monitoraggio riportati nello studio effettuato dai Proff. V. Cotecchia e G. Melidoro, per conto della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Presidenza della Regione Molise, aggiornati al 2001.
- Dati di monitoraggio rilevati dalla società Autostrade nelle verticali di indagine 1991 e 2000-2001.

8.5.1 Dati di monitoraggio rilevati dalle Ferrovie dello Stato 1981-1982

I dati di monitoraggio inclinometrico rilevati dalle Ferrovie dello Stato negli anni 1981-1982 si riferiscono alla parte bassa del versante, ovvero alla zona a cavallo della ferrovia, a valle dell'autostrada; i dati disponibili sono quelli interpretati dalle Ferrovie dello Stato

Possono essere fatte le seguenti osservazioni:

- I dati sono riferiti a un periodo di osservazione breve (circa 1 anno) e a 2-3 anni distanza dall'evento franoso del 1979;
- I dati disponibili riportano solo “il movimento per sommatoria”; l'interpretazione di tali dati, fornita dalle Ferrovie dello Stato, indicherebbe movimenti lungo superfici di scorrimento posizionate a profondità dal p.c. superiori a circa 15 m, con una tendenza all'aumento dello spessore della massa in movimento procedendo dal Fosso degli Ulivi (o Fosso Cacchione) verso il Fosso dei Lupi (vedi la tab.6.1).
- Le lunghezze degli inclinometri sono 40 m; i dati a disposizione non tengono conto di eventuali movimenti che possono collocarsi a profondità maggiori.
- Nello studio dello studio dei Proff. V. Cotecchia e G. Melidoro si riporta che:
 - nei tubi C, G ed F nel periodo luglio 1981-gennaio 1983 è stata registrata una rottura alla profondità di 31 m;
 - A seguito della riattivazione del gennaio 1991 le Ferrovie dello Stato hanno installato un sistema di monitoraggio con catene inclinometriche fisse della lunghezza di 80 m ciascuna, con acquisizione e trasmissione a distanza dei dati. Con tale sistema, nell'evento del 1996, sono stati rilevati piccoli spostamenti alla profondità di 32 m con un anticipo di circa 2 ore rispetto a quelli in superficie, dove si è avuto uno spostamento massimo dei binari di 18 cm; il fenomeno è durato complessivamente dalle ore 16.05 del giorno 14 Marzo 1996 alle ore 0.05 del 15 Marzo 1996.

8.5.2 Dati contenuti nello studio dei Proff. V. Cotecchia e G. Melidoro

I dati contenuti nello studio dei Proff. V. Cotecchia e G. Melidoro (vedi il Doc.Rif.All.) sono quelli degli inclinometri installati nei fori di sondaggio eseguiti per conto della Regione Molise (vedi la tab.3.6 e il Doc.Rif.All.); essi si riferiscono ad inclinometri posizionati in varie zone dell'intero versante interessato dai movimenti franosi. Purtroppo tali dati si riferiscono a un periodo di tempo breve, inferiore a 1 anno (2000-2001), nell'ambito del quale non sono stati registrati movimenti di rilievo

8.5.3 Dati di monitoraggio della società Autostrade per l'Italia

Nelle verticali inclinometriche della campagna di indagine 1991 e della campagna di indagine 2000-2001, collocate nella maggiore parte dei casi nella parte bassa del versante in prossimità dell'autostrada (vedi le tabb.3.3, 3.5 e il Doc.Rif.All.), sono disponibili i dati riportati nel Doc.Rif.All., riassunti nella tabb.5.1.

Tabella 8-1. Risultati letture inclinometriche della campagna di indagine 1991

Sondaggio	Profondità del movimento rispetto al p.c. (m)	Note	Periodo di osservazione
S1	3÷4	A valle dell'autostrada	11/3/91-26/10/05
S2	58; 70	A monte dell'autostrada	11/3/91-3/2/93
S3	23	A monte dell'autostrada	1981-1982
S4	32; 40	A monte dell'autostrada	8/9/93-13/5/02
S5	52	A monte dell'autostrada	17/4/91-10/2/03
S6	> 30	A monte dell'autostrada	22/5/91-14/11/07
S7	16; 20; 24; 34; 53	A monte dell'autostrada	18/4/91-13/11/07
S8	30	A valle dell'autostrada	18/4/91-13/12/06

9 LIQUEFAZIONE

Con il termine "liquefazione" si indicano vari fenomeni fisici osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti ($M > 5.5$), che hanno come elemento comune il fatto che, per effetto dell'instaurarsi di condizioni non drenate, si ha un incremento ed un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno. Gli studi più recenti hanno evidenziato quanto segue:

Le manifestazioni della liquefazione sono:

- crateri, vulcanelli, fuoriuscite di acqua e sabbia,
- grandi oscillazioni e rotture del terreno,
- abbassamenti e sollevamenti del terreno,
- movimenti orizzontali del terreno (lateral spreading),
- movimento di masse fluide / collasso in pendii naturali e artificiali,
- perdita di capacità portante delle fondazioni,
- galleggiamento di opere sotterranee,
- collasso di opere di sostegno e banchine portuali

Per quanto riguarda l'occorrenza della liquefazione, l'esperienza ha dimostrato che la liquefazione avviene quando sono verificate simultaneamente alcune condizioni che riguardano la "predisposizione" del terreno al verificarsi del fenomeno (esistenza di "fattori predisponenti") ed alcune condizioni che riguardano le caratteristiche dell'azione sismica ("fattore scatenante").

Le condizioni predisponenti del terreno sono:

- profondità dello strato potenzialmente liquefabile $< 15-20$ m dal p.c.
- profondità della falda < 5 m
- densità relativa $D_r < 60\%$
- diametro medio $0.02 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$
- frazione di fini (diametro $< 0.005 \text{ mm}$) $< 15\%$

Le condizioni scatenanti che riguardano le caratteristiche dell'azione sismica sono:

- magnitudo > 5.5
- $PGA > 0.15 \text{ g}$
- durata $> 15-20 \text{ sec}$

Tra i fattori geologici e geotecnici risultano fondamentali, oltre alla profondità della falda (< 5 m), la presenza e lo spessore degli strati non liquefabili superficiali, l'assenza di cementazione fra i grani, l'origine e l'età del deposito, la presenza di strati drenanti grossolani intercalati alla sabbia fine liquefabile, la morfologia;

Per quanto riguarda la natura geologica dei siti le zone a più alto rischio sono: letti di fiume antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, argini, pianure di esondazione.

In ragione di quanto sopra esposto, delle caratteristiche geologiche riscontrate e del fatto che tale fenomeno è stato citato in studi pregressi riguardanti la frana di Petacciato, il progettista deve valutare con attenzione la possibilità che si possano innescare fenomeni di liquefazione negli ambiti interferenti con il progetto.

10 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE E CATALOGO FAGLIE CAPACI

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica del territorio esaminato e un inquadramento riferito agli assetti normativi in vigore. I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti o siti internet:

- CPT15 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 dal 1000 al 2014: (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPT15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPT15>.
- DBMI15 - Database Macrosismico Italiano 2015 (L'utilizzo, anche parziale, del database è consentito a condizione che la fonte sia sempre citata come segue: Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>
- Database ISIDE (Italian Seismic Instrumental and parametric Data-base) Sismicità recente (dal 2005 al 2016): dell'I.N.G.V. disponibile on-line all'indirizzo <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>
- INGV Centro Nazionale Terremoti: <http://cnt.rm.ingv.it/>
- Faglie capaci: catalogo delle faglie capaci ITHACA (Italy Hazard from Capable faults) dell'Istituto Superiore per la Protezione e per la Ricerca Ambientale (ISPRA)
- Strutture sismogenetiche: Database DISS3.2.1 (Database of Individual Seismogenetic Sources) disponibile on-line all'indirizzo <http://diss.rm.ingv.it/diss/>
- Classificazione Sismica Nazionale: disponibile on-line all'indirizzo: http://www.protezionecivile.gov.it/pagine-servizio/dettaglio-contenuto-generico/-/asset_publisher/default/content/classificazione-sismica
- Classificazione sismica Regione Molise

10.1 SISMICITA' STORICA

Il Catalogo Parametrico dei terremoti italiani "CPT15" permette la consultazione on-line dei terremoti verificatisi nel territorio italiano nel periodo 1000 al 2014.

Oltre al Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPT15), altri data-base sono consultabili on-line al portale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. In particolare un ulteriore quadro di riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15, l'ultima versione del Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 è stata rilasciata a luglio 2016 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI11 (Locati et al., 2011). DBMI fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti. Dato il loro stretto legame, DBMI e CPTI tendono a essere pubblicati allo stesso tempo e usando una stessa numerazione (DBMI04-CPTI04, DBMI11-CPTI11), ma in due diversi siti web, uno dedicato a DBMI, e uno a CPTI. Con la versione 2015 si è deciso di rendere disponibile le due banche dati DBMI15 e

CPTI15 (Rovida et al., 2016) da un unico punto di accesso online al fine di rendere più comoda e funzionale la consultazione.

DBMI15 contiene 12.2701 dati di intensità relativi a 3.212 terremoti. I 12.2701 MDP sono riferiti a circa 20.000 località di cui 15.213 in territorio italiano, che vanno complessivamente a coprire 7702 comuni degli 8047 esistenti in Italia (ISTAT, 2015). Consultando il sito web è possibile ottenere la storia sismica di ciascuna località italiana identificata, cioè l'elenco dei terremoti che hanno prodotto effetti macrosismici in quella data località.

Nella tabella seguente viene riportato, con riferimento al comune di Petacciatto; l'elenco dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3, i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno, ora UTC), l'area epicentrale, il numero progressivo, l'intensità epicentrale (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5	1962 08 21 18 19	Irpinia	562	9	6,15
5	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6,81
4	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	912	8	5,86
3-4	1988 04 26 00 53 43.83	Adriatico centrale	78		5,36
3	1990 05 05 07 21 29.61	Potentino	1375		5,77
3-4	1995 09 30 10 14 33.86	Gargano	145	6	5,15
3-4	1996 11 10 23 23 10.77	Tavoliere delle Puglie	55	5-6	4,35
NF	1998 03 26 16 26 17.03	Appennino umbro-marchigiano	409		5,26
NF	2001 07 02 10 04 43.18	Tavoliere delle Puglie	60	5	4,26
5	2002 11 01 15 09 01.92	Molise	638	7	5,72
NF	2003 01 27 04 03 46.57	Molise	60	5	3,84
3-4	2003 03 29 17 42 13.74	Adriatico centrale	68		5,43
3-4	2003 12 30 05 31 38.26	Molise	326	4-5	4,53
2	2005 03 01 05 41 37.38	Molise	136	4	3,68
2-3	2006 05 29 02 20 06.26	Gargano	384		4,64
NF	2006 10 04 17 34 20.50	Adriatico centrale	98	4-5	4,3

Nel grafico seguente (Figura 10-1) sono riportati, con riferimento al comune di Petacciatto, i terremoti con intensità uguale o superiore a 3.

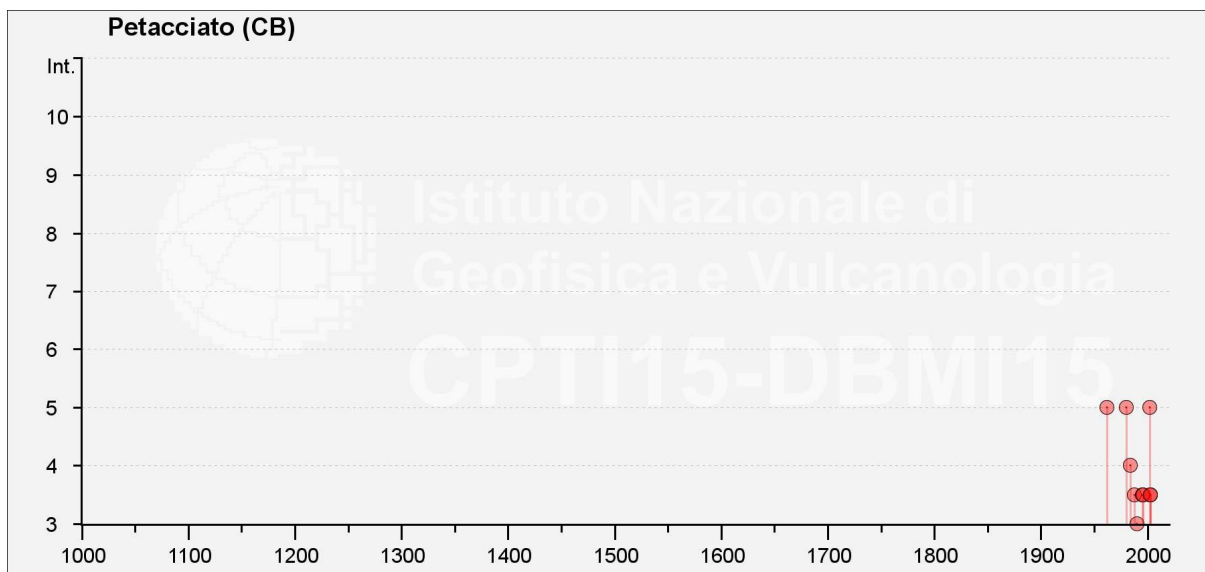


Figura 10-1. Intensità macrosismiche registrate nel data base DBMI15 per il comune di Petacciatto (IT_58776), (Accesso dell'aprile 2019).

10.2 SISMICITÀ STRUMENTALE - ISIDE - INGV

“L’Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base (ISIDE) versione 1.0 contiene i dati parametrici di tutti i terremoti localizzati dalla sala di sorveglianza sismica dell’INGV di Roma. Si tratta di centinaia di migliaia di eventi avvenuti tra il 1 gennaio 1985 ed oggi. Per localizzare i terremoti vengono utilizzate più di 500 stazioni della Rete Sismica Nazionale (<http://cnt.rm.ingv.it/instruments>) gestita dall’INGV e di altre reti gestite da istituzioni ed enti internazionali e regionali. Le localizzazioni di sala vengo poi riviste da operatori specializzati per produrre il Bollettino Sismico Italiano (<http://cnt.rm.ingv.it/help#BSI>) ed aggiornati all’interno di ISIDE. Nel tempo le modalità con le quali è stato fatto il bollettino sono cambiate e anche le magnitudo attribuite dagli analisti (vedi spiegazione dedicata) si sono modificate con il modificarsi della rete che è passata da analogica a digitale da monocomponente a broad-band. Oggi vengono rivisti dal BSI solo gli eventi di $M \geq 1.5$. I dati prodotti da ISIDE sono accessibili al link: <http://cnt.rm.ingv.it/search>”

Il nuovo portale dati del Centro Nazionale Terremoti (CNT) mostra i dettagli di ogni evento sismico registrato e localizzato presso le sale operative dell’INGV.

Selezionando un terremoto nella lista della pagina principale, si accede alla sezione di dettaglio con i dati dell’evento, la Sismicità e la Pericolosità sismica dell’area interessata, le informazioni sull’impatto del terremoto sulla popolazione, le varie localizzazioni (calcoli dell’epicentro) realizzate per quello specifico terremoto, i meccanismi focali e una sezione per il download.

Il Data Base è accessibile al seguente link: <http://cnt.rm.ingv.it/>; questo sito pubblica i parametri dei terremoti localizzati in tempo reale durante il servizio di sorveglianza sismica e i parametri ipocentrali rivisti giornalmente dagli analisti dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Centro Nazionale Terremoti) pubblicati nel Bollettino Sismico italiano. I segnali sismici e le fasi provengono dalla Rete Sismica Nazionale Italiana o da altre reti locali, regionali e nazionali che appartengono ad altre istituzioni italiane o estere.

La Figura 10-2 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Data Base per una distanza di 50 km di raggio dal comune di Petacciato (periodo aprile 1985 – aprile 2019).

In tale area, per l’intervallo di tempo considerato, sono segnalati n. 2341 terremoti con profondità media di 12,19 km (profondità massima 52,9 km, profondità minima 0,0 km) e magnitudo medio pari a 2,02 (magnitudo massima 5,4, magnitudo minima 0,10). (Dati di input: periodo gennaio 1985/aprile 2019; magnitudo 0-10; 50 km di raggio da Petacciato; profondità 0-1000 km).

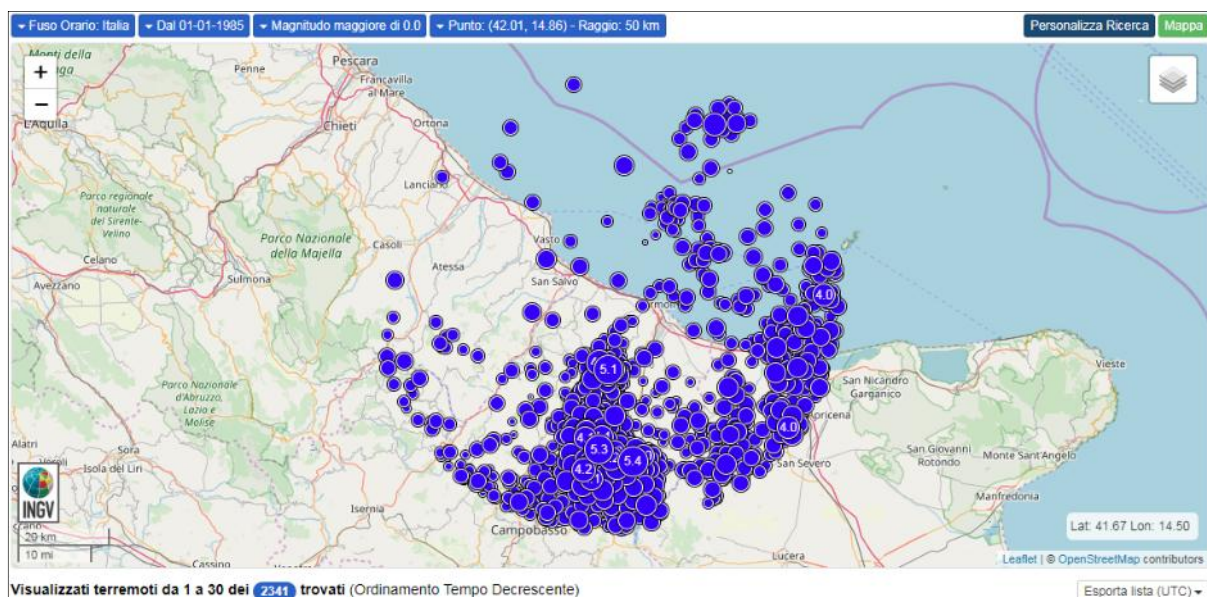


Figura 10-2. Distribuzione dei terremoti localizzati in tempo reale dall’INGV Centro Nazionale dei Terremoti in un raggio di 50 km dal comune di Petacciato (gennaio 1985-aprile 2019). I dati e i risultati pubblicati dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sono distribuiti sotto licenza Creative Commons Attribution 4.0 International License. Basato su un lavoro presso Centro Nazionale Terremoti. Accesso dell’aprile 2019.

La figura seguente riporta un dettaglio sulla zona di studio:

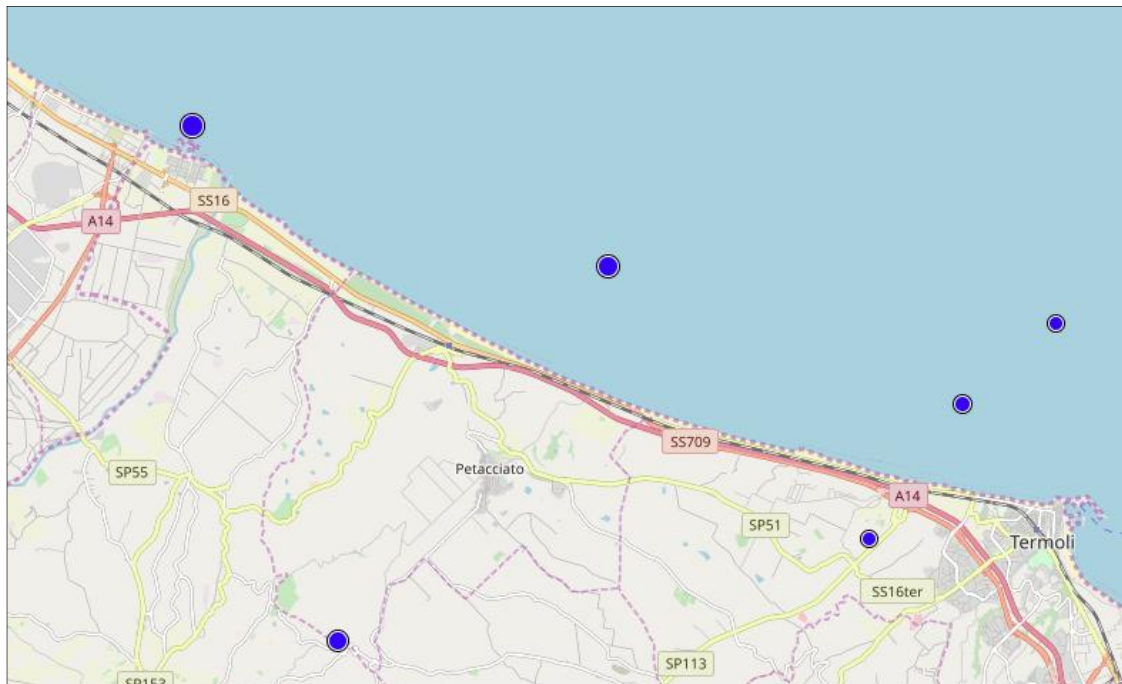


Figura 10-3. Distribuzione dei terremoti localizzati in tempo reale dall'INGV Centro Nazionale dei Terremoti con dettaglio sulla zona di studio (gennaio 1985-aprile 2019). I dati e i risultati pubblicati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sono distribuiti sotto licenza Creative Commons Attribution 4.0 International License. Basato su un lavoro presso Centro Nazionale Terremoti. Accesso dell'aprile 2019.

Per maggiori dettagli si rimanda al sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

10.3 FAGLIE CAPACI (PROGETTO ITHACA)

L'Italia è una delle zone più attive del Mediterraneo, in termini di tettonica attiva e sismicità. Studi paleosismologici hanno consentito di caratterizzare le faglie responsabili di molti di questi terremoti, dimostrando che le dislocazioni tardo pleistoceniche-oloceniche hanno interessato molte strutture prima considerate silenti.

La stima della pericolosità legata ai terremoti ed alla fagliazione superficiale è un tema molto importante, specialmente in aree densamente popolate ed industrializzate come il territorio italiano. Di conseguenza la conoscenza approfondita e la corretta collocazione delle faglie capaci assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio. A questo scopo, il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (Italy Hazard from Capable Faults).

ITHACA è un database creato per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.

Il termine "faglie capaci" è utilizzato per descrivere le faglie "sismiche" con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni potenzialmente "capaci" di produrre deformazioni in superficie. La riattivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere \geq VIII-IX grado della scala ES2007.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA disponibile on-line al sito dell'ISPRA (Figura 10-4). Il data base, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione

ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il database è in continuo aggiornamento, maggiori informazioni si possono avere consultando le pagine web del progetto.

Come si può osservare dalla Figura 10-4, nell'area di studio non è segnalata la presenza di Faglie Capaci.



Figura 10-4. Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA" (ITaly HAZard from Capable faults Catalogo delle faglie capaci presenti sul territorio italiano - ISPR). Il cerchio blu individua l'area di studio (Accesso dell'aprile 2019).

10.4 ZONAZIONE SISMOGENETICA E STRUTTURE SISMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del scivolamento ecc.) non può essere definita solamente attraverso la classica analisi geomorfologica. Molti dati sulle sorgenti sismogenetiche delle Alpi Meridionali derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici

L'identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Secondo la zonazione sismogenetica attualmente in vigore (chiamata ZS9), l'area oggetto di studio ricade in un'area esterna alle zone sismogenetiche compresa tra le zone sismogenetiche 918, 923 e 924. "Nella zona sismogenetica 924 (Appennino meridionale ed Anvampaese Apulo), orientata circa est-ovest viene collocata tutta la sismicità dell'area (es. terremoto del 1627) ed include la faglia di Mattinata generalmente ritenuta attiva". La zona 918 (Appennino settentrionale e centrale), assieme alla 913 e alla 914, risulta dalla scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all'Abruzzo. In questa fascia, nella porzione sud – orientale, si verificano terremoti prevalentemente distensivi. Si

possono anche avere meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. L'intera fascia è interessata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo...La zona 923 (Appennino settentrionale e centrale), assieme alla 915 e alla 919, racchiudono faglie e sistemi di faglie legati all'estensione appenninica. Queste tre zone includono le sorgenti sismogenetiche responsabile dei terremoti di più elevata magnitudo che hanno caratterizzato l'arco appenninico settentrionale e centrale; tali sorgenti hanno in genere espressioni superficiali. (Figura 10-5).

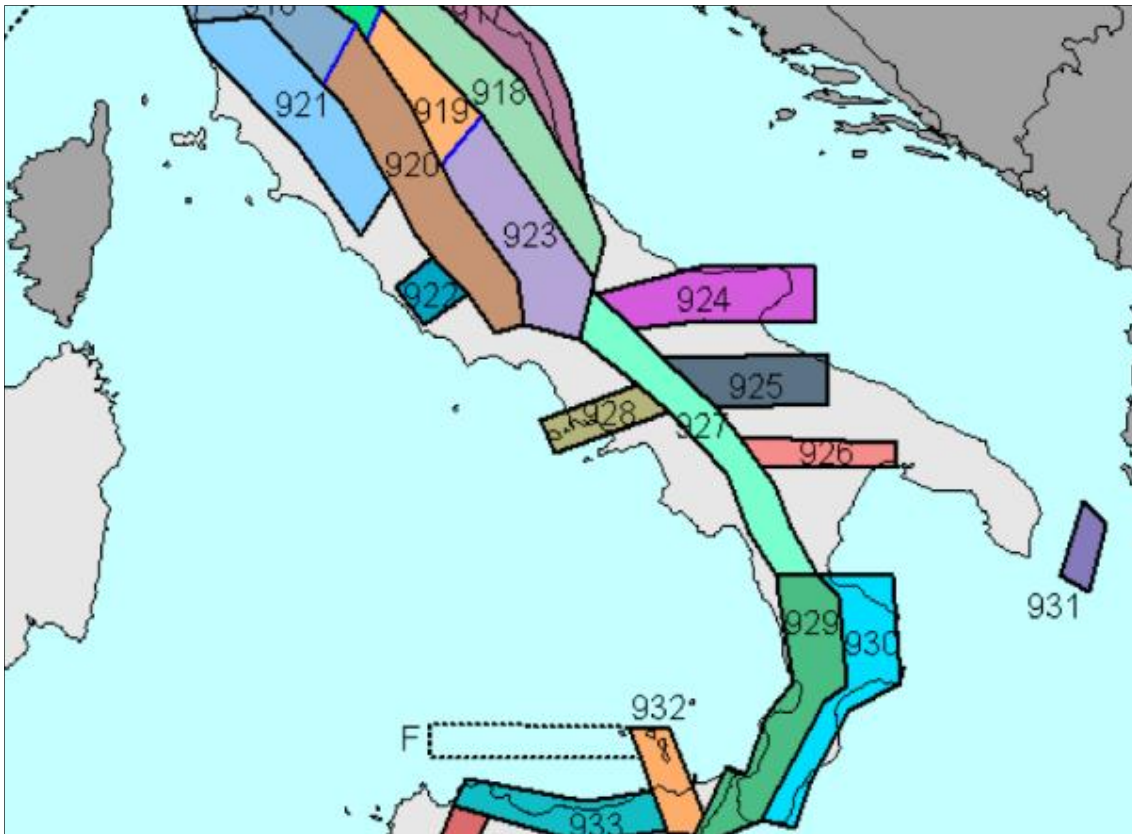


Figura 10-5. Zonazione sismogenetica ZS9 (a cura di C. Meletti e G. Valensise marzo 2004). I limiti di colore nero separano zone con analogo significato cinematico, che differiscono principalmente per le caratteristiche di sismicità; le diverse zone sono individuate da un numero, le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

La figura seguente (Figura 10-6) evidenzia le aree sismogenetiche prossime alla zona di studio (poligoni color arancione), definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni color arancione chiaro); le campiture in rosso indicano i sistemi di faglia.

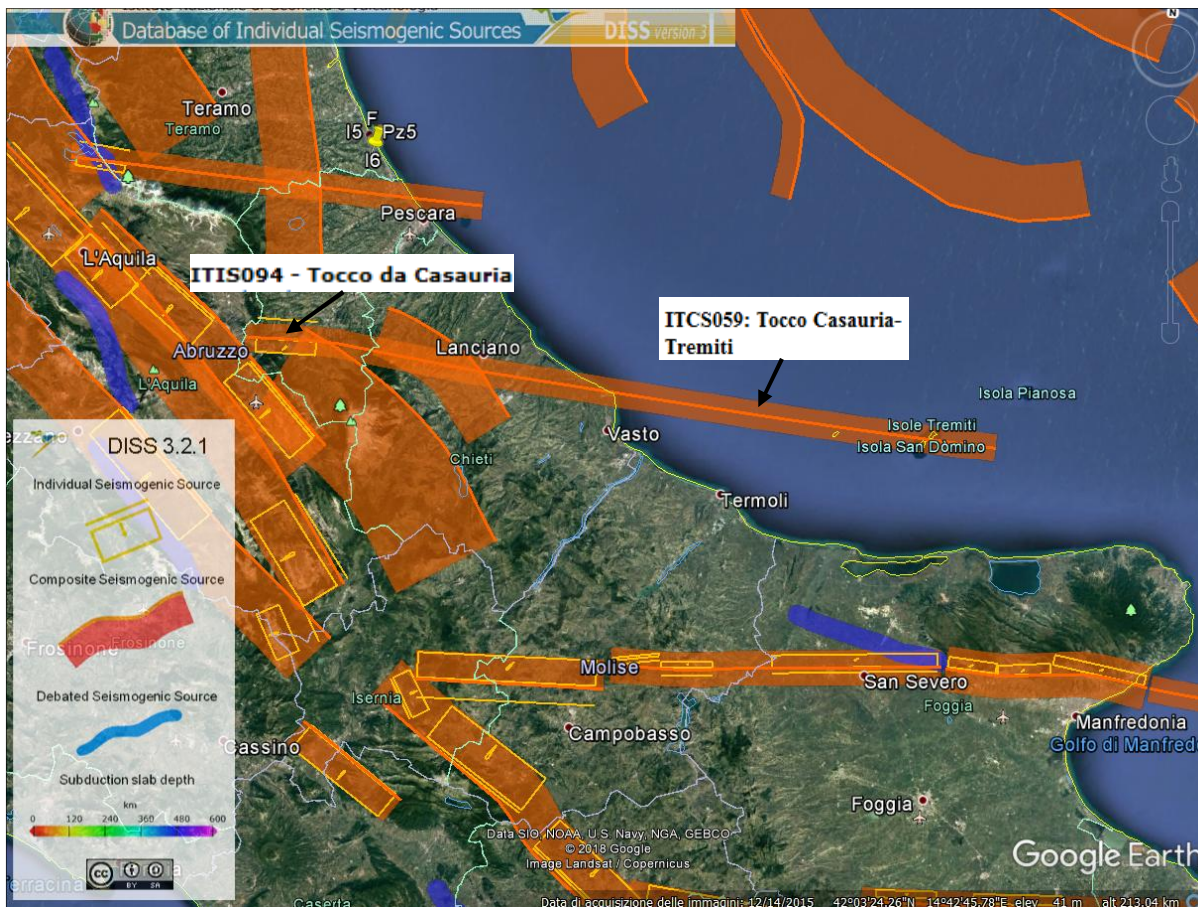


Figura 10-6. Mappa delle aree sismogenetiche di interesse (Fonte: Database of Individual Seismogenic Source DISS 3.2.1) (Accesso dell'aprile 2019).

Con riferimento al “Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3.2.1”, si osserva che le opere in progetto ricadono ad una quindicina di chilometri sud dalla zona governata principalmente dalla sorgente sismogenetica “ITCS059 Tocco-Casauria-Tremiti”.

La codifica utilizzata nel database per identificare le strutture include 4 caratteri e 3 numeri, i primi due caratteri si riferiscono al Paese considerato (IT per Italia); gli altri due caratteri identificano il tipo di dati (IS - Individual Seismogenic Source, CS-Composite Seismogenic Source, DS-Debated Seismogenic Source). Di seguito si riporta una sintesi dei parametri che caratterizzano la zona sismogenetica di interesse:

- ITCS059 Tocco Casauria – Tremiti: risulta associabile a terremoti con profondità comprese tra 11 e 20 km e magnitudo momento M_w pari a 6.0. Sorgente correlata ITIS094 – Tocco da Casauria (ultimo aggiornamento 15 giugno 2015 (Fracassi U.))

10.5 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Negli ultimi anni si sono succeduti diversi provvedimenti normativi ed amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale.

Dal 1999 al 2003, la classificazione sismica del territorio nazionale era riconducibile alla mappa di classificazione sismica prodotta dal Gruppo di Lavoro (GdL, 1999), istituito dal Servizio Sismico Nazionale su indicazione della Commissione Grandi Rischi della Protezione Civile.

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM 3274/2003 ha rappresentato una prima

risposta alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale strumento si sono stabiliti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche introducendo la nuova classificazione sismica dei comuni italiani (successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/2006) ed abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4; procedendo in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico, poiché di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nella quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

	Caratteristiche	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
Zona 1	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g > 0.25$
Zona 2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0.15 < a_g \leq 0.25$
Zona 3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.	$0.05 < a_g \leq 0.15$
Zona 4	E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g \leq 0.05$

Con la successiva ordinanza OPCM 3519/2006 è stata adottata la mappa di pericolosità sismica di riferimento nazionale (INGV, 2004), e sono state stabilite nuove disposizioni per l'individuazione a livello regionale delle zone sismiche su base probabilistica. I nuovi criteri per la determinazione della classificazione sismica individuano 12 fasce e sono basati, (innovando le disposizioni del precedente OPCM 3274/2003) su valori delle accelerazioni massime al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi. Tale classificazione è quindi basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro a_g secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente").

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, le Regioni hanno inoltre riclassificato il proprio territorio in termini di livello di pericolosità, o mantenendo le quattro zone nazionali o adottando tre sole zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g).

Di seguito si riporta uno stralcio della mappa di "Classificazione Sismica" pubblicata dalla Protezione Civile nel 2015 (Figura 10-7).

Allo stato attuale, tale valore di pericolosità di base non ha diretta influenza sulla progettazione. Infatti, con l'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008 e succ. DM 17/01/2018) la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) avviene direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 dell'Allegato B delle stesse NTC), indipendentemente dai limiti amministrativi comunali.

L'allegato A di tali Norme prevede inoltre che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dall'INGV, utilizzati per determinare la forma dello spettro di risposta elastico di riferimento.

L'approccio "sito dipendente" della nuova normativa permette di riferirsi, per ogni costruzione, ad un'accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale dell'opera stessa. In quest'ottica la precedente zonazione dei territori comunali mantiene la propria utilità, dal punto amministrativo, per la gestione delle attività di pianificazione e controllo.

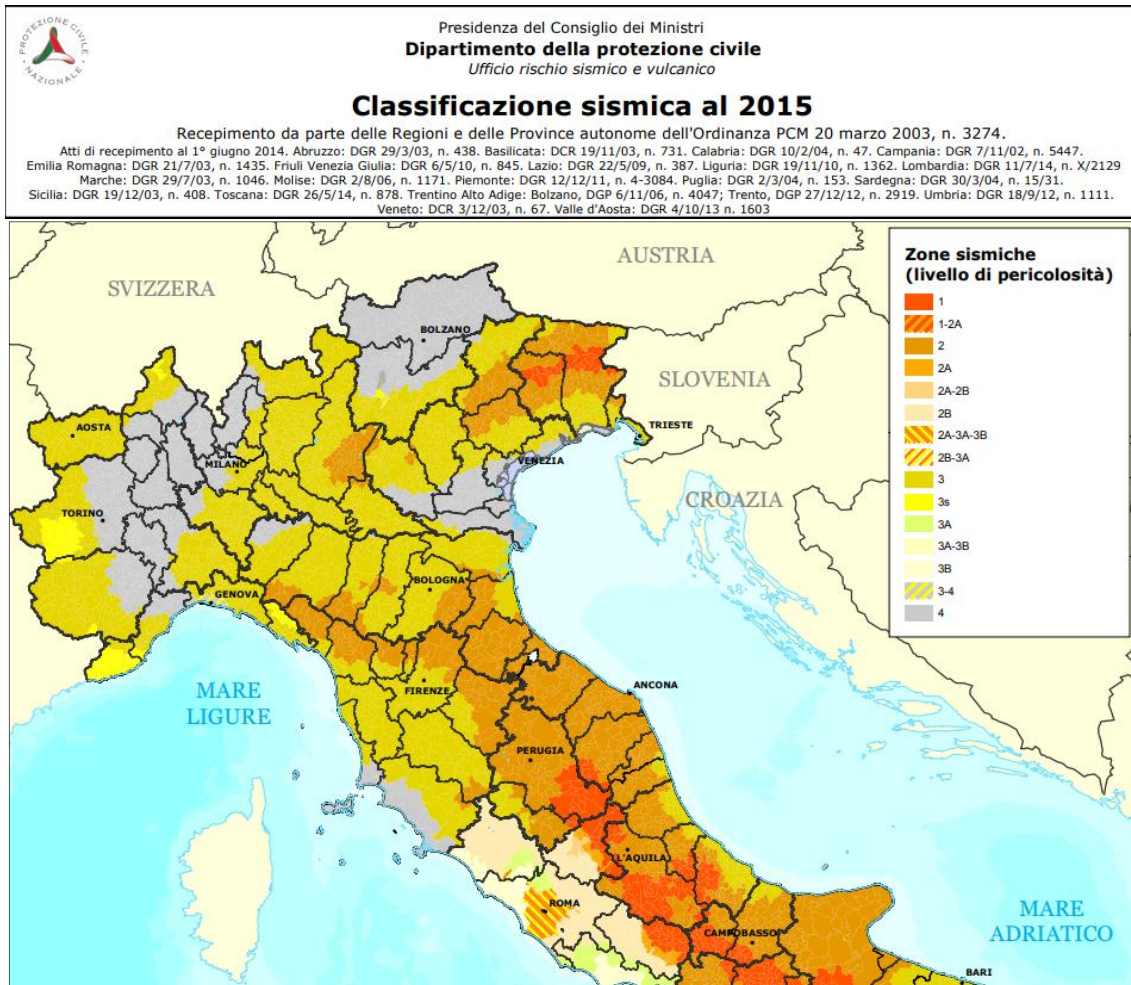


Figura 10-7. Classificazione Sismica al 2015 (Fonte: Protezione Civile), accesso dell'aprile 2019.

Per calarci in ambito locale, la Normativa Nazionale è stata recepita dalla Regione Molise con Deliberazione Giunta Regionale n. 1171 del 2 agosto 2006 e con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 194 del 20 settembre 2006.

In conformità a tale normativa, il comune di Petacciato ricade in classe 3:

Regione	Provincia	Codice Istat	Denominazione	Classificazione 2015 (Protezione Civile)
Molise	Campobasso	70051	Petacciato	3

La Regione Molise in tema di classificazione sismica del territorio molisano, ha pubblicato in rete la "Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Molisano", dalla quale si osserva che il comune di Petacciato ricade in "Zona 3" (Figura 10-8).

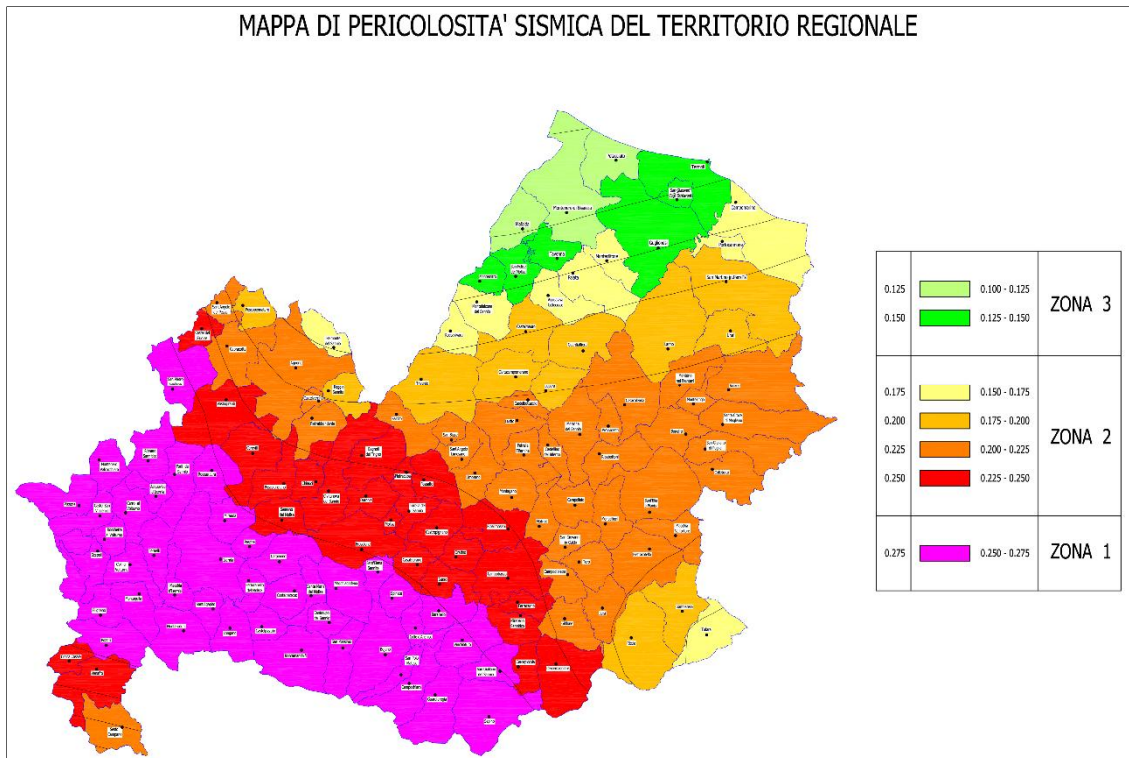


Figura 10-8. Regione Molise – Classificazione Sismica dei comuni Molisani – Mappa della Pericolosità Sismica del Territorio Regionale (accesso al sito on-line dell'aprile 2019).

“Il territorio regionale è stato oggetto fin dai primi decenni del secolo scorso di diverse classificazioni sismiche che hanno portato ad un continuo ampliamento del numero dei Comuni soggetti al vincolo sismico. A partire dal terremoto dell'Irpinia del 1980 si è registrata una crescita esponenziale dei Comuni classificati come sismici, ciò anche per effetto dei progressi compiuti nel campo della sismologia che hanno condotto a studi più approfonditi sulle caratteristiche del suolo in relazione alla sismicità. Una seconda tornata di estensione delle zone sismiche molisane si è avuta a seguito del tragico evento tellurico che ha colpito S. Giuliano di Puglia nel 2002. In seguito all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 2006 recante “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”, il territorio molisano è stato oggetto di una ulteriore riclassificazione sismica approvata con deliberazione del Consiglio regionale n. 194 del 20 settembre 2006”.

11 MONITORAGGIO GEOTECNICO NELL'AREA DEL VIADOTTO CACCHIONE

Nell'area del Viadotto Cacchione risulta ad oggi installata la seguente strumentazione geotecnica (gestita da Autostrade // per l'Italia):

- In corrispondenza del sondaggio S8bis, Inclinometro fisso alla profondità di 29.50m, data di attivazione 25 Agosto 2016. Lettura automatica.
- In corrispondenza del sondaggio S8bis, Piezometro alla profondità di 15.00m, data di attivazione 25 Agosto 2016. Lettura automatica.
- In corrispondenza del sondaggio I1, Inclinometro L= 58.50 m con lettura manuale (data lettura di zero 21/03/2019).
- In corrispondenza del sondaggio I1bis, Inclinometro L= 55.50 m con lettura manuale (data lettura di zero 21/03/2019).
- In corrispondenza del sondaggio I2, Inclinometro L= 58.50 m con lettura manuale (data lettura di zero 21/03/2019).
- In corrispondenza nel sondaggio Pz1, cella piezometrica elettrica alla profondità di 40 m.
- In corrispondenza nel sondaggio Pz1bis, cella piezometrica elettrica alla profondità di 40 m e i 22 m.
- In corrispondenza nel sondaggio Pz1ter, cella piezometrica elettrica alla profondità di 33 m.

In aggiunta a quanto sopra, 200 m ca. a Sud della Spalla Bari del Viadotto Cacchione, risulta attiva la seguente ulteriore strumentazione geotecnica (a lettura automatica) gestita da Autostrade // per l'Italia:

- In corrispondenza del sondaggio S5, Inclinometri fissi alle profondità di 4.27m, 30.46m, 43.30m e 50.59m, data di attivazione 14 Marzo 2017.
- In corrispondenza del sondaggio S5bis, Inclinometri fissi alle profondità di 4.27m e 30.46m, data di attivazione 25 Agosto 2017.
- In corrispondenza del sondaggio S5bis, Piezometro alla profondità di 25.00m, data di attivazione 25 Agosto 2017.

A monte del viadotto Cacchione, alla quota di circa 76,352 m s.l.m in corrispondenza del sondaggio I3 è stato installato un inclinometro L= 109.10 m con lettura manuale (data lettura di zero 21/03/2019).

I dati storici del monitoraggio geotecnico nell'area del Viadotto Cacchione sono quelli relativi all'inclinometro S8, ubicato a valle della carreggiata sud, con misure disponibili per il periodo 1991-2008 (lettura di "zero" eseguita nel 1991 e prima lettura nel 1996 + 4 ulteriori letture). I dati di monitoraggio, nel periodo di tempo considerato, indicano due superfici di scorrimento a 15 e 30 metri, con una fascia a deformazione maggiore tra 15 e 30 metri, azimut in direzione nord. Le superfici sono state riportate anche nella sezione geologica.

In carreggiata nord, ad una distanza di circa 120 metri dalla spalla sud del viadotto Cacchione verso est, il sondaggio S4, con un monitoraggio disponibile per il periodo 1993 - 2002 (lettura di zero nel 1993 + 3 ulteriori letture), segnala due superfici di rottura a 33 e a 40 metri.

A monte del sondaggio S8, ad una distanza si circa 150 metri, il sondaggio S2, monitorato nel periodo 1991 – 2005 (lettura di zero 1992 + 2 ulteriori letture), segnala quattro superfici di scorrimento a 22, 58, 62 e 70 metri, azimut molto disturbato, pertanto questi dati sono difficilmente interpretabili.

Sempre in carreggiata nord, ad ovest della spalla nord del viadotto Cacchione, il sondaggio S1, monitorato per il periodo 1991 – 2005 (lettura di zero nel 1991 + ulteriori 3 letture), segnala tre superfici di scorrimento a 6, 20, 40 e 50 metri, anche in questo caso l'azimut risulta molto variabile.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato GEO0011.

12 DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DELL'AREA INTERESSATA DAL PROGETTO

Sulla base delle attività svolte e di tutti i dati raccolti (ricerca bibliografica, sopralluoghi, indagini geognostiche e monitoraggio) è stato possibile ricostruire il quadro geologico e geomorfologico dell'area di studio ed in particolare è stata redatta una planimetria geologica (scala 1: 5.000) corredata di due sezioni geologiche (scala 5.000/5.000).

12.1 SINTESI DELLA SITUAZIONE TETTONICO-STRUTTURALE

Dal punto di vista tettonico l'area di studio è caratterizzata dalla presenza di un "alto strutturale", quello su cui sorge Petacciato, attraversato da faglie in direzione N-S, coincidenti circa con quella degli impluvi e dell'asse della frana, ha contribuito alla definizione delle condizioni di stabilità che caratterizzano l'area di studio.

Il legame tra struttura tettonica e fenomeni geomorfologici non rappresenta un caso isolato e relativo alla sola zona in esame, ma si osserva stabilmente lungo tutta la costa adriatica nel tratto fra Pesaro e Termoli.

Un secondo elemento è rappresentato dalla giacitura monoclinale delle varie unità litostratigrafiche, che immergono di norma verso ENE, con una certa obliquità rispetto alla linea di costa; l'inclinazione è debole e costante e questo elemento ha sicuramente influenzato la direttrice del movimento franoso

12.2 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Per quanto riguarda la descrizione stratigrafica delle Unità affioranti nell'area di studio si è fatto riferimento alle Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio di n. 372 - Vasto. Nell'elaborato cartografico le Unità sono state rappresentate come sub-affioranti (ovvero ricoperte da modesti spessori di suolo, di detrito, depositi eluvio colluviali); la parte alterata di substrato è stata mantenuta indistinta. La distribuzione areale dei depositi superficiali e degli accumuli di frana è riportata nell'ambito della cartografia geologica, mentre i depositi eluvio - colluviali, pur essendo molto diffusi, normalmente risultano di spessore esiguo e pertanto si è ritenuto opportuno cartografarli solo alla base dei versanti dove tendono ad accumularsi e ad avere spessore pluri-metrico.

La ricostruzione stratigrafica dei terreni nel tratto in progetto si basa principalmente sulle risultanze delle indagini geognostiche. Nella fase di interpretazione stratigrafica sono stati attribuiti vari gradi di attendibilità ai dati esaminati; in particolare sono stati considerati più attendibili i sondaggi per i quali è stato possibile effettuare osservazione diretta delle cassette catalogatrici (campagna indagini 2019) rispetto ai sondaggi di cui sono state reperite stratigrafie (indagini pregresse).

I sondaggi sono stati rappresentati nelle sezioni geologiche proiettandoli perpendicolarmente alla traccia delle sezioni, solo nel caso dei sondaggi SC1 ed SC9, vista la distanza dalle sezioni, la proiezione è stata effettuata lungo isoipsa; ciò al fine di ottenere informazioni più attendibili circa la reale geometria dei dissesti.

Nell'area in esame interagiscono due litotipi diversi; in particolare, si tratta di un termine argilloso alla base (Formazione di Mutignano, Associazione pelitico - sabbiosa FMTa) e di un termine sabbioso - arenaceo / sabbioso conglomeratico a tetto (Formazione di Mutignano, associazione sabbioso - conglomeratica FMTd e Argille e Conglomerati di Ripa Teatina RPT), in contatto stratigrafico non conforme.

La ricostruzione della stratigrafia si basa sulle risultanze delle indagini geognostiche, in particolare, con riferimento alla sezione geologica n. 1, in tutti i sondaggi realizzati a carotaggio continuo si individua un livello più superficiale costituito da limo - argilloso, limo - sabbioso di colore nocciola-avana con nuclei, spalmature e livelli centimetrici sabbiosi, che passa verso il basso a limo argilloso grigio consistente con spalmature e livelli centimetrici sabbiosi dello stesso colore (Formazione di Mutignano - associazione pelitico - sabbiosa FMTa). Lo spessore della porzione alterata in sondaggio varia da 6 a 9 metri (cfr. sondaggi SC11, A17. S1, C, B. 11, A).

Nella porzione più elevata del versante, a tetto dell'associazione pelitico – sabbiosa è stata inoltre intercettata in sondaggio (cfr. sezione 2), l'associazione sabbioso – conglomeratica e marginalmente le argille e conglomerati di Ripa Teatina costituite da sabbie - limose / sabbie di colore avana giallastro con inclusi ghiaiosi ed arenacei. Lo spessore generalmente varia dai 13 a 20 metri (cfr. sondaggi SC9 AI9), ai 30 m del sondaggio SCP2.

Collocare con precisione il limite fra le due unità non è sempre agevole a causa della forte modellazione antropica del versante; il “crostone” arenaceo, che avanza verso la costa nella parte centrale dell'area in esame, è suddiviso in vari blocchi di spessore irregolare che diminuisce verso valle. Soprattutto in prossimità del tracciato autostradale sembra trattarsi di materiale alloctono, scivolato da zone topograficamente più elevate, per frana. In località Morgetta questo crostone assume la “facies” di un conglomerato fortemente cementato, a comportamento rigido, probabilmente con una forma lenticolare e spessore di pochi metri.

Nell'elaborato GEO0002 “Planimetria e sezioni geologiche” sono riportate due sezioni geologiche e la carta geologica dell'intero versante.

12.3 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Dal punto di vista geomorfologico, il viadotto Cacchione si colloca nell'ambito di un'ampia area franosa che si sviluppa fra l'abitato di Petacciato e la vicina costa adriatica. In tale area periodicamente si riattivano movimenti gravitativi profondi che creano ripercussioni all'abitato, alla rete viaria locale e alle infrastrutture di trasporto situate nella parte bassa del versante (autostrada A14, ferrovia e strada statale). Le ultime riattivazioni dei movimenti franosi (2015, 2009 e 1996) hanno infatti richiesto diversi interventi di manutenzione e di riparazione dell'impalcato del viadotto per problematiche principalmente connesse agli appoggi, ai giunti ed al quadro deformativo della pavimentazione stradale.

La frana di Petacciato è formata dalla coalescenza di numerosi fenomeni più o meno profondi, soggetti ciclicamente a movimenti ed interagenti fra loro secondo una complessa dinamica spazio-temporale. Nel complesso, l'area franosa ha un'estensione superiore a 10 km².

Schematicamente si può considerare il versante in esame come soggetto a movimenti parziali la cui entità è legata a periodi di ritorno variabili; la zona più critica sembrerebbe essere quella compresa tra il fosso degli Ulivi (o Fosso Cacchione) ed il Fosso dei Lupi; in questo settore la presenza di fenomeni morfologici in stasi apparente è spesso presupposto di nuovi movimenti.

Le tipologie di frana più frequenti sono lo scivolamento ed il colamento, mentre le frane di crollo sono limitate alla porzione di versante in prossimità dell'abitato di Petacciato, laddove affiorano le litologie sabbioso - arenacee. Come accennato in precedenza, la dicitura “frana attiva” viene utilizzata per indicare non solo i dissesti con evoluzione stagionale ma anche le aree che, analizzate su più anni, mostrano una evidente persistenza di forme e segnali di attività. Si nota come talora le lavorazioni agricole obliterino i segnali di attività, soprattutto per i dissesti superficiali. La dicitura “frana quiescente” viene invece utilizzata per le frane che non mostrano segnali di attività, ma per le quali sussistono probabilità di riattivazione perché le cause che le hanno mobilitate non sono venute meno. Infatti, considerando una scala temporale più ampia, o qualora si verificassero fenomeni meteorici particolarmente intensi, terremoti o interventi antropici non correttamente concepiti, le frane quiescenti presenterebbero una chiara propensione alla riattivazione.

I terreni argillosi, le loro coltri di alterazione ed i depositi sciolti con presenza di matrice argillosa (frane e detriti) sono frequentemente interessati da difficoltà di drenaggio e, soprattutto sui versanti con blanda pendenza o nelle zone con contropendenze, sono spesso sede di ristagni: queste caratteristiche favoriscono l'innescò e l'accelerazione di movimenti franosi sia di coltre che più profondi. Si segnala a tal proposito la presenza di ristagni di acqua osservati lungo la stradina sia a monte che a valle del viadotto Cacchione formatisi improvvisamente anche in concomitanza di periodi di siccità. Anche i fossi in erosione possono concorrere in questo senso, mentre i cigli acclivi dei torrenti (forre) e le scarpate attive possono essere rapidamente coinvolti in fenomeni franosi.

Nella planimetria geologica, è stato cartografato un corpo di frana così come rappresentato dal progetto di cartografia geologica alla scala 1:50.000 F. 372 Vasto, sono state inoltre riportate le perimetrazioni delle principali riattivazioni storiche documentate (limite area in frana storica, limite riattivazione 1991, 1996, 2009 e 2015 quest'ultima da PRG Petacciato).

Nelle sezioni geologiche l'estensione della frana attiva è stata fatta corrispondere con l'areale più ampio tra quelli coinvolti nella riattivazione, per quanto riguarda la definizione degli spessori si è invece tenuto conto delle risultanze delle indagini geognostiche in sito e dei dati di monitoraggio inclinometrico.

Nelle sezioni geologiche, oltre alla porzione di frana attiva è stato riportato un corpo di frana quiescente. Ciò in conformità con gli studi pregressi (studio dei proff. V. Cotecchia e G. Melidoro 2002) e con i dati di monitoraggio. In particolare:

La sezione n. 1 (L = 935 m), collocata ad ovest del fosso Cacchione, evidenzia un corpo di frana con spessori massimi dell'ordine dei 40 metri. I dati di monitoraggio consentono di ricostruire un corpo principale attivo con spessori massimi nell'ordine dei 25 metri (porzione centrale del dissesto) e di circa 20 metri in prossimità del tracciato autostradale. Questa superficie è compatibile con le indicazioni del monitoraggio inclinometrico AI7 ed S1. Il dissesto si chiude a monte in corrispondenza della limite della riattivazione del 2015 ed a valle in prossimità della strada statale "Adriatica". La porzione quiescente del dissesto, in prossimità del tracciato autostradale, ha spessori dell'ordine dei 40 metri ed è compatibile con le indicazioni del monitoraggio inclinometrico AI7 ed S1.

La sezione n. 2 (L= 2110 m), collocata ad est del fosso Cacchione, evidenzia la presenza di una grande frana formata dalla coalescenza di più corpi, si chiude a monte in corrispondenza del limite della riattivazione del 2015 (abitato di Petacciato) e verso valle in prossimità della strada statale "Adriatica". Lo spessore massimo della porzione attiva, compatibile con i dati di monitoraggio inclinometrico AI9, AI5, S2, S4 ed S8, è dell'ordine degli 80 metri (porzione centrale della sezione). In prossimità del tracciato autostradale sono state rappresentate due superfici di scorrimento attive, una più superficiale a circa 20-22 metri di profondità e la seconda a circa 40 metri. Il corpo di frana attivo più superficiale, si chiude a valle in prossimità della ferrovia. La porzione quiescente del corpo di frana ha spessori massimi dell'ordine dei 100 metri nella porzione centrale della sezione e di circa 55 metri in prossimità del tracciato autostradale. La frana si chiude a valle in prossimità della linea di costa.

Sulla base di quanto descritto ed evidenziato in precedenza, si deduce che i movimenti franosi possono essere riconducibili ad un modello di frana composta nel quale prevalgono movimenti di scorrimento o scivolamento con superfici di rottura profonde e con vergenza verso N/NE.

Si sottolinea che la velocità dei fenomeni deformativi ha subito repentini incrementi in occasione di piogge persistenti e nevicate; inoltre esistono altri fattori destabilizzanti come ad esempio i sovraccarichi ed i sismi.

12.4 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Come conseguenza della situazione litostratigrafica precedentemente descritta, il quadro idrogeologico è riconducibile:

- ad un acquifero superficiale di limitato spessore e sviluppo irregolare che scorre al tetto della formazione argillosa, all'interno delle facies, con una quantità d'acqua discretamente abbondante. Prova di questo è l'esistenza, in tutta l'area di affioramento delle litofacies sabbioso-arenacee, di pozzi a uso agricolo; questi pozzi raggiungono la base della formazione, fornendo così un'indicazione diretta del suo spessore.
- ad un acquifero in pressione profondo, nei livelletti più sabbiosi o nelle fasce di argilla disturbate.

In accordo allo studio effettuato dai Proff. V. Cotecchia e G. Melidoro (2002) risulterebbe possibile stabilire che *"le precipitazioni prolungate nel tempo esercitano molto probabilmente un ruolo importante sulla rimobilizzazione del movimento franoso del pendio in esame, con eventi idrometeorici non eccezionali, come si deduce dai modesti tempi di ritorno associati ai movimenti di massa. Il periodo poi in cui detti movimenti si sono verificati (Gennaio-Marzo) farebbe ritenere che tra le cause concomitanti ci sarebbe l'innalzamento del livello della superficie della falda"* (profonda).

Si segnala inoltre la presenza di GAS sotto forma di anidride carbonica (CO₂) e metano (CH₄), la fuoriuscita di gas è stata osservata durante l'esecuzione delle indagini ed è stata verificata in laboratorio mediante l'esecuzione di analisi gascromatografiche che ne hanno definito la composizione chimica.

12.5 TIPOLOGIA DEL MOVIMENTO FRANOSO

Per quanto riguarda la terminologia adottata nella descrizione dei fenomeni si fa riferimento alla classificazione di Varnes (1978) e allo schema di questo metodo classificativo nella traduzione proposta da Carrara et al. (1983).

Per quanto riguarda l'estensione del fenomeno e la molteplicità delle cause concomitanti che lo hanno influenzato, il modello risultante è di tipo complesso ("compound slide"), con una successione di movimenti spazio-temporali differenti.

12.5.1 Zona del coronamento

La zona di coronamento coincide con il ciglio della falesia su cui sorge Petacciato. In quest'area si riconoscono elementi tipici (terrazzi morfologici, fratture) di quanto avviene nella parte sommitale di uno scorrimento rotazionale con scivolamento di blocchi ("juxtaposed slide blocks"); ciò spiega la presenza di terrazzamenti nel versante al di sotto della falesia.

Al disopra della frana di cui sopra, si riscontra la presenza di crolli di roccia ("rock fall"), ai quali sono direttamente correlabili i dissesti dell'abitato. Nelle foto di Figura 8-2, Figura 8-3 e Figura 8-5, si riscontra altresì la presenza di prismi di roccia isolati da fratture di tensione ("crown cracks") che potrebbero evolvere in frane di crollo.

In quest'area si riscontrano fenomeni di espansione laterale ("rock lateral spread") dovuti alla presenza delle argille basali che, deformandosi, causano il frazionamento del crostone arenaceo soprastante, che è contraddistinto da maggiore rigidità (Figura 8-9 Figura 8-10).

12.5.2 Parti laterali della frana

I diversi eventi franosi evidenziano chiaramente il margine settentrionale della frana, che delimita lo scorrimento rotazionale o traslativo con superficie profonda ("rotational o translational slide"). Si tratta delle fratture già citate (Figura 8-11 / Figura 8-16), che arrivano a interessare il viadotto Cacchione e che probabilmente sono la diretta conseguenza della rottura di tipo progressivo che ha interessato in profondità la formazione argillosa.

La vergenza dello scorrimento è approssimativamente verso NE, in concordanza con l'immersione della stratificazione; questa orientazione del movimento non è più riconoscibile nel settore orientale della frana (tra il Fosso dei Lupi ed il Fosso della Torre). Non sono invece osservabili movimenti di "lateral spread" di entità significativa.

Alcune evidenze superficiali, soprattutto lungo la strada vicinale che sottopassa l'autostrada all'altezza della spalla lato Pescara del viadotto Marinella, suggeriscono una particolare accentuazione del movimento in questa zona laterale, con fenomeni di colamento dei primi metri del terreno ("flows in soil"). Questi movimenti, guidati dalla morfologia, talvolta hanno una vergenza riconoscibile e sono responsabili di alcuni spostamenti corticali che hanno danneggiato manufatti. Si può altresì evidenziare, sulla base di elementi quali le lesioni / fessure delle abitazioni e torsione dei tronchi degli ulivi, la presenza di movimenti superficiali di colamento molto lenti ("soil creep").

12.5.3 Zona al piede

Nell'area dal viadotto Marinella, verso il litorale, si osservano evidenze di rigonfiamento con fratture longitudinali ("transverse cracks") e berme in sollevamento ("transverse ridges"), tipiche della zona al piede di frana, responsabili di alcune lesioni nei manufatti stradali e ferroviari.

Gli affioramenti argillosi sulla battigia (osservati ad esempio nelle riattivazioni del 1991 e del 2009) possono essere considerati come l'estrema propaggine della frana, a circa 2 km di distanza dal coronamento, tutto ciò a meno di eventuali zone interessate da modeste deformazioni collocate sul fondo marino che, a causa delle loro caratteristiche intrinseche, sfuggono all'osservazione.

12.6 SINTESI

Da quanto descritto ed evidenziato in precedenza, si deduce che i movimenti franosi possono essere riconducibili ad un modello di frana composta nel quale prevalgono movimenti di scorrimento o scivolamento rotazionali / traslazionali con superfici di rottura poste a diversa profondità e con vergenza generale verso NE.

La zona più critica tra quelle di interesse per le opere in progetto, ovvero quella con più frequenti riattivazioni, afferisce al tratto compreso tra il Fosso degli Ulivi (o Fosso Cacchione) ed il Fosso dei Lupi. Sulla base degli studi effettuati non si può tuttavia escludere che in futuro possano verificarsi fenomeni di entità superiore, ovvero tali da interessare aree più ampie se non addirittura l'intera superficie della frana storica e le aree ad ovest del Fosso degli Ulivi (o Fosso Cacchione).

Da un punto di vista progettuale è utile distinguere i fenomeni franosi relativamente superficiali (spessori non superiori a 12-15 m) dai fenomeni franosi profondi per i quali gli interventi di stabilizzazione tradizionali non sembrano essere risolutivi (si vedano ad esempio quelli realizzati a seguito dell'evento del 1979). Per i fenomeni franosi profondi la scelta più opportuna dal punto di vista del geologo sembra essere quella suggerita anche nello studio Melidoro & Mazzabotta, 1996, ovvero:

- Ricorrere al monitoraggio e alla sorveglianza continua dell'area.
- Eseguire periodici interventi di manutenzione delle opere con totale o parziale interruzione del traffico.

13 PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

In questo ambito si ribadiscono le principali criticità geologiche che possono avere influenza per la progettazione delle opere:

- Il viadotto Cacchione si trova nell'ambito di un'ampia area franosa che si sviluppa fra l'abitato di Petacciato e la vicina costa adriatica. In tale area, periodicamente, si riattivano movimenti gravitativi profondi che hanno creato problemi all'abitato, alla viabilità di accesso all'abitato e alle infrastrutture di trasporto situate nella parte bassa del versante (autostrada A14, ferrovia e strada statale). Le ultime importanti riattivazioni dei movimenti gravitativi profondi sono state registrate nel 1979, nel Gennaio 1991, il 15 Marzo 1996, il 20 Febbraio 2009 ed il 18 Marzo 2015. Alcuni documenti segnalano riattivazioni precedenti negli anni 1880, 1883, 1906, 1916, 1932 e 1955, mentre altri documenti anche negli anni 1938, 1953, 1954, 1956, 1960 e 1966. La frana di Petacciato è formata dalla coalescenza di fenomeni più o meno profondi, soggetti ciclicamente a movimenti ed interagenti fra loro secondo una complessa dinamica spazio-temporale; si tratta di un'area franosa che ha un'estensione superiore a 10 km². Schematicamente si può considerare il versante in esame come soggetto a movimenti parziali la cui entità è legata a periodi di ritorno. Tra le zone più critiche, prossime all'arele di studio, si segnala quella compresa tra il fosso degli Ulivi (o Fosso Cacchione) ed il Fosso dei Lupi. La presenza di fenomeni morfologici in stasi apparente (quiescenti), è solamente il presupposto di nuovi movimenti.
- La presenza sui versanti di deformazioni superficiali lente (soliflussi e creep) deve essere considerata con cautela a causa della possibile evoluzione dei fenomeni, da annoverarsi fra quelli attivi ed equiparabili a frane di coltre o superficiali, in particolar modo quando si manifestano su terreni prevalentemente argillosi.
- Gli elaborati PAI (Carta della Pericolosità da Frana e Valanga) segnalano su tutto il versante nord – orientale a valle dell'abitato di Petacciato, compresa la zona interessata dalle opere in progetto, la presenza di un'area classificata a Pericolosità da Frana e Valanga Elevata (PF2);
- La cartografia IFFI evidenzia la complessità del fenomeno franoso che interessa tutto il versante nord – orientale a valle dell'abitato di Petacciato, caratterizzato dalla presenza di due corpi di frana principali di tipo complesso e da numerosi corpi "secondari" con tipologia da complesso a scivolamento a colamento lento. Il Fosso degli Ulivi, su cui si imposta il viadotto Cacchione, rappresenta il limite occidentale del corpo di frana principale che si sviluppa a valle dell'abitato di Petacciato, oltre a questo, sia in sinistra che in destra idrografica del fosso, sono stati cartografati diversi corpi di frana tutti con stato di attività quiescente e la cui causa è stata attribuita a "precipitazioni breve ed intense / precipitazioni eccezionali prolungate".
- Nella carta geologica d'Italia alla scala 1.50.000 (Foglio 372 Vasto) è cartografata l'area interessata dalla "Grande Frana di Petacciato" che coinvolge tutto il versante nord – orientale a valle dell'abitato di Petacciato e alla cui base si collocano le opere in progetto.
- P.R.G. Comune di Petacciato: tra i documenti di piano consultati, si segnala l'elaborato 1a "Riperimetrazione del Movimento Franoso" (Maggio 2016) resasi necessaria a seguito dell'evento franoso del 18/03/2015.
- La "Carta della Pericolosità" inserita tra i documenti del P.T.C.P. come "Tavola di Analisi" della Componente Ambientale indica tutta l'area interessata dalla frana di Petacciato come classificata a "Pericolosità Elevata" da P.A.I
- P.R.G. Comune di Petacciato: con riferimento alla tavola C2 "Carta d'Uso del Suolo o delle penalità ai fini edificatori" si segnala che le opere in progetto ricadono in un'area classificata come "Terreno Pessimo". Con riferimento alla Tavola A2 "Carta Geomorfologica con ubicazione indagini geognostiche", le opere in progetto si collocano in un'area interessata da una frana di con stato di attività quiescente.

- Si segnala la presenza di materiali contraddistinti da scadenti caratteristiche meccaniche (coltri di alterazione del substrato, depositi eluvio colluviali, materiale di riporto) e la presenza di depositi prevalentemente argillosi. I terreni fini risultano compressibili, il che deve essere debitamente considerato al fine di eliminare/contenere al massimo i potenziali cedimenti, anche differenziali.
- Le litologie a prevalente componente sabbiosa sono potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione. La liquefazione potrebbe verificarsi in occasione di eventi sismici di particolare intensità. In ragione delle caratteristiche geologiche riscontrate lungo tutto il tracciato, il progettista deve valutare con attenzione la possibilità che si possano innescare fenomeni di liquefazione;
- La vicinanza di infrastrutture (Ferrovia, strade di vario tipo, ecc.) in prossimità delle opere rappresenta un elemento da considerare con la massima attenzione, in quanto una variazione inopportuna dello stato tensionale dei terreni dovuta alla realizzazione di interventi di vario tipo può generare problemi.
- Si segnala la presenza di acque stagnanti. In diverse occasioni queste stagnazioni sono state osservate anche dopo diversi giorni di siccità; in particolare, si segnala la formazione di "ristagni" lungo la stradina sia monte che valle del tracciato autostradale che a valle, in prossimità della spalla sud del viadotto Cacchione.
- I dati di monitoraggio piezometrico indicano la presenza in profondità di livelli superiori al piano di campagna. Di conseguenza appare evidente che l'area in esame è interessata da moti di filtrazione diretti verso l'alto e da gradienti di pressione superiori a quelli idrostatici determinati con livelli di falda prossimi al piano campagna. La differenza tra livelli piezometrici reali e livelli piezometrici idrostatici determinati assumendo la falda prossima al piano campagna cresce con l'aumentare della profondità.
- All'interno di alcuni sondaggi è stata osservata presenza di gas (bollicine); l'analisi gascromatografica effettuata su n.4 campioni di fluido prelevati dai fori di sondaggio ha evidenziato la presenza, in corrispondenza di tutti i punti di analisi, di metano (CH₄) ed anidride carbonica (CO₂) (es. sondaggio I3 - CO₂ = 3480 µg/L).
- Considerato che la realizzazione del rilevato in attraverso l'alveo del fosso Cacchione, sarà necessario verificare con grande attenzione le condizioni del deflusso anche nel caso si verificassero eventi piovosi di eccezionale intensità.
- Con riferimento al "Database of Individual Seismogenetic Sources - DISS 3.2.1", si osserva che le opere in progetto ricadono ad una quindicina di chilometri verso sud rispetto alla zona governata dalla sorgente sismogenetica "ITCS059 Tocco-Casauria-Tremiti"
- L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, segnala diversi eventi sismici recenti nei pressi del tracciato oggetto di studio.

Si sottolinea che, visto lo stato di attività dei dissesti, non è possibile escludere il rischio di collasso/movimento dei terreni coinvolti nei fenomeni franosi. In ragione di quanto sopra, si raccomanda d'intervenire immediatamente adottando tutte le contromisure necessarie per garantire la sicurezza del tratto autostradale di cui in oggetto. In particolare si ribadisce quanto detto in premessa, ovvero che, dal punto di vista del geologo, il presente progetto è fattibile se e solo se la sicurezza dell'infrastruttura nei confronti dei fenomeni franosi sarà garantita in ogni istante tramite un monitoraggio continuo redatto sulla base dei contenuti di uno specifico protocollo di gestione delle emergenze.

Per completezza ed al fine di sottolineare l'importanza di una corretta progettazione dei sistemi di monitoraggio, qui di seguito si riportano alcuni passaggi della lettera *Prot. 7302-I/8 (16 aprile 2018 Bari)* – *Comune di Petacciato (CB) – Situazione ad alto rischio frana che interessa infrastrutture strategiche*

(Ferrovia Adriatica e Autostrada Adriatica A14", indirizzata dalla Prof.ssa Ing. F. Cotecchia e dalla Dott.ssa F. Santaloia a diversi Organi Istituzionali (Ministeri, Protezione Civile, Distretto Appennino Meridionale, Regione Molise, Comune di Petacciato e Ferrovie dello Stato):

“ Con la presente si sottopone alla Vostra attenzione la situazione di alta pericolosità da frana, dunque di alta probabilità che si verifichi attività franosa, nel tratto della costa adriatica sottostante l'abitato di Petacciato (Molise), sede di infrastrutture strategiche per il paese, quali la Ferrovia Adriatica e l'Autostrada Adriatica A14, ove tale attività franosa può comportare danno per la salute pubblica e per il funzionamento delle infrastrutture se non se ne mitiga opportunamente il rischio ... Si sente l'obbligo di richiamare alla vostra attenzione le criticità presenti in detto versante poiché, nel contesto di più recenti studi del processo franoso ... è stato possibile per la prima volta visualizzare l'evoluzione, in un intervallo temporale pluriennale, di parte degli spostamenti in profondità nella zona di piede dei corpi franosi, misurati dalla Rete Ferroviaria Italiana tramite sistema di monitoraggio geotecnico in continuo ... Come illustrato nella Relazione Conclusiva consegnata a RFI, il processo franoso è da ritenersi attivo e conferisce tuttora al tratto costiero ed al versante il carattere di critica instabilità, che è potenziale causa di danno per la salute pubblica, oltre che per la continuità di funzionamento delle infrastrutture strategiche in oggetto. Da qui la conferma dell'urgenza che si attui la stabilità del versante ... Per cui si evidenzia che, sin quando non si stabilizzi il versante, nelle strategie di gestione per la mitigazione degli effetti dannosi della franosità, vanno contemplati i limiti entro cui il sistema di monitoraggio geotecnico può fornire indicazioni della riattivazione franosa con l'avanzare del tempo ... Si evidenzia che la progettazione di sistemi di monitoraggio a tali fini, in un contesto come quello del pendio di Petacciato, è complessa da un punto di vista geotecnico, e deve anche essere di carattere multidisciplinare per una sua reale efficacia ...”

14 BIBLIOGRAFIA

Cancelli A., Pellegrini M., Tonnetti (1984) "Geological of landslides along the Adriatic coast (Central Italy)" Proc. Int. Symposium on Landslides, Toronto 2, 7-12.

Carrara et al. (1983) "A multivariate model for landslide hazard evaluation" Mathematical Geology, v. 15, 403-426.

Casnedi R., Crescenti U., D'Amato C., Mostardini F., Rossi U. (1981) "Il Plio-Pleistocene del sottosuolo molisano" Geologica Romana, XX, 1-41.

Esu F., Grisolia M. (1991) "La stabilità dei pendii costieri adriatici tra Ancona e Vasto" Università degli Studi di Roma "La Sapienza", C.N.R., G.N.D.C.I., Pubbl. n. 464 (U.O. 2.18), 55-79.

Gori U., Mezzabotta M. (1995) "Sul cinematiso della frana costiera dell'abitato di Petacciato (CN)" 1° Convegno Gruppo Nazionale Geol. Appl., La Città Fragile in Italia, Gardini Naxos (ME).

Guerricchio A., Melidoro G., Simeone V. (1994) "Le grandi frane di Petacciato sul versante costiero Adriatico (Molise)" Atti 77° Congresso Soc. Geol. It. Di Bari, Mem. Soc. It., LI, Roma, 607-632.

Guerricchio A., Melidoro G. (1996) "Deformazioni gravitative dei versanti costieri di Vasto (Abruzzi)" Convegno Internazionale, La Prevenzione delle Catastrofi Idrogeologiche: il Contributo della Ricerca Scientifica, 369-381.

Melidoro G., Mezzabotta M. (1996) "Monitoraggio ultrasecolare delle deformazioni gravitative costiere adriatiche" Convegno Internazionale, La Prevenzione delle Catastrofi Idrogeologiche: il Contributo della Ricerca Scientifica, 343-356.

Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Presidenza della Regione Molise, "Movimenti Franosi nel Comune di Petacciato (Provincia di Campobasso) - Studi, Rilevamenti dell'Area in Frana, Indagini e Orientamenti Progettuali - Studi, Rilevamenti dell'Area In Frana e Indagini", Giugno 2002:

- All.00 – Relazione Generale
- All.02/a – Carta Geologica e Geomorfologica
- All.02/b – Andamento Livelli Piezometrici nel versante in Frana
- All.02/f – Deformate Inclino metriche
- All.04 – Stratigrafie dei Sondaggi Geognostici (Regione Molise)
- All.07 – Rilievi Inclino metrici e Piezometrici
- All.11 – Relazione Geotecnica
- All.12 – Relazione sulle Verifiche di Stabilità.

Varnes, D. J. (1978) "Slope movement types and processes" In: Landslide Analysis and Control: In Schuster, R. L., Krizak, eds. Transportation Research Board Special Report No. 176, National Academy of Sciences, Washington, D. C., P. 11-33.

Regione Lombardia – protezione Civile, Polizia Locale e Sicurezza: Frane in Lombardia (2012).