



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

Bolognetta S.c.p.a.

Contraente Generale:
Ing. *Pierfrancesco Paglini*

Il Responsabile Ambientale:
Dott. Maurizio D'angelo

Bolognetta S.c.p.a.

PERIZIA DI VARIANTE

Titolo elaborato:

**"TRATTO SCORCIAVACCHE"
GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA
GEOLOGIA GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA
Relazione geologica**



Codice Unico Progetto (CUP) : **F41B03000230001**

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	S V	G E	R T 0 5	5	0

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	SVGERT05	1=1	4 1 3 7	-
5				
4				
3				
2				
1				
0	PRIMA EMISSIONE		Ottobre 2017 F. Brunamonte	S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Il Progettista Responsabile <i>Prof. Ing. Mario Manassero</i> 	Il Geologo <i>Dott. Fabio Brunamonte</i> 	Il Coordinatore per la Sicurezza in fase di esecuzione: <i>Ing. Francesco Cocciantè</i> Il Coordinatore per la sicurezza in fase di Esecuzione <i>Ing. Francesco Cocciantè</i>	Il Direttore dei Lavori: <i>Ing. Sandro Favero</i> Il Direttore dei Lavori <i>Ing. Sandro Favero</i>
--	---	---	---

ANAS S.p.A.		VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	
DATA:	PROTOCOLLO:		
CODICE PROGETTO	LO410C E 1101	<i>Dott. Ing. Ettore de Cesbron de la Grennelais</i>	

INDICE

1	PREMESSA	2
1.1	Documenti di riferimento	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	5
3	INVENTARIO DEL DISSESTO.....	9
3.1	Piano di Assetto Idrogeologico	9
3.1	Inventario IFFI	9
4	CAMPAGNA GEOGNOSTICA	13
4.1	Indagini Progetto definitivo	13
4.2	Indagini Progetto Esecutivo	14
4.3	Indagini Incidente probatorio (2015)	14
4.4	Indagini integrative presente progetto (2017)	15
5	GEOLOGIA	16
5.1	Inquadramento geologico-strutturale	16
5.2	Caratterizzazione dell'area di progetto	21
5.3	Geologia del sito	25
6	GEOMORFOLOGIA.....	28
6.1	Lineamenti generali	28
6.2	Assetto geomorfologico dell'area di intervento	30
6.3	Fenomeni di instabilità	33
6.4	Quadro deformativo di sottosuolo nell'area di intervento	36
7	IDROGRAFIA, CLIMA E IDROLOGIA	46
7.1	Idrografia	46
7.2	Idrologia	47
8	IDROGEOLOGIA	49
8.1	Inquadramento	49
8.2	Assetto idrogeologico del tratto stradale in esame	51
9	MACROSISMICITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA LOCALE	65
9.1	Assetto sismotettonico	65
9.2	Caratteristiche della sismicità	66
9.3	Classificazione sismica	68
10	BIBLIOGRAFIA	77

1 PREMESSA

Nella presente relazione è illustrato, a supporto della progettazione esecutiva dell'intervento, il quadro geologico, stratigrafico, idrogeologico e macrosismico del settore interessato dal rifacimento del rilevato dell'asse principale della S.S. 121 tra le progr. 11+140 ÷ 11+509.

Dopo il completamento della realizzazione del tratto in esame, nell'ambito dei "Lavori di ammodernamento della S.S. 121 tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2)", tra la fine del dicembre 2014 ed i primi giorni del gennaio 2015, in corrispondenza del tratto di approccio alla spalla nord del viadotto Scorciavacche 2 (all'incirca tra le progr. 11+500 ÷ 11+450) si sono verificate alcune significative deformazioni del rilevato OS90, con cedimento di oltre 2 m della sede stradale.

Successivamente, nel febbraio 2015 un secondo dissesto si è verificato nel tratto di rilevato all'incirca compreso tra le progressive 11+357 ÷ 11+395, con caratteristiche analoghe a quelle del fenomeno precedente. Tracce di fessurazioni e deformazioni sono state rilevate sul manto stradale anche nel tratto di rilevato compreso tra le due porzioni direttamente interessate dai dissesti avvenuti.

A seguito dei suddetti fenomeni deformativi il Tribunale di Termini Imerese ha avviato un procedimento giudiziario, nel corso del quale è stata condotta una Consulenza Tecnica volta, tra i vari aspetti, a ricostruire le cause dell'evento. Nel corso di tale attività di CTU sono stati eseguiti, tra gli altri, studi geologici, nuove indagini geognostiche anche con installazione di strumentazione in sito, prove geotecniche di laboratorio, attività di monitoraggio su un intervallo temporale significativo della circolazione idrica sotterranea e dei movimenti in atto nel sottosuolo.

Il complesso delle attività svolte ha consentito di integrare e, di conseguenza, migliorare significativamente il quadro conoscitivo del sottosuolo disponibile dalle precedenti indagini condotte nell'ambito delle fasi progettuali dell'opera. Nell'ambito del presente progetto, inoltre, sono state programmate da parte degli scriventi ulteriori indagini geognostiche per la verifica puntuale dell'area di impronta del tracciato, che al maggio 2017 è stato possibile realizzare solo in parte (nuovo sondaggio S1_SCR).

Nel complesso la definizione del modello geologico di riferimento a supporto del presente Progetto ha comportato:

- la revisione critica della documentazione conoscitiva e progettuale resa disponibile con le precedenti fasi di progettazione;
- l'aggiornamento del quadro geologico-strutturale d'insieme sulla base della Nuova Carta geologica d'Italia a scala 1:50.000 (ISPRA, F. 608 – Caccamo) pubblicato successivamente agli studi di Progetto Definitivo ed Esecutivo;
- una nuova ricostruzione dell'assetto del volume di sottosuolo significativo per l'intervento attraverso l'analisi integrata delle precedenti indagini, dei nuovi elementi acquisiti con la Campagna geognostica condotta nell'ambito della CTU, nonché del sondaggio realizzato appositamente;
- l'analisi del quadro deformativo di superficie integrato con i nuovi dati sulle deformazioni in atto nel sottosuolo acquisite con i rilievi svolti nel periodo Ottobre 2015-Giugno 2016 nell'ambito della CTU giudiziaria;
- l'esame in sito dello stato dei luoghi, finalizzato in modo specifico al rilevamento degli elementi deformativi di superficie, delle evidenze relative alla circolazione idrica sotterranea e alle tendenze evolutive del reticolo idrografico locale.

La Relazione, sulla base dell'insieme delle attività di analisi e di rilievo in sito, illustra:

- il contesto di inquadramento geologico-strutturale fornito con le ricerche più recenti;
- il modello stratigrafico puntuale del volume di sottosuolo significativo per l'intervento;
- lo schema della circolazione idrica sotterranea che riveste un ruolo di primaria importanza nella mobilitazione dei fenomeni di instabilità di natura gravitativa.

Il quadro conoscitivo ottenuto per il tratto interessato dall'intervento di ricostruzione del corpo stradale è illustrato nelle seguenti Tavole, di nuova elaborazione, che costituiscono parte integrante della Relazione:

- | | |
|---------------------------------------|------------------|
| - Planimetria ubicazione indagini | scala 1:1.000; |
| - Carta geologica | 1:2.000; |
| - Carta geomorfologica | 1:2.000; |
| - Carta idrogeologica | 1:2.000; |
| - Profilo geologico in asse tracciato | 1:1.000 / 1:100; |
| - Sezioni geologiche | 1:200. |

1.1 Documenti di riferimento

Per la redazione della presente relazione si è fatto riferimento, inoltre, ai seguenti elaborati:

[1] Tribunale di Termini Imerese – Sezione GIP. Procedimento Penale N. 1995/15 R.G. notizie di reato N. 1632/15 R.G. G.I.P.. G.I.P. Dott. Michele Guarnotta. “Lavori di ammodernamento della Strada Statale 121 – Lotto funzionale n. 2. Allegato G – Indagini Geotecniche e Geologiche, Tomografie elettrica 3D” alla “Relazione di consulenza tecnica”. Luglio 2016.

La presente Relazione è svolta in ottemperanza al D.M. 14/01/2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” ed alla Circolare n. 617 “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14/01/2008” emessa dal C.S.LL.PP. in data 02/02/2009.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

A scala d'insieme il tratto di S.S. 121 comprendente l'intervento si localizza poco a sud dell'abitato di Villafrati tra le progressive di progetto km 10+460 ÷ 12+500. Il tracciato, superata la blanda soglia compresa tra le alture del Cozzo Fontanazze e del Cozzo Barone, relativa allo spartiacque locale, scende gradualmente di quota verso il territorio di Mezzojuso, percorrendo la piana percorsa dal Vallone Fratina (Fig. 2.1). In questo settore le opere d'arte di maggiore rilevanza presenti sono rappresentate dai Viadotti Scorciavacche 1 e 2, entrambi completamente ricostruiti nell'ambito dei Lavori di ammodernamento del tracciato.



Fig. 2.1. Stralcio della Carta Topografica d'Italia a scala 1:25.000, Tav. F. 259 – IV SO Ciminna, di inquadramento dell'area in esame. La carta, elaborata sulla base del rilievo aerofotogrammetrico e di sistematici rilievi di terreno, è aggiornata al 1970 e consente in tal modo di verificare l'assetto del territorio precedentemente alla realizzazione della strada. Il tracciato, in fase di progetto e realizzazione della nuova sede della S.S. 121 è indicato tramite la doppia linea tratteggiata decorrente in prossimità del fondovalle. La griglia quadrata corrisponde al reticolato UTM, con lato dei quadrati = 1 km. Il circolo in colore rosso individua il sito di intervento.

Lo stralcio della carta topografica riportato in Fig. 2.1, derivante dai rilievi condotti nel 1970, ovvero nel periodo di realizzazione della sede stradale originaria della S.S. 121 (quella soggetta recentemente a lavori di ammodernamento), consente di esaminare sia l'assetto morfologico del settore del rilievo in cui si inserisce sia le soluzioni ingegneristiche adottate e i possibili effetti di interferenza sul reticolo di scorrimento superficiale in ambito locale.

Il contesto morfologico generale è riferibile ad un territorio collinare articolato dal modellamento erosivo ad opera del reticolo locale. Il tracciato stradale si svolge in fregio al fondovalle di una vallecola affluente del Vallone Frattina, in prossimità del piede del blando pendio degradante in destra idrografica (Figg. 2.2+2.3).

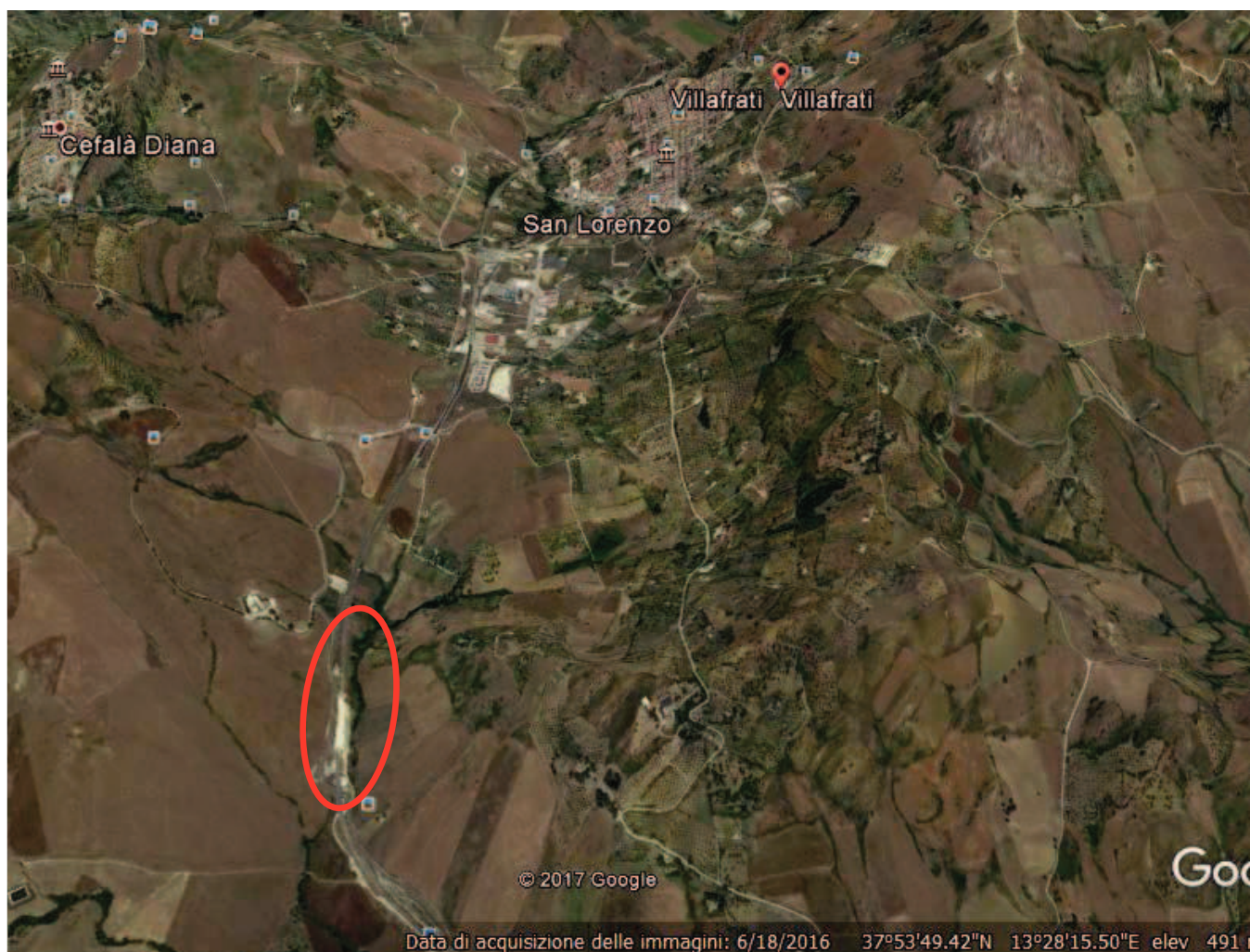


Fig. 2.2. Tracciato della S.S. 121 a sud dell'abitato di Villafrati, nell'ambito del quale si localizza l'intervento indicato con il circolo in colore rosso (Immagine tratta da Google Earth, 2017).



Fig. 2.3. Dettaglio del tratto di sede stradale della S.S. 121 oggetto dell'intervento di rifacimento. Nella ripresa è visibile il tratto terminale del Viadotto Scorciavacche 2 e il rilevato di approccio sul lato nord, in parte asportato nel corso delle indagini svolte per gli accertamenti giudiziari (Immagine tratta da Google Earth, 2017).

Il tratto interessato dal rifacimento del corpo stradale, tra le progr. 11+140 ÷ 11+509 nello specifico, è disposto con andamento pressoché rettilineo e direzione complessiva NNE – SSO lungo il fondovalle dell'impluvio minore. Il corpo stradale, per lo più impostato su un rilevato di altezza significativa, compresa tra 4 ÷ 7 m, rappresenta il segmento di raccordo tra il tratto precedente, posto a mezza costa o su rilevato di modesta altezza, e il successivo nuovo Viadotto Scorciavacche 2, alla cui spalla nord si arresta.

Nella zona in esame, la sede stradale originaria della S.S. 121, rimossa a seguito della realizzazione del nuovo tracciato, si svolgeva interamente in viadotto (Viad. Scorciavacche 2, lunghezza = 585 m). L'intervento di adeguamento prevedeva inizialmente la realizzazione di

2 opere d'arte, i Viad. Scorciavacche 2a (lunghezza = 170 m) e Scorciavacche 2b (lunghezza = 285 m), raccordati da un tratto intermedio in rilevato (lunghezza = 101 m).

Nel corso del Progetto definitivo, a seguito di istruttoria di ANAS in fase di Revisione 02 (Dicembre 2010 / approvata il 24 Febbraio 2011), si procedeva ad una riduzione nella lunghezza del viadotto Scorciavacche 2b (L = 175 m) e all'eliminazione del viadotto 2a, prevedendo in questi tratti la sede stradale in rilevato ordinario e in terre rinforzate per uno sviluppo complessivo di circa 400 m.

3 INVENTARIO DEL DISSESTO

Per un completo inquadramento dei fenomeni di dissesto in atto o potenzialmente interferenti con il tracciato stradale oggetto di adeguamento, sin dalla fase di progetto definitivo sono stati acquisiti gli elementi conoscitivi resi disponibili dagli strumenti di pianificazione territoriale sovraordinati, quali il Piano di Assetto Idrogeologico, e di censimento dei fenomeni gravitativi (IFFI).

3.1 Piano di Assetto Idrogeologico

La consultazione degli elaborati del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico relativo al bacino del Fiume San Leonardo, in cui ricade l'area di progetto per l'intervento complessivo, ha messo in evidenza che il territorio interessato è caratterizzato da una diffusa "fragilità" intrinseca legata soprattutto a fattori geomorfologici.

Con specifico riferimento al tratto interessato dall'intervento di rifacimento (progr. 11+140 ÷ 11+509) stralci della Carta dei Dissesti e della Carta della Pericolosità e del Rischio geomorfologico (Tav. 09) redatti dall'Autorità di Bacino, relativi all'areale circostante sono riportati rispettivamente nelle Figg. 3.1 e 3.2.

I fenomeni individuati più prossimi interferenti il tracciato stradale o che potrebbero interessarlo in caso di rimobilizzazione sono rappresentati da un colamento lento classificato come inattivo (elemento 033-6ME-032) e da un colamento lento attivo (elemento 033-6ME-050) inserito in classe P2 di pericolosità (pericolosità media). Per quest'ultimo elemento la scheda di sintesi allegata alla documentazione PAI è riportata nella Fig. 3.3.

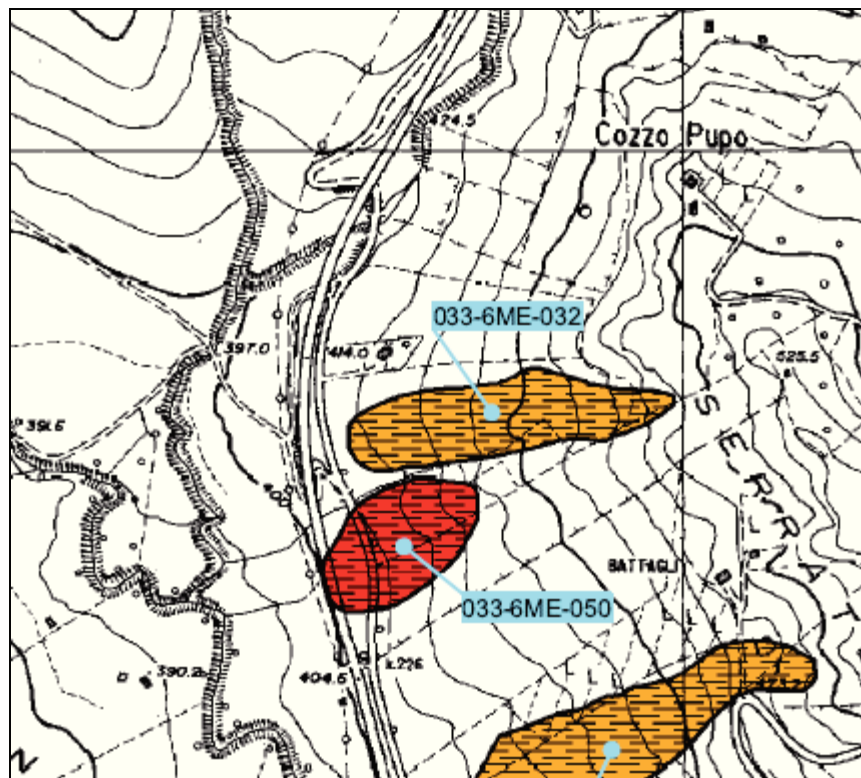
I movimenti gravitativi, posti entrambi sul versante idrografico sinistro dell'incisione torrentizia confluyente poco più a valle nel Vallone Fratina, si rilevano a partire dalla progr. 11+820 (a valle del Viadotto Scorciavacche 2), non interessando quindi né in modo diretto, né indirettamente il tratto in oggetto.

Per quanto riguarda la pericolosità ed il rischio idraulico, invece, la cartografia PAI non riporta elementi o tematismi relativamente all'area in studio.

3.1 Inventario IFFI

La consultazione della cartografia online del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia - Regione Sicilia

(2006) non ha messo in evidenza la presenza di fenomeni di dissesto cartografati nell'ambito dell'area in studio.



FENOMENI FRANOSI

	Crollo e/o ribaltamento
	Colamento rapido
	Sprofondamento
	Scorrimento
	Frana complessa
	Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
	Colamento lento
	Area a franosità diffusa
	Deformazione superficiale lenta
	Calanco
	Dissesti conseguenti ad erosione accelerata

STATO DI ATTIVITA'

	Attivo
	Inattivo
	Quiescente
	Stabilizzato artificialmente o naturalmente

Fig. 3.1. Aree in dissesto. Comune di Mezzojuso, estratto da Carta dei Dissesti n° 09, sezione 608100.

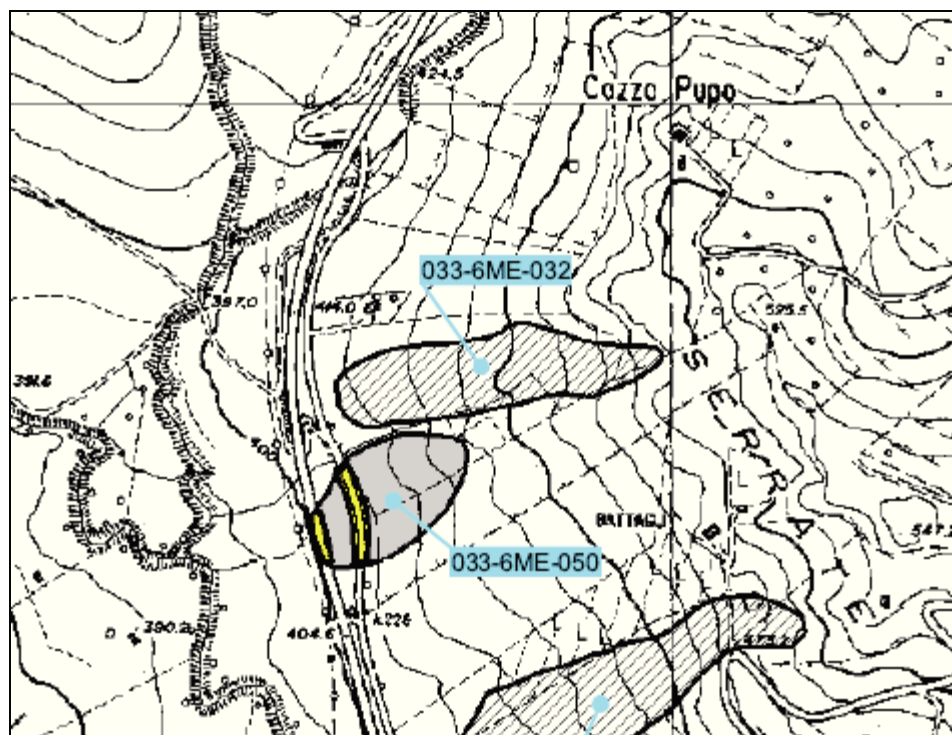


Fig. 3.2. Aree con pericolosità geomorfologica ed elementi a rischio. Comune di Mezzojuso, estratto da Carta della Pericolosità e del Rischio geomorfologico n° 09, sezione 608100.

SCHEDA RIEPILOGATIVA DEI DISSESTI GEOMORFOLOGICI - pag. 1																							
COMPILAZIONE ID <input type="text" value="50"/> Data compilazione <input type="text" value="03/05/2003"/> Sigla <input type="text" value="R19-033-N-I-6ME-050"/> Compilatore <input type="text" value="INNOCENTE"/> Data evento <input type="text"/> Eventi prec 1 <input type="text"/> Eventi prec 2 <input type="text"/>		LOCALIZZAZIONE Bacino idrografico <input type="text" value="San Leonardo - Palermo"/> Provincia <input type="text" value="PA"/> Comune <input type="text" value="MEZZOJUSO"/> Codice ISTAT <input type="text" value="82047"/> Località <input type="text" value="Serrate"/> IGM 1: 50000 CRT 1: 10000 <input type="text" value="608"/> <input type="text" value="608100"/>																					
CLASSIFICAZIONE FRANA Espansione laterale-DGPV <input type="checkbox"/> Deformazioni superficiali lente (creep o soliflusso) <input type="checkbox"/> T 1 <input checked="" type="checkbox"/> Area a franosità diffusa <input type="checkbox"/> Colamento lento <input checked="" type="checkbox"/> Scorrimento <input type="checkbox"/> T 2 <input type="checkbox"/> Frana complessa <input type="checkbox"/> Crollo e/o ribaltamento <input type="checkbox"/> Colamento rapido <input type="checkbox"/> T 3 <input type="checkbox"/> Sprofondamento <input type="checkbox"/>		ATTIVITA' Attiva o riattivata <input checked="" type="checkbox"/> Inattiva <input type="checkbox"/> Quiescente <input type="checkbox"/> Stabilizzata naturalmente o artificialmente <input type="checkbox"/>																					
CLASSIFICAZIONE FENOMENO EROSIONO Calanchi <input type="checkbox"/> Erosione concentrata <input type="checkbox"/> T 1 Erosione laterale o di sponda <input type="checkbox"/> Erosione diffusa <input type="checkbox"/>		MORFOMETRIA FRANA Lunghezza max (m) <input type="text" value="0"/> Larghezza max (m) <input type="text" value="0"/> Profondità max (m) <input type="text" value="0"/>																					
USO DEL SUOLO Aree Urbanizzate <input type="checkbox"/> Mosaici culturali <input type="checkbox"/> Aree Verdi Urbane <input type="checkbox"/> Incolto roccioso <input type="checkbox"/> Aree Archeologiche <input type="checkbox"/> Bosco Naturale <input type="checkbox"/> Seminativo <input checked="" type="checkbox"/> Rimboschimento <input type="checkbox"/> Seminativo Arborato <input type="checkbox"/> Pascolo <input type="checkbox"/> Colture Specializzate <input type="checkbox"/> Macchia <input type="checkbox"/> Colture in serra e tendoni <input type="checkbox"/> Zone umide <input type="checkbox"/> Legnose agrarie miste <input type="checkbox"/>		GEOLOGIA Terreni di riporto <input type="checkbox"/> Rocce Metamorfiche <input type="checkbox"/> Detrito <input type="checkbox"/> Rocce magmatiche <input type="checkbox"/> Conglomerati e breccie <input type="checkbox"/> Terreni prevalentemente limosi <input type="checkbox"/> Marna <input type="checkbox"/> Terreni prevalentemente ghiaiosi <input type="checkbox"/> Argille <input checked="" type="checkbox"/> Terreni prevalentemente argillosi <input type="checkbox"/> Arenarie <input type="checkbox"/> Terreni prevalentemente sabbiosi <input type="checkbox"/> Rocce carbonatiche <input type="checkbox"/> Rocce gessose <input type="checkbox"/>																					
SCHEDA RIEPILOGATIVA DEI DISSESTI GEOMORFOLOGICI - pag. 2																							
ID <input type="text" value="50"/>		Sigla <input type="text" value="R19-033-N-I-6ME-050"/>																					
ELEMENTI A RISCHIO <table border="0"> <tr> <td>Servizi Pubblici e Privati <input type="checkbox"/></td> <td>Nucleo Abitato <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Impianti Sportivi e Ricreativi <input type="checkbox"/></td> <td>Insediamenti Artigianali ed Industria <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Case Sparse <input type="checkbox"/> E 1</td> <td>Impianti D P R 175/88 <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Insediamenti Agricoli e Zootecnici <input type="checkbox"/></td> <td>Gasdotti, elettrodotti <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Cimiteri <input type="checkbox"/></td> <td>Autostrade <input type="checkbox"/> E 3</td> </tr> <tr> <td>Strade Provinciali e Comunali <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Strade Statali <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Acquedotti <input type="checkbox"/> E 2</td> <td>Linee Ferroviarie <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Fognature <input type="checkbox"/></td> <td>Patrimonio Ambientale <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Impianti di Depurazione e trattamento rifiuti <input type="checkbox"/></td> <td>Beni storici/architettonici <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Centro Abitato <input type="checkbox"/> E 4</td> </tr> </table>				Servizi Pubblici e Privati <input type="checkbox"/>	Nucleo Abitato <input type="checkbox"/>	Impianti Sportivi e Ricreativi <input type="checkbox"/>	Insediamenti Artigianali ed Industria <input type="checkbox"/>	Case Sparse <input type="checkbox"/> E 1	Impianti D P R 175/88 <input type="checkbox"/>	Insediamenti Agricoli e Zootecnici <input type="checkbox"/>	Gasdotti, elettrodotti <input type="checkbox"/>	Cimiteri <input type="checkbox"/>	Autostrade <input type="checkbox"/> E 3	Strade Provinciali e Comunali <input checked="" type="checkbox"/>	Strade Statali <input type="checkbox"/>	Acquedotti <input type="checkbox"/> E 2	Linee Ferroviarie <input type="checkbox"/>	Fognature <input type="checkbox"/>	Patrimonio Ambientale <input type="checkbox"/>	Impianti di Depurazione e trattamento rifiuti <input type="checkbox"/>	Beni storici/architettonici <input type="checkbox"/>		Centro Abitato <input type="checkbox"/> E 4
Servizi Pubblici e Privati <input type="checkbox"/>	Nucleo Abitato <input type="checkbox"/>																						
Impianti Sportivi e Ricreativi <input type="checkbox"/>	Insediamenti Artigianali ed Industria <input type="checkbox"/>																						
Case Sparse <input type="checkbox"/> E 1	Impianti D P R 175/88 <input type="checkbox"/>																						
Insediamenti Agricoli e Zootecnici <input type="checkbox"/>	Gasdotti, elettrodotti <input type="checkbox"/>																						
Cimiteri <input type="checkbox"/>	Autostrade <input type="checkbox"/> E 3																						
Strade Provinciali e Comunali <input checked="" type="checkbox"/>	Strade Statali <input type="checkbox"/>																						
Acquedotti <input type="checkbox"/> E 2	Linee Ferroviarie <input type="checkbox"/>																						
Fognature <input type="checkbox"/>	Patrimonio Ambientale <input type="checkbox"/>																						
Impianti di Depurazione e trattamento rifiuti <input type="checkbox"/>	Beni storici/architettonici <input type="checkbox"/>																						
	Centro Abitato <input type="checkbox"/> E 4																						
INTERVENTI REALIZZATI Movimento terra <input type="checkbox"/> Sostegno <input type="checkbox"/> Mitigazione dei danni <input type="checkbox"/> Drenaggio <input type="checkbox"/> Protezione <input type="checkbox"/> Sistemazione idraulico-forestale <input type="checkbox"/> Rinforzo <input type="checkbox"/>		FONTI DI DOCUMENTAZIONE Censimento AVI <input type="checkbox"/> Altri strumenti di pianificazione <input type="checkbox"/> Censimento SCAI <input type="checkbox"/> Sopralluoghi GNDCI <input type="checkbox"/> Pubblica Amministrazione <input type="checkbox"/> Sopralluoghi ed ordinanze Protezione Civile <input type="checkbox"/> Pubblicazioni <input type="checkbox"/> Strumenti Urbanistici <input type="checkbox"/> Sopralluoghi PAI <input type="checkbox"/> Piano Straordinario 2000 ed aggiorn. <input checked="" type="checkbox"/>																					
PARAMETRI MAGNITUDO <table border="0"> <tr> <td>AREA</td> <td>VOLUME MASSI</td> </tr> <tr> <td>< 10.000 mq <input type="checkbox"/></td> <td>< 1 mc <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>10.000 - 100.000 mq <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>> 1 mc <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>100.000 - 1.000.000 mq <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>> 1.000.000 mq <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </table>		AREA	VOLUME MASSI	< 10.000 mq <input type="checkbox"/>	< 1 mc <input type="checkbox"/>	10.000 - 100.000 mq <input checked="" type="checkbox"/>	> 1 mc <input type="checkbox"/>	100.000 - 1.000.000 mq <input type="checkbox"/>		> 1.000.000 mq <input type="checkbox"/>		PERICOLOSITA' P 0 bassa <input type="checkbox"/> P 1 moderata <input type="checkbox"/> P 2 media <input checked="" type="checkbox"/> P 3 elevata <input type="checkbox"/> P 4 molto elevata <input type="checkbox"/>											
AREA	VOLUME MASSI																						
< 10.000 mq <input type="checkbox"/>	< 1 mc <input type="checkbox"/>																						
10.000 - 100.000 mq <input checked="" type="checkbox"/>	> 1 mc <input type="checkbox"/>																						
100.000 - 1.000.000 mq <input type="checkbox"/>																							
> 1.000.000 mq <input type="checkbox"/>																							
		RISCHIO R 1 moderato <input type="checkbox"/> R 2 medio <input checked="" type="checkbox"/> R 3 elevato <input type="checkbox"/> R 4 molto elevato <input type="checkbox"/>																					

Fig. 3.3. Piano di Assetto Idrogeologico. Scheda riepilogativa del dissesto geomorfologico 033-6ME-050 classificato come colamento lento attivo.

4 CAMPAGNA GEOGNOSTICA

Per il tratto stradale interessato dall'intervento e il suo intorno significativo circostante è disponibile un insieme articolato di indagini, condotte a più riprese, nelle seguenti fasi:

- Progetto Definitivo (2010);
- Progetto Esecutivo Viadotto Scorciavacche (2011);
- Incidente Probatorio a seguito dei dissesti del dicembre 2014 – febbraio 2015 (CTU, 2015);
- presente studio per il rifacimento del rilevato Scorciavacche (maggio - luglio 2017).

Nessuna indagine, invece, è stata eseguita nell'area in fase di Progetto Preliminare.

L'insieme delle indagini individuate e utilizzate, sia per la ricostruzione del Modello geologico e idrogeologico del sottosuolo, sia per la caratterizzazione geotecnica del volume di sottosuolo significativo è riportato nella Planimetria ubicazione indagini.

4.1 Indagini Progetto definitivo

Le indagini svolte in fase di Progetto definitivo prese in considerazione ai fini dell'intervento di rifacimento del corpo stradale nel tratto indicato sono sintetizzate nelle tabelle 4.1 ÷ 4.2.

Tabella 4.1 - Prove penetrometriche statiche 2010.

Tratto	Prova	Profondità (m)	Note
Svincolo Cefalà Diana - Svincolo Mezzojuso	CPT 13	7,2	Sospesa per disancoraggio del terreno
	CPT 14	9,0	Sospesa per disancoraggio del terreno

Tabella 4.2 - Sondaggi integrativi 2010.

Tratto	Sondaggio	Tipologia	Note	Profondità (m)
Svincolo Cefalà Diana - Svincolo Villafraati Sud	Sc1 DH	Eseguito dal p.c. originario alla base del viadotto esistente. Sondaggio a carotaggio continuo, completato con tubo in PVC per esecuzione rilievo sismico Down-Hole		35,0
	Sc2 Pz	Eseguito dal p.c. originario alla base del viadotto esistente. Sondaggio a carotaggio continuo, completato con installazione piezometro a tubo aperto (diam. 2")	Liv. Falda = 1,5 m dal p.c.	35,0

Nel corso della campagna 2009-10, insieme ai sondaggi ed alle prove penetrometriche sono stati condotti rilievi geofisici di tipo sismico, sia di superficie che nei fori di sondaggio appositamente attrezzati. Nel tratto di interesse, nello specifico, sono stati eseguiti:

- rilievo del profilo verticale di velocità delle Onde S con il metodo delle onde superficiali, MASW 3A;
- rilievi con il metodo sismico a rifrazione e restituzione tomografica, profili Tomo 23, Tomo 24;
- rilievo in foro di sondaggio con il metodo Down-hole, DH in SC1.

4.2 Indagini Progetto Esecutivo

Nell'ambito delle indagini e delle prospezioni integrative svolte nell'Ottobre 2011 sono stati rilevati due stendimenti sismici a rifrazione, in onde P ed S, oltre all'esecuzione di n. 8 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTe). Di queste indagini, nell'ambito dell'area circostante al tratto in esame si localizzano soltanto la prova CPTe 1, spinta sino a 8,53 m di profondità dal piano campagna originario, e la prova CPTe2, spinta sino a 4,39 m di profondità dal piano campagna originario.

4.3 Indagini Incidente probatorio (2015)

Su incarico dei CTU del Tribunale di Termini Imerese – Ufficio del GIP, la Ditta Geoproject srl di Palermo ha eseguito una campagna d'indagini geognostiche di supporto al Procedimento n. 1995/2015 r.g.n.r – n. 1632/2015 GIP – "Dissesti su rilevato S.S. 121 in località Scorciavacche". Le attività di indagine, svolte nel periodo settembre – novembre 2015, hanno comportato:

- esecuzione di n. 7 perforazioni a carotaggio continuo, con prelievo di campioni di terreno di tipo indisturbato e rimaneggiato e installazione di strumentazione di monitoraggio;
- realizzazione di n. 9 perforazioni a distruzione di nucleo, per installazione di strumentazione di monitoraggio ed esecuzione di alcuni pre-fori per svolgimento prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- installazione n. 10 piezometri attrezzati con Cella tipo Casagrande;
- installazione n. 2 piezometri a tubo aperto con diam. 2";
- installazione n. 4 tubi inclinometrici;

- prelievo di un totale di n. 26 campioni di terreno di tipo indisturbato e n. 128 di tipo rimaneggiato;
- esecuzione di n. 6 prove penetrometriche dinamiche continue con penetrometro superpesante (tipo DPSH).

Su incarico dei CTU sono state eseguite inoltre:

- n. 6 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- n. 6 scavi esplorativi con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno e installazione di n. 2 piezometri a tubo aperto (diam. 2");
- n. 12 prove di carico su piastra.

4.4 Indagini integrative presente progetto (2017)

A supporto delle analisi per la presente è stata programmata l'esecuzione di 2 sondaggi a carotaggio continuo, con possibile installazione di strumentazione di monitoraggio, localizzati a fianco della sede stradale già realizzata, in un tratto non indagato nella precedente fase di verifica.

A causa di problematiche nell'accesso (diniego da parte della Proprietà), al momento è stato possibile realizzare solo un sondaggio a carotaggio continuo posizionato nell'intervista tra il rilevato della S.S. 121 e l'adiacente sede stradale della S.P. 55 bis, in corrispondenza della Sez. di progetto n. 560.

5 GEOLOGIA

5.1 Inquadramento geologico-strutturale

L'area di progetto è collocata, a livello di area vasta, nella Sicilia centro-settentrionale, settore compreso nell'Orogene Appenninico-Maghrebide e caratterizzato da un assetto geologico-strutturale estremamente complesso.

A grande scala la Sicilia, per la sua posizione geografica, costituisce la naturale connessione tra la Catena Appenninica e quella Nord-Africana, con le quali presenta notevoli analogie. La configurazione dell'isola deve la sua origine alla fase collisionale tra i settori crostali delle placche africana ed europea. La convergenza tra i due continenti si è realizzata durante il Terziario in seguito alla chiusura dell'ampio bacino oceanico della Tetide originariamente posto tra di essi. La crosta oceanica tetidea, più sottile e più densa, è progressivamente sottoscorsa al continente europeo avanzante verso il margine africano, mentre i sedimenti oceanici sono stati soggetti a scollamenti e sovrapposizioni costituendo così gran parte delle aree corrugate dell'orogene. L'assetto geologico regionale, modificato in seguito alle deformazioni di età terziaria, è rappresentato dai seguenti elementi strutturali: uno scarsamente deformato che costituisce l'*Avampaese Africano*, un complicato sistema di falde e di scaglie tettoniche sud-vergenti appartenente alla *Catena Appenninico-Maghrebide*, l'*Avanfossa* che trae origine dal collasso del margine dell'Avampaese e tende ad incunarsi al di sotto delle falde della *Catena Appenninico-Maghrebide* e la *Catena Kabilo-Calabride*, terminazione meridionale dell'Arco Calabro-Peloritano (Fig. 5.1).

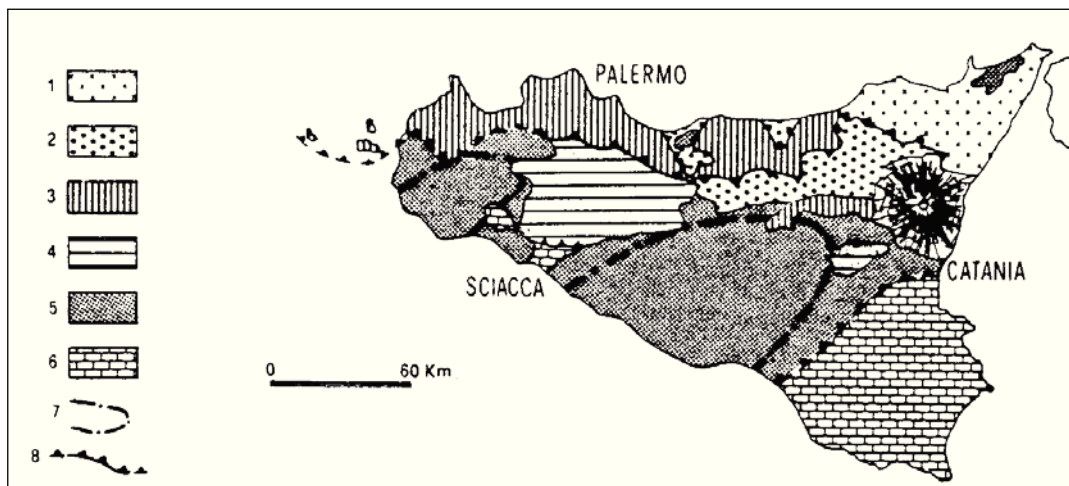


Fig. 5.1. Schema geologico della Sicilia (da Catalano et alii, 1978) nel quale sono rappresentate le principali strutture (a partire da quelle geometricamente più elevate): 1. Unità dell'Arco Calabro-Peloritiano; 2. Unità Sicilidi (sedimenti prevalentemente terrigeni); 3. Unità derivanti dai domini Panormidi (prevalentemente sedimenti di piattaforma carbonatica), Imerese (sedimenti di bacino) e Trapanese (sedimenti di piattaforma e pelagici) che si sono deformati tra l'inizio del Miocene ed il Tortoniano inferiore; 4. Unità derivanti dai domini Trapanesi (sedimenti di piattaforma e pelagici), Sicano (sedimenti di bacino) e Saccense (sedimenti di piattaforma e pelagici), che si sono deformati dopo il Tortoniano inferiore e mostrano evidenze di un decrescente trasporto tettonico; 5. Sedimenti terrigeni di tipo "molassico" depositatisi nelle avanfosse; 6. Avampaese Ibleo (sedimenti pelagici, vulcaniti e sedimenti di piattaforma quest'ultimi non affioranti); 7. Strutture profonde nelle aree di avampaese ("avanfosse"); 8. Fronti di accavallamento affioranti e sepolti.

In particolare la Sicilia centro-settentrionale rappresenta il segmento centro-occidentale della Catena Siciliana e fa parte di quella porzione di megasutura che si sviluppa tra la placca africana e quella europea (Catalano et alii, 1995). In quest'area un segmento di catena collega le Maghrebidi africane con la Calabria e gli Appennini e si estende dalla Sardegna, attraverso la Sicilia, fino alla piattaforma delle Isole Pelagie (Fig. 5.2).



Fig. 5.2. Schema tettonico del Mediterraneo centrale: 1) Corsica-Sardegna; 2) Unità Kabilo-Peloritano-Calabre; 3) Unità Appenninico-Maghrebidi e dell'avampaese deformato; 4) avampaese ed avampaese poco deformato (Tunisia, Piattaforma Iblea, Puglia); 5) aree in estensione; 6) vulcaniti plio-quadernarie (Catalano et alii, 1995).

L'area in esame pertanto si inquadra nel contesto geologico della Catena Appenninico-Maghrebide originatasi a partire dall'Oligocene superiore e delineatasi nel suo complesso nel Miocene medio-inferiore.

Si tratta di un sistema orogenico, costituito da diverse unità tettoniche impilate con stile *ramp-flat* e *duplex*, derivante dalla deformazione di unità appartenenti a differenti domini paleogeografici impostati sul paleomargine africano.

Secondo Catalano & D'Argenio (1978, 1982) tali unità derivano dalla deformazione miocenica di originari paleodomini contigui, ovvero una successione di piattaforme carbonatiche e bacini pelagici che costituivano il margine meridionale della Tetide. Nell'ultimo ventennio, l'acquisizione di dati paleomagnetici, strutturali e stratigrafici hanno portato all'elaborazione di un nuovo modello paleogeografico del margine continentale africano diverso da quello precedentemente delineato con un'alternanza di piattaforme e bacini (Fig. 5.3). Il nuovo modello è caratterizzato a partire dal Trias inferiore da una vasta area di piattaforma carbonatica bordata verso nord da un vasto dominio bacinale impostatosi già durante il Permiano (Nigro F. & Renda P., 1999). L'attuale disposizione da Nord a Sud di unità carbonatiche bacinali impilate tra unità di piattaforma carbonatica (Panormide a Nord,

Saccense-Iblea a Sud) sarebbe derivata dall'originaria conformazione articolata del margine africano, sottoposto agli effetti combinati di raccorciamenti e dislocazioni laterali, accompagnati da rotazione oraria differenziale delle falde, prodottasi durante la costruzione della catena (Avellone G., 2003).

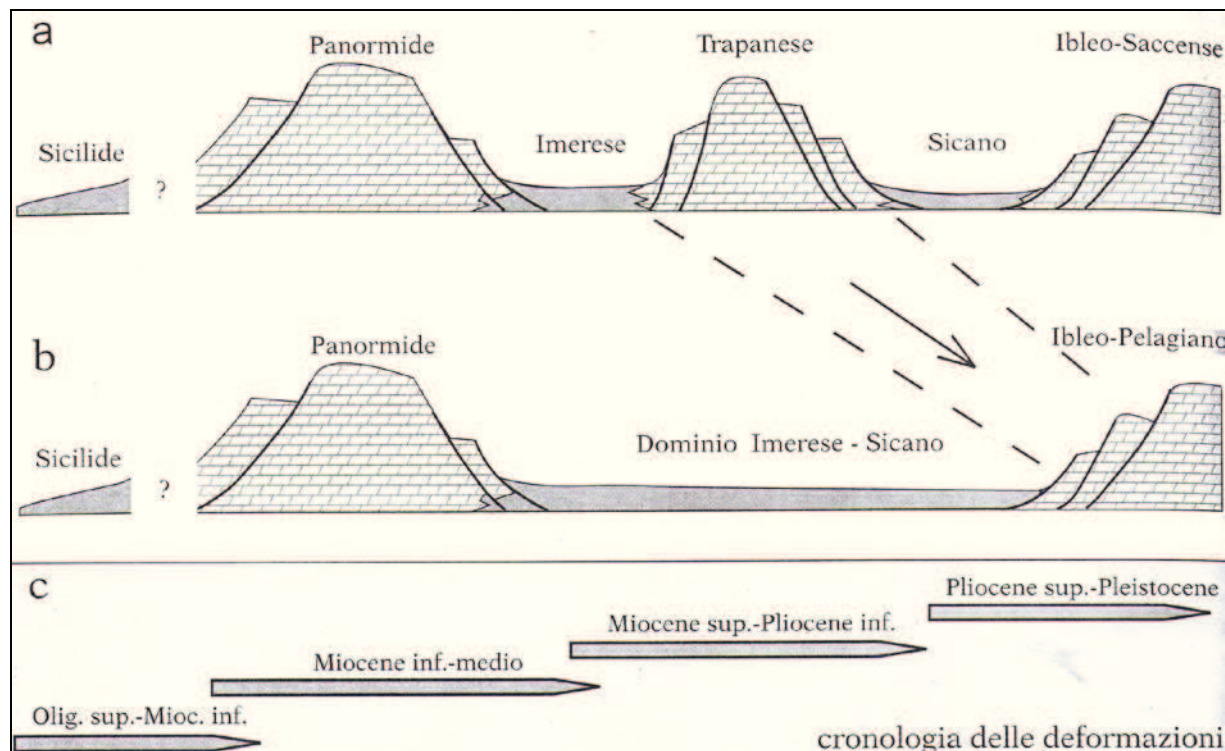


Fig. 5.3: Confronto tra il modello paleogeografico degli Autori precedenti (a) durante il Mesozoico e il modello proposto da Nigro F. & Renda P. (1999) (b); cronologia delle deformazioni (c).

Le fasi tettoniche principali, responsabili dell'attuale assetto strutturale della zona, sono tre: la fase preorogena, la fase orogenetica e quella tettonica recente o neotettonica.

La fase tettonica preorogena si è espressa con fenomeni squisitamente stratigrafici concretizzatisi nella generazione di lacune stratigrafiche più o meno consistenti rilevabili nelle successioni mesozoico-paleogeneiche.

Nell'area delle Unità Maghrebidi la seconda fase tettonica, ovvero quella collegata agli episodi orogenetici, si è sviluppata nel Miocene ed è stata caratterizzata da una fase di "stress" essenzialmente di natura compressiva, espressione della collisione continentale tra la placca europea e quella africana.

La fase neotettonica si è verificata nel Pliocene superiore ed è stata caratterizzata da "stress" distensivi che hanno generato la formazione di faglie dirette o normali di diversa entità responsabili dell'attuale morfologia della zona.

Come accennato in precedenza i terreni ricadenti in quest'area sono il risultato della deformazioni di domini paleogeografici, ognuno dei quali è costituito da varie Unità Stratigrafico-Strutturali (USS), ovvero corpi geologici derivanti da una precedente unità paleogeografica, non necessariamente sradicati dal loro basamento, delimitati da contatti tettonici, caratterizzati al loro interno da una determinata successione stratigrafica e differenziabile rispetto ai terreni circostanti sulla base di caratteri litologici, litofacies, di comportamento tettonico e della loro posizione geometrica nell'ambito dell'orogene (Catalano & D'Argenio, 1982).

Le unità che strutturalmente risultano più alte sono relative ad aree di sedimentazione più interne, mentre le unità più basse sono presumibilmente relative ai domini più esterni. Le unità esterne derivano dal denudamento di settori di crosta continentale, sono collocate nella parte più profonda dell'edificio tettonico ed hanno subito un trasporto minore, si tratta delle seguenti unità: Unità Panormidi, Unità Sicane, Unità Trapanesi, Unità Imeresi, Unità Saccensi, Unità Numidiche. Le unità interne, più elevate nell'edificio tettonico sono costituite da sequenze prevalentemente bacinali deposte su crosta oceanica (depositi torbiditici e parzialmente pelagici): Unità Sicilidi.

Durante il progressivo sollevamento della catena, ha inizio la deposizione del Complesso terrigeno della Formazione Terravecchia (Tortoniano-Messiniano). Nel contempo si verifica un progressivo abbassamento del livello del mare e la conseguente formazione di complessi di scogliera, seguita dalla crisi di salinità messiniana e dalla conseguenziale deposizione delle evaporiti. La deposizione di sedimenti pelagici, ovvero dei terreni afferenti ai Trubi, avvenuta nel Pliocene, segna il ripristino delle condizioni di mare aperto.

Successivamente alla principale fase deformativa recente, esplicitasi nel Pliocene, l'attività tettonica prosegue nel corso del Quaternario. Durante quest'ultimo periodo l'alternarsi di fasi climatiche fredde (glaciali) e calde (periodi interglaciali) determina una serie di importanti oscillazioni del livello marino (livello medio marino oscillante tra 0 m slm e circa - 120 m slm rispetto all'attuale) con importanti effetti morfogenetici, sia nell'area costiera, sia nel ciclo erosivo dei corsi d'acqua a causa del rilevante abbassamento del livello di base.

5.2 Caratterizzazione dell'area di progetto

Il tracciato interessato dall'intervento complessivo di Ammodernamento della sede stradale della S.S. 121 si sviluppa attraverso il settore centro-occidentale della catena siciliana, caratterizzato dalla presenza di una complessa serie di terreni e litologie riferibili, nel loro insieme, ai seguenti termini:

- a. Successioni mesozoiche-terziarie con caratteristiche di bacino, riferibili alle Unità Sicilidi (Dominio Sicilide);
- b. Successioni mesozoiche-terziarie con caratteristiche di bacino (Dominio Imerese, Dominio Numidico);
- c. Successioni mesozoiche-terziarie con caratteristiche di piattaforma carbonatica e carbonatica pelagica (Dominio Trapanese);
- d. Successioni mesozoiche-terziarie caratteristiche di bacino (Dominio Sicano);
- e. Successioni clastico-terrigene del ciclo Tortoniano-Pliocene (Depositi terrigeni sinorogenici);
- f. Depositi continentali del Quaternario.

Per la caratterizzazione dell'area di progetto in fase di Progetto definitivo, e con integrazioni nel Progetto esecutivo, sono stati condotti rilievi di terreno, analisi delle riprese aerofotografiche, studi bibliografici e consultazione dei dati scientifici disponibili presso il Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo. Sulla base del quadro conoscitivo ottenuto, integrato con l'esame delle stratigrafie fornite dai sondaggi e i dati di sottosuolo ottenuti con le prove geotecniche e i rilievi geofisici è stato elaborato il Modello concettuale del sottosuolo illustrati nelle Relazioni geologiche e nelle relative cartografie.

La complessità dell'assetto geologico locale, la sua significativa variabilità puntuale, unitamente alla diffusa presenza di coperture con spessori elevati hanno comportato localmente, nonostante le attività di terreno e le varie campagne di indagine svolte, dei margini di approssimazione nella ricostruzione del sottosuolo. Tali difficoltà sono state accentuate dalla mancanza di studi e cartografie recenti a carattere geologico-applicativo con scala adeguata, gli stessi elaborati relativi alla nuova Carta geologica d'Italia (Progetto CARG) risultavano incompleti e non consultabili.

Nell'ambito del presente progetto di rifacimento si è proceduto – per il tratto stradale di diretto interesse – ad un riesame del quadro conoscitivo disponibile in fase di Progetto Esecutivo. L'inquadramento del contesto geologico in cui si inserisce l'intervento è stato

condotto sulla base della nuova carta geologica a scala 1:50.000 (F. 608 – Caccamo), integrato con ricognizioni sul sito e l'esame delle indagini geognostiche pregresse e realizzate successivamente al verificarsi dei dissesti. L'ampia campagna condotta nell'ambito dell'Incidente probatorio (2015), in particolare, ha consentito di verificare nel dettaglio la natura e la composizione dei terreni delle coperture, i rapporti giacitureali con le unità sottostanti e la tipologia del substrato locale di diretto interesse.

L'area di progetto si localizza in corrispondenza di un settore dall'assetto strutturale particolarmente complesso (Figg. 5.4 e 5.5). Il rilievo collinare è impostato nelle successioni marine sin-orogeniche (Formazioni di Castellana Sicula e Terravecchia) sovrapposte in sequenza stratigrafica normale, ma interessate da successive deformazioni di tipo duttile (pieghe) e fragili (faglie).

La presenza di una struttura plicativa ad anticlinale (Fig. 5.5), proprio in corrispondenza della valle percorsa dal tracciato stradale, in particolare, comporta il sollevamento e quindi l'affioramento a seguito del modellamento erosionale della vallecchia, del substrato locale rappresentato dalle Argille varicolori (AVF). L'unità è stata individuata anche nei settori adiacenti, alla testata del corso principale del Vallone Frattina e lungo il Vallone Buffa tra gli abitati di Cefalà Diana e Villafrati (Fig. 5.4).

A questa unità appaiono riferibili, sulla base delle documentazioni descrittive e fotografiche rese disponibili, le litologie individuate con le indagini svolte nell'ambito della CTU (2015) al di sotto dei terreni delle coperture, come anche alcuni sondaggi eseguiti in precedenza.



Fig. 5.4: Geologia dell'area in cui si localizza l'intervento indicato dal circolo in colore rosso. Stralcio della nuova Carta geologica d'Italia a scala 1:50.000 F. 608 – Caccamo (ISPRA, Serv. Geologico d'Italia, 2010). Legenda delle unità elencate a partire dalla più recente:

- AFL_{a1} – Depositi di frana;
- AFL_{b2} – Coltri della copertura. Sistema di Capo Plaia, prodotti eluviali e depositi colluviali;
- TRV1 – Formazione Terravecchia, membro conglomeratico;
- TRV1a – Formazione Terravecchia, membro conglomeratico organizzato in banchi di spessore metrico;
- TRV2 – Formazione Terravecchia, membro sabbioso;
- SIC – Formazione di Castellana Sicula;
- TAV – Formazione Tavernola;
- FYN_{5a} – Flysch Numidico, membro di Geraci Siculo;
- AVF – Argille varicolori inferiori.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km 33,6 del Lotto 2-Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali S.S. n. 189 e S.S. n. 121". PROGETTO DI RIFACIMENTO DEL RILEVATO SCORCIAVACCHE – DAL KM 11+140 AL KM 11+509

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

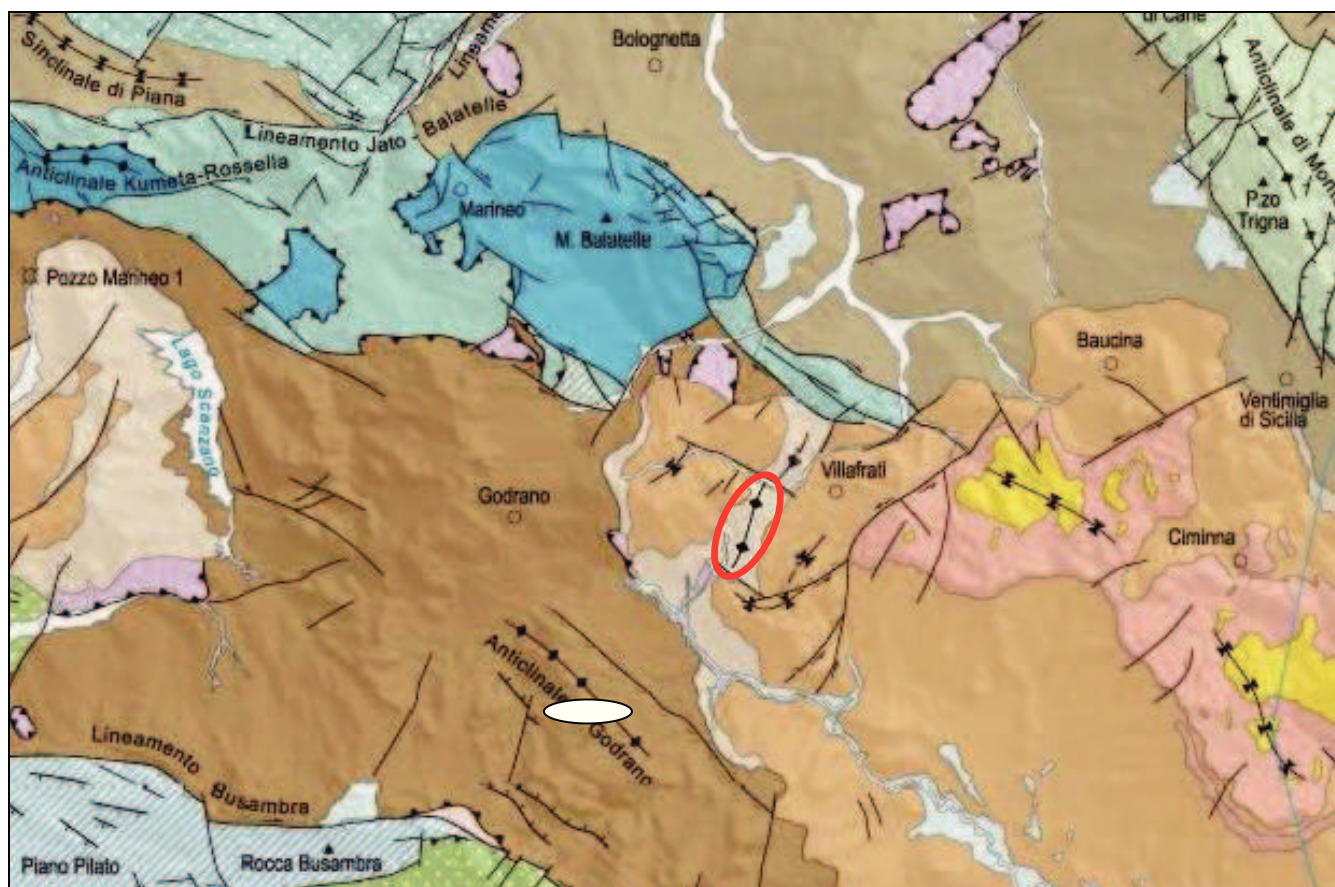


Fig. 5.5: Schema tettonico del settore comprendente l'area di progetto, indicata con il circolo rosso (tratto dal F. 608 – Caccamo (ISPRA, Serv. Geologico d'Italia, 2010).

5.3 Geologia del sito

L'assetto stratigrafico dell'area interessata dall'intervento, ricostruito con i dati di superficie e di sottosuolo, è caratterizzato dalla presenza diffusa in affioramento di terreni recenti di ambiente continentale, di natura più o meno rimaneggiata e relativi alle coperture, che nella zona di fondovalle in particolare costituiscono una fascia continua con spessori complessivi anche superiori alla decina di metri. Le unità del substrato locale, sub-affioranti o localmente affioranti sui pendii collinari a margine del tracciato, sono individuabili solo per mezzo dei sondaggi o di scavi esplorativi spinti a profondità significativa (almeno 5 m al di sotto del p.c.).

La successione individuata comprende in sintesi:

Unità delle coperture - Depositi continentali (età: Quaternario – attuale)

- deposito di versante
- depositi di frana
- deposito torrentizio
- coltri detritico-colluviali
- deposito torrentizio terrazzato

Unità del substrato locale. Successioni marine (età: Mesozoico-Cenozoico)

- Depositi dell'avanfossa: Formazione Terravecchia, Formazione di Castellana Sicula
- Depositi del Dominio Sicilide: Argille varicolori inferiori

Unità delle coperture

Deposito di versante – (a in Carta geologica e geomorfologica)

Sedimenti a granulometria prevalentemente sabbioso-limoso, inglobanti localmente ghiaie e blocchi. L'origine è relativa ai fenomeni misti di trasporto per ruscellamento e gravità. Comprendono accumuli a struttura caotica distribuiti a varie quote lungo i versanti. Età: Olocene.

Depositi di frana - aF

Accumuli gravitativi a giacitura caotica, relativi a movimenti di versante spesso policlici. Terreni a granulometria prevalentemente limoso-argillosa, localmente inglobanti elementi lapidei in quantità nettamente subordinata. Costituiscono accumuli a struttura caotica con spessori da alcuni metri ad oltre una decina. Età: Olocene.

Deposito torrentizio - b

Sedimenti presenti in corrispondenza del reticolo idrografico attuale. Alternanze irregolari di sabbie e ghiaie con matrice limoso-argillosa, a tratti prevalente. Depositi eterogenei e con spiccata variabilità areale; spessore nell'ordine di alcuni metri. Età: Olocene.

Coltri detritico-colluviali – b2

Terreni sciolti, prevalentemente a granulometria limoso-argillosa, localmente inglobanti clasti eterometrici, derivanti dall'alterazione in posto delle litologie del substrato, a cui fa seguito il rapido rimaneggiamento ed un eventuale limitato trasporto ad opera delle acque di scorrimento superficiale non incanalate. In prossimità del fondovalle costituiscono una copertura pressoché continua con spessori accertati variabili da alcuni metri a circa una decina. Età: Pleistocene sup. –Olocene.

Deposito torrentizio terrazzato – bn1

Sedimenti alluvionali posti a quote superiori al reticolo attivo, non riferibili ai fenomeni di modellamento attuale ad opera delle acque di scorrimento incanalato. Alternanze di ghiaie e sabbie prevalenti, inglobanti localmente ciottoli, con interposizione di orizzonti limoso-argillosi. Alla sommità è presente generalmente un livello limoso-argilloso pedogenizzato. Spessore accertato alcuni metri. I depositi torrentizi terrazzati occupano le fasce marginali del fondovalle attuale e risultano spesso in contatto stratigrafico con i sedimenti attuali. Nella zona di maggiore ampiezza del fondovalle, in sponda idrografica destra costituiscono accumuli con spessori significativi (3÷5 m) e relativamente estesi, mascherati in affioramento dalla presenza delle coltri detritico-colluviali. Questi depositi per la loro composizione granulometrica grossolana e la continuità areale, ipotizzabile attraverso l'assetto geomorfologico d'insieme e riconosciuta con i dati di sottosuolo, svolgono un ruolo fondamentale nell'improntare le modalità della circolazione idrica sotterranea e, di conseguenza, le stesse condizioni di stabilità generali dei pendii. Le indagini in fase progettuale (2010-11) e, in particolare, quelle svolte nell'ambito dell'incidente probatorio (CTU, 2015) ne hanno riscontrato la presenza nel tratto in esame anche al disotto dell'impronta del rilevato da ricostruire. Età: Pleistocene sup. – Olocene.

Unità del substrato locale

Depositi dell'avanfossa

Formazione Terravecchia

Membro sabbioso – TRVsa

Sabbie ed arenarie grigio-giallastre, a stratificazione incrociata, localmente con intercalati livelli di spessore decimetrico di conglomerati con geometria lenticolare (TRVsa_a). Spessore complessivo noto variabile tra 50 ÷ 250 m.

Membro conglomeratico – TRVcg

Conglomerati poligenici ed eterometrici rossastri e giallastri con matrice sabbiosa rossastra o giallastra, arenarie e sabbie grossolane. Giacitura con stratificazione evidente o massiva caratterizzata da sequenze di orizzonti conglomeratici a cui si intercalano arenarie e livelli ruditici. Spessore non superiore a 200 m. Età della sequenza: Tortoniano – Messiniano inf.

Formazione Castellana Sicula – FCS

Alternanza di peliti sabbiose di colore grigio-verdastro, arenarie e sabbie quarzose. Spessore generalmente compreso tra 50 ÷ 150 m. Età: Serravalliano sup. - Tortoniano inf.

Depositi del Dominio Sicilide

Argille varicolori inferiori – AVF

Argille e marne di colore grigio verdastro o rossastra, argilliti policrome a tratti laminate con intercalazioni di marne verdastre, calcareniti e brecce calcaree. Depositi con giacitura generalmente caotica e struttura a scaglie derivante dall'intensa tettonizzazione subita. A questa unità, rilevata nei settori adiacenti al sito di intervento (alla testata dell'incisione principale del Vallone Frattina e lungo il Vallone Buffa tra gli abitati di Cefalà Diana e Villafrati, Fig. 5.4), sono riferibili i terreni individuati con le indagini recenti (CTU, 2015; indagine integrativa S1_SCR) al disotto delle coperture quaternarie in corrispondenza del tratto di strada in esame. Lo spessore complessivo noto è compreso tra 50 ÷ 180 m. Età: Cretacico (– Oligocene ?).

La serie di termini così definita rappresenta un riferimento adeguatamente rappresentativo, sia per la ricostruzione stratigrafica, che la definizione dell'assetto idrogeologico.

Nel complesso il tratto della S.S. 121 interessato dall'intervento si sviluppa interamente nell'ambito di una coltre di terreni di ambiente continentale di formazione recente – attuale, che assume a tratti spessori anche superiori alla decina di metri ed è caratterizzata, per la

maggior parte, da una composizione granulometrica di tipo limoso-argillosa. Il substrato locale è rappresentato da rocce di ambiente marino, riferibili alla traslazione del Dominio sicilide e alla deformazione della sovrastante successione sin-orogena di avanfossa, depostesi nel complesso tra il Cretaceo e il Miocene.

Esaminando nel dettaglio il tratto comprendente l'intervento di rifacimento del rilevato (progr. 11+140÷11+509), è possibile individuare settori caratterizzati da una diversa natura dei terreni di impostazione dell'impronta del corpo stradale:

- dalla progr. km 10+460 alla km 11+260 il tracciato si svolge su terreni appartenenti a coperture detritico-colluviali recenti ed attuali (b2);
- dalla progr. km 11+260 alla km 11+420 la sede stradale interessa i terreni delle coperture detritico-colluviali recenti ed attuali (b2) sovrapposte e/o con intercalazioni di depositi torrentizi terrazzati (bn1);
- dalla progr. km 11+420 alla km 11+640 circa il tracciato attraversa depositi torrentizi recenti (b) e terrazzati (bn1).

Nell'ambito del tratto considerato, il substrato locale in corrispondenza del tracciato è riferibile, anche sulla base della nuova campagna geognostica condotta nel corso dell'Incidente probatorio (CTU, 2015) e dell'indagine integrativa svolta a cura della SCR "Bolognetta" (maggio 2017) all'unità delle Argille varicolori inferiori (AVF), mentre nel tratto superiore del pendio fiancheggiante la strada sul lato occidentale si rileva la Formazione di Castellana Sicula (FCS).

6 GEOMORFOLOGIA

6.1 Lineamenti generali

Il tracciato stradale complessivo oggetto dei lavori di ammodernamento si sviluppa in un contesto paesaggistico-morfologico piuttosto articolato, passando da ambienti della piana alluvionale di fondovalle, a quelli dei paesaggi collinari, improntati dal diverso comportamento dei numerosi litotipi presenti nei confronti dei processi di modellamento tipici delle aree mediterranee poste a quote poco elevate. Elementi generali caratterizzanti l'area sono le morfologie blande, le forme del rilievo generalmente poco pronunciate, l'energia del rilievo con dislivelli non elevati (per lo più compresi tra 300 ÷ 600 m), le pendenze modeste.

L'insieme di questi caratteri è riferibile direttamente alla composizione litologica delle unità del substrato, con presenza spesso prevalente delle frazioni limoso-argillose, e alla

conseguente loro rapida degradabilità. Il rilievo nel suo insieme assume frequentemente una configurazione blandamente ondulata, con la sola eccezione delle aree di affioramento delle litologie più competenti, quali le successioni carbonatiche e vulcaniche, dove la diversa risposta nei confronti dei processi morfogenetici determina l'individuazione di scarpate, rotture di pendenze e topografie più o meno aspre. La stessa presenza degli elementi tettonici con evidenze di attività recente, per lo più riferibili a deformazioni di tipo fragile (faglie, strutture a scaglie impilate, ecc.) spesso assume rilevanza, nei confronti dello sviluppo dei processi di modellamento solo a livello locale, in quanto l'assetto complessivo dei versanti è improntato dalla più o meno limitata resistenza delle unità a prevalente composizione terrigena nei confronti dei fenomeni di modellamento. L'evoluzione delle forme del rilievo nel loro insieme è riferibile fondamentalmente ai processi relativi allo scorrimento delle acque superficiali, sia libere che incanalate nel reticolo idrografico di ordine locale, e all'azione della gravità.

A livello generale un inquadramento del contesto morfologico in cui si inserisce il tracciato stradale può essere effettuato sulla base dei valori di acclività del rilievo. Tra le classificazioni formulate da vari Autori, riveste un certo interesse quella proposta da Marescalchi & Prescia (1979) che, sulla base delle relazioni evidenziate tra morfologia, acclività e distribuzione dei fenomeni franosi, definisce quattro classi di pendenza media (Tabella 6.1).

Tabella 6.1 - Classi di acclività.

CLASSE	TIPOLOGIA
1	terreni con pendenza fino al 17%, con pendii aventi inclinazione massima di 10°
2	terreni con pendenza dal 17% al 35%, con pendii ad inclinazione compresa tra 10° e 20°
3	terreni con pendenza dal 35% al 70%, con pendii ad inclinazione compresa tra 20° e 35°
4	terreni con pendenza superiore al 70%, con pendii ad inclinazione maggiore di 35°

L'intero tracciato oggetto di ammodernamento si sviluppa prevalentemente in ambito collinare tra versanti caratterizzati da inclinazioni nell'ordine dei 10 ÷ 20°, corrispondenti alle Classi 1 e 2 di acclività (ovvero con pendenze medie del 15 ÷ 25 %). L'asse stradale in senso stretto, tuttavia, si svolge quasi costantemente al piede dei versanti, in presenza di acclività sensibilmente minori e pendenze medie nell'ordine del 5 ÷ 10 %. A quest'ultimo assetto è riferibile, nello specifico, anche il tratto in esame.

6.2 Assetto geomorfologico dell'area di intervento

Il tratto di rilevato oggetto di rifacimento si localizza nell'ambito della blanda vallecchia degradante da NE verso SO che si sviluppa subito a meridione di Villafrati (Fig. 2.1), nell'insieme indicata come Contrada Scorciavacca. Si tratta di una delle modeste incisioni torrentizie tributarie del Vallone Fratina, la cui testata spartiacque settentrionale in questo settore corrisponde alla dorsale Godrano – Pizzo Lungocucco – Rocca di Cave.

Nell'insieme la valle si caratterizza per l'assetto molto aperto e la sezione trasversale piuttosto ampia, nettamente sovradimensionata rispetto al reticolo idrografico attuale a cui appare riconducibile il modellamento del fondovalle attuale. I versanti laterali si presentano disuniformi, con in destra idrografica un crinale superiore ben definito disposto circa E – O e culminante nel Pizzo Lungocucco (m 718 slm), mentre in sinistra il rilievo risulta più articolato, raggiungendo i 608 m slm in corrispondenza della Rocca di Cava, ma senza individuare una dorsale ben definita.

Il vallone si presenta ampio, con profili trasversali di tipo nettamente concavo, e il fondovalle piatto. Il profilo altimetrico degrada dalla sella, posta lungo lo spartiacque tra i Cozzi Barone e Fontanazze alla quota 479 m slm, sino alla più ampia zona di confluenza con il corso principale del Vallone Fratina a 391 m slm.

Le litologie del substrato affioranti in gran parte (Argille varicolori, Formazione di Castellana Stula, Formazione di Terravecchia - membro sabbioso) sono caratterizzate da una composizione prevalentemente limoso-argillosa o comunque da granulometrie fini e con limitata cementazione. Questo favorisce il rapido procedere dei fenomeni di degradazione e alterazione dei termini in superficie o sub-affioranti, con conseguente formazione a livello areale di estese coltri di prodotti eluviali e detritico-colluviali. La granulometria medio-fine, unitamente alla limitata azione protettiva della copertura vegetale, al limitato sviluppo di un reticolo organizzato di scorrimento superficiale, alle pendenze comunque rilevanti dei tratti superiori dei versanti e al regime fortemente disomogeneo delle precipitazioni, comporta periodicamente l'asportazione dei terreni e la loro rideposizione nei settori di fondovalle, dove possono raggiungere spessori di vari metri e localmente superiori alla decina (come verificato con le indagini svolte per la CTU nel 2015).

La morfologia complessiva dei pendii circostanti l'intervento è caratterizzata da forme per lo più blande anche nei tratti con il substrato locale prossimo alla superficie e pendenze modeste. Risalendo verso la sommità dei versanti le acclività tendono generalmente ad aumentare e, in relazione anche alla comparsa dei termini più resistenti all'erosione (Formazione di Terravecchia – membro conglomeratici), compaiono rotture di pendio e vere

e proprie scarpate in corrispondenza dei contatti tra orizzonti conglomeratici cementati, sabbie e peliti delle altre unità.

Le scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni rimaneggiati delle coltri, come pure delle porzioni subaffioranti e più o meno degradate del substrato favoriscono l'attivazione di fenomeni gravitativi di diversa tipologia. Scivolamenti rotazionali e colamenti appaiono diffusi soprattutto sul versante sinistro, opposto a quello di interesse, dove possono associarsi limitati fenomeni di crollo al margine degli affioramenti dei conglomerati della Formazione di Terravecchia. Movimenti lenti di tipo viscoso, ma con elevata persistenza temporale e colamenti rapidi per fluidificazione dei terreni superficiali appaiono caratterizzare invece i tratti di pendio con presenza di coperture a granulometria prevalentemente fine.

A scala più ampia in alcuni tratti l'assetto dei versanti, sebbene mascherato dalle coltri delle coperture e dai movimenti interessanti l'orizzonte prossimo alla superficie, fa ipotizzare la presenza di movimenti più estesi caratterizzati comunque da tassi di movimento molto ridotti. Con riferimento specifico all'intervento in esame, uno di questi areali riconosciuto sulla base dell'analisi aerofotogeologica è stato individuato sul pendio in destra idrografica a monte del tracciato della S.S. 121 e della fiancheggiante nuova S.P. 55bis poco a sud dell'Azienda agricola ivi esistente (si veda la Carta geomorfologica). Nell'area non sono disponibili indagini geognostiche o verticali di monitoraggio delle deformazioni del sottosuolo. Nell'ambito del presente progetto sono stati programmati alcuni nuovi sondaggi con possibile installazione di strumentazione di monitoraggio, ma le problematiche di accesso ne hanno impedito l'esecuzione.

Il reticolo superficiale attuale presenta limitato sviluppo e distribuzione fortemente irregolare. Oltre all'asta principale tributaria del Vallone Frattina si individuano, sul versante in destra idrografica, alcuni rami di ordine inferiore disposti secondo la massima pendenza del pendio con andamento pressoché rettilineo e privi di gerarchizzazione. In sinistra è presente un solo impluvio con certo grado di strutturazione alla base del rilievo di Rocca di Cava. Lo scorrimento, per lo più occasionale, avviene in solchi poco approfonditi ($1 \div 2$ m) e di limitata ampiezza ($1 \div 2/3$ m) con profilo a V, determinato dal rapido approfondimento dell'incisione nell'ambito dei depositi del fondovalle durante gli eventi di piena occasionali. Questo assetto è compatibile con le caratteristiche dei depositi torrentizi attuali, comprendenti terreni granulari con dimensioni non superiori alle ghiaie e rilevante presenza della matrice fine, costituenti accumuli di limitato spessore a ridosso dei solchi di scorrimento attivi.

La configurazione del reticolo attuale appare nettamente sottodimensionata rispetto sia alla morfologia complessiva della valle, sia alla presenza e alla distribuzione dei depositi

torrentizi terrazzati, comprendenti ghiaie e sabbie con ciottoli e raggiungenti spessori accertati di almeno 5 m. La loro distribuzione areale e altimetrica, per quanto solo in parte riconoscibile con i soli dati di superficie appare significativamente maggiore rispetto ai depositi relativi al reticolo attuale e riferibile, verosimilmente, ad un corso d'acqua molto maggiore capacità di trasporto.

L'esame della morfologia complessiva, condotta anche tramite l'analisi delle riprese aerofotografiche, fa ipotizzare nel corso del Pleistocene superiore (o del Pleistocene medio-sup.) un assetto significativamente diverso, con il bacino di alimentazione del torrente significativamente più esteso verso settentrione a nord di Villafrati e di conseguenza ben maggiori capacità di erosione e trasporto dei sedimenti. A seguito del più rapido approfondimento da parte dei corsi d'acqua sfocianti direttamente sul litorale tirrenico, afferenti al corso del F. Milicia, si sarebbe verificata la progressiva cattura delle incisioni drenanti verso sud nell'ambito del bacino del F. San Leonardo nella porzione prossima allo spartiacque originario. La valle attuale, percorsa dal tratto di strada da ripristinare rappresenterebbe pertanto solo una porzione dell'originario bacino torrentizio. A supporto di tale ipotesi evolutiva del reticolo e, più in generale del fondovalle, si può osservare:

- lo spartiacque in corrispondenza del solco vallivo è rappresentata da un'ampia sella che interrompe la continuità delle dorsali laterali costituenti i versanti rispettivamente in sinistra e destra idrografica. La zona di sella presenta modeste inclinazioni sia verso il fondovalle attuale defluente verso SO, sia verso la testata di una vallecola orientata a NE verso i margini dell'abitato di Villafrati. Le limitate pendenze e l'andamento non univoco della piana appaiono riferibili, più che a una linea di spartiacque, ad un tratto di fondovalle interessato in epoca relativamente recente da un'inversione della direzione di deflusso;
- la progressiva "espansione" verso sud dei bacini drenati dai corsi d'acqua con recapito diretto verso la costa tirrenica della Sicilia, a spese delle aree scolanti verso meridione rappresenta una tendenza evolutiva generale del settore in esame, come riconosciuto nelle Note illustrative della nuova Carta geologica (F. 608 – Caccamo);
- il corso del Vallone Buffa defluente dal versante in destra idrografica all'altezza dell'abitato di Villafrati, una volta raggiunto il fondovalle proprio in corrispondenza della sella subisce una netta deviazione ad angolo retto verso NE, evidenziando la forte azione di richiamo esercitata dal reticolo defluente verso nord (Fosso Mulinazzo tributario del F. Milicia).

Il modello di evolutivo ricostruito per il bacino assume rilevanza, non solo per la comprensione dell'assetto morfologico attuale, ma soprattutto per inquadrare in modo corretto la distribuzione dei sedimenti granulari più grossolani relativi ai depositi torrentizi terrazzati (bn1). Nell'ambito dei terreni delle coperture questi depositi svolgono, per le caratteristiche di maggiore permeabilità relativa e gli spessori individuati, il ruolo di principale orizzonte acquifero. L'impostazione nel corso del Quaternario recente di un bacino torrentizio relativamente esteso e caratterizzato da elevate capacità di trasporto sedimentario può aver portato alla formazione di un orizzonte di depositi grossolani esteso con continuità. La sovrapposizione delle coperture detritico-colluviali (b2) maschera quasi completamente la distribuzione in affioramento dei depositi torrentizi terrazzati, individuabili solo per mezzo di indagini dirette sufficientemente approfondite come le indagini recenti (CTU, 2015) hanno portato ad accertare nell'intorno del tratto stradale dissestato. L'estensione dei depositi terrazzati, significativamente maggiore di quanto rilevabile direttamente dalla superficie, la loro continuità idraulica e presumibilmente gli interscambi idrici con i tratti di reticolo più a monte, sono confermati in modo indipendente dalla presenza di una significativa presenza d'acqua con carattere di semipermanenza rilevata con gli scavi ed i piezometri installati recentemente. La circolazione idrica è ospitata all'interno dei depositi grossolani, si svolge a quote superiori all'asta torrentizia, e in prossimità del fondovalle dove il substrato a bassa permeabilità giunge in prossimità della superficie topografica tende ad affiorare. La persistenza nella ricarica della circolazione idrica evidenzia l'estensione degli orizzonti grossolani e la loro continuità che rendono disponibile un bacino idrogeologico significativamente esteso.

6.3 Fenomeni di instabilità

La particolare situazione di fragilità del territorio evidenziata in prima istanza dalla cartografia del PAI, ha comportato in fase di progetto definitivo lo svolgimento di uno studio geomorfologico di dettaglio che ha portato all'individuazione nell'areale circostante lo sviluppo del tracciato complessivo, di circa 200 fenomeni franosi ed un'area di probabile DPGV. Le aree più critiche nei confronti del progetto sono state oggetto di approfondimenti di indagine geognostica allo scopo di meglio definire le geometrie e le problematiche.

In generale lungo i versanti sono state rilevate diffuse situazioni di dissesto idrogeologico di tipo superficiale riferibili all'ampia diffusione in affioramento di coltri di coperture derivanti dalla facile degradabilità di molte delle unità costituenti il substrato locale, dalla loro composizione improntata generalmente dalla prevalenza di terreni di tipo coesivo, dal regime

meteo-climatico dell'area con distribuzione delle precipitazioni irregolare associata a eventi di elevata intensità, nonché dall'assenza o generale insufficienza delle opere di regimazione delle acque meteoriche.

Con riferimento specifico all'intervento in esame, interessante il tracciato tra le progr. 11+140 ÷ 11+509, gli elementi disponibili nelle precedenti fasi progettuali evidenziavano, oltre alle possibili criticità derivanti dalla mancanza di regimazione delle acque di scorrimento superficiale, la presenza di un'area interessata da fenomeni gravitativi superficiali di tipo lento. In particolare, in corrispondenza del tracciato nell'intervallo tra le progr. 11+180 e 11+340 erano stati individuati dissesti di tipo superficiale interessanti un'area di limitata estensione. Sulla base delle evidenze di terreno i fenomeni gravitativi sono stati riconosciuti come movimenti di tipo viscoso, tipo soliflusso, caratterizzati da movimenti lenti e coinvolgenti uno spessore limitato di terreno, valutato nell'ordine di 1,5 m, nell'ambito delle sole coperture. La sede stradale della S.S. 121, all'epoca delle osservazioni ancora decorrente sul viadotto originario, attraversava l'area interessata dai dissesti senza evidenziare tuttavia lesioni o deformazioni riconducibili ai fenomeni descritti.

Gli altri fenomeni gravitativi individuati per la loro ubicazione, a significativa distanza dal tratto oggetto di intervento, non sono in grado di interferire, né direttamente né in modo indiretto con gli interventi previsti. Tra le progr. 11+950 ÷ 12+120 è stato rilevato un colamento attivo interessante uno spessore di terreno dell'ordine di alcuni metri e coinvolgente anche la sede stradale della SP 55bis. Un'altra area con diffuse evidenze di dissesti riconducibili a movimenti superficiali a cinematismo lento è presente tra le progr. 12+180 ÷ 12+280.

Nell'ambito della Consulenza Tecnica per l'Ufficio dal G.I.P. svolta dal geologo Consulente ausiliario, infine, è stato svolto un accurato studio geologico-geomorfologico per mezzo di rilievi di superficie e telerilevamento con definizione puntuale dei fenomeni gravitativi presenti sui versanti circostanti il tratto stradale coinvolto dai dissesti (CTU, 2015 – Appendice n. G.0 Relazione geologica, Figg. 7A÷7D). L'elevato dettaglio dell'analisi, unitamente alla ricognizione dei luoghi successivamente alla stagione invernale 2014–15 caratterizzata da elevati apporti pluviometrici (543 mm), corrispondenti al valore di pioggia media annuale calcolata su base trentennale per l'area (pari a 544 mm), ha portato al riconoscimento di un numero rilevante di movimenti. Si tratta, tuttavia, per lo più di fenomeni di piccole dimensioni e limitato spessore coinvolgente gli orizzonti più superficiali delle coperture e/o della porzione alterata del substrato. I fenomeni di maggiori dimensioni sono localizzati nella porzione

superiore del pendio in destra idrografica, al di sopra della quota 480 m slm, o sui versanti afferenti a bacini diversi da quello percorso dal rilevato Scorciavacche (CTU, 2015 – Appendice n. G.0 Relazione geologica, Fig. 8). Con riferimento specifico al tratto in esame, in generale i dissesti rilevati per localizzazione, tipologia di movimento e dimensioni non risultano interferire con le opere in progetto.

L'unico settore in cui gli elementi morfologici di superficie, unitamente ai risultati delle recenti indagini (CTU, 2015) svolte in corrispondenza della sede stradale, sembrano evidenziare la presenza di lenti movimenti in atto coinvolgenti anche il fondovalle e il tracciato della S.S. 121. La zona corrisponde al tratto di pendio in destra idrografica poco a sud dell'Azienda agricola, posto a monte del tracciato in corrispondenza del rilevato di approccio al Viadotto Scorciavacche 2 (Opera OS90). Come riconosciuto anche nella Relazione del consulente del CTU, un'area piuttosto estesa presenta una morfologia anomala. La continuità del pendio è interrotta nella fascia di quote compresa tra 423 ÷ 428 m slm da un ripiano ospitante una piccola depressione chiusa. La prosecuzione del pendio verso monte evidenzia inoltre, variazioni di inclinazione, controtendenze e concavità che si susseguono sino ai 580 ÷ 590 m slm, ovvero quasi alla sommità della dorsale.

Le osservazioni di terreno e l'analisi delle riprese aerofotografiche condotte per il presente studio confermano tali elementi e individuano la presenza di un settore di versante potenzialmente soggetto a deformazioni di tipo lento, come riportato nella Carta geomorfologica allegata alla presente Relazione. Per la definizione puntuale dell'assetto del sottosuolo in questo settore, in questa fase dello studio era stata prevista l'esecuzione di sondaggi geotecnici con installazione di strumentazione di monitoraggio, ma problematiche di accessibilità ne hanno impedito l'esecuzione.

A valle di questo settore alcuni dei tubi inclinometrici in foro installati nell'ambito delle indagini della CTU (2015) hanno riscontrato la presenza di movimenti molto lenti in corrispondenza della base delle coperture anche sul lato di monte del corpo stradale coinvolto dai dissesti, confermando così la possibile presenza di deformazioni di tipo lento già in atto in precedenza. L'analisi di questi dati è svolta nel Cap. seguente.

6.4 Quadro deformativo di sottosuolo nell'area di intervento

Per il tratto stradale oggetto di rifacimento il quadro deformativo riconosciuto nelle fasi di Progetto Definitivo ed Esecutivo derivava esclusivamente da osservazioni di superficie, non essendo disponibili nelle precedenti fasi progettuali verticali di controllo nell'area considerata, né strumentazione per il monitoraggio delle deformazioni nel sottosuolo.

Nell'ambito delle indagini geognostiche condotte a seguito della mobilitazione dei dissesti coinvolgenti il rilevato (CTU, 2015) si è proceduto all'installazione di una serie di 4 tubi inclinometrici in fori di sondaggio attraversanti l'intero spessore delle coperture e adeguatamente immorsati nel substrato locale. La distribuzione delle verticali, poste sia sul lato di monte che su quello di valle del rilevato stradale, consente di individuare due allineamenti disposti ortogonalmente rispetto al tracciato e comprendenti l'intero corpo stradale e due settori circostanti significativi, rendendo così possibile un monitoraggio completo dello stato deformativo del sottosuolo. L'ubicazione della strumentazione è riportata nella Fig. 6.1.

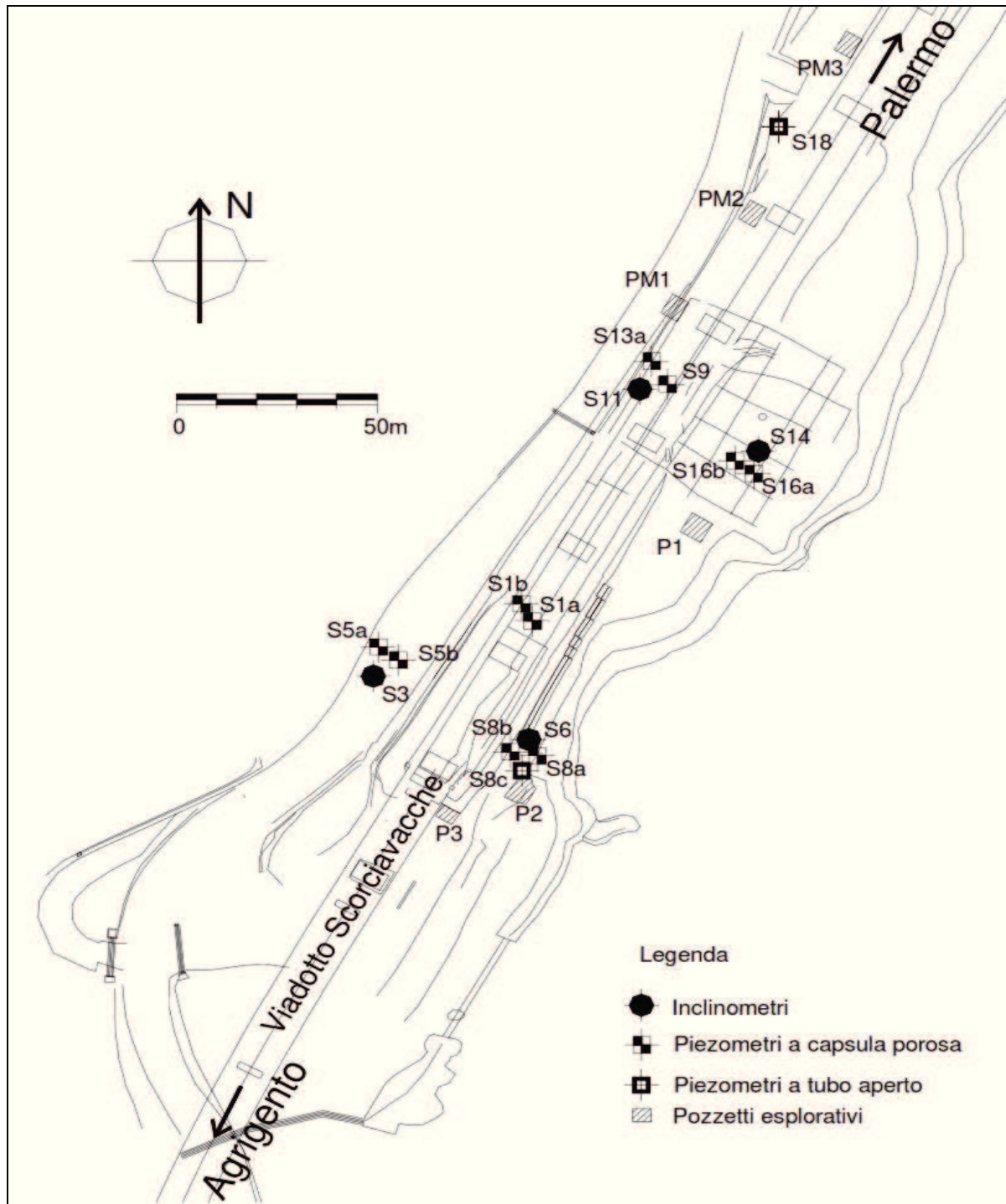


Fig. 6.1. Schema planimetrico con ubicazione dei tubi inclinometrici installati nei fori di sondaggio S3, S6, S11 e S14 nell'ambito delle indagini svolte per la CTU (tratto da CTU, Appendice G.9/5 - DICAM - Rapporto Misure geotecniche in sito).

Rilievi inclinometrici periodici sono stati condotti a partire dalla loro installazione (settembre-novembre 2015) sino al marzo 2016, e sia pure con minore frequenza temporale sono proseguiti sino all'attuale primavera. Caratteristiche dei tubi inclinometrici e sviluppo temporale del monitoraggio sono riassunti nella Tab. 6.2. I risultati ottenuti con l'elaborazione delle misure sinora acquisite sono sintetizzati nei grafici Risultante dello spostamento (Figg. 6.2a+6.5a), rappresentante per ogni rilievo la deformata complessiva del tubo inclinometrico, e Spostamento totale per punti, raffigurante per ogni lettura il procedere della deformazione in corrispondenza della zona di scorrimento (Figg. 6.2b+6.5b).

Tabella 6.2 - Caratteristiche di installazione e sviluppo temporale dei rilievi condotti nei tubi inclinometrici installati nel corso della CTU.

Tubo inclinometrico	S 3	S 6	S 11	S 14
Posizione del tetto del substrato (AVF) in posto (m dal p.c.)	16,9	6,9	13,5	4,5
Immorsamento tubo inclinometrico nel substrato in posto (m)	3,1	8,1	2,0	6,0
Lunghezza totale del tubo inclinometrico (m)	20,0	15,0	15,5	10,5
Periodi con apporti pluviometrici molto superiori ai valori medi trentennali (Mezzojuso Pannua med = 544 mm)	Dicembre 2014 – Marzo 2015 Pioggia tot = 543 mm Settembre 2015 – Novembre 2015 Pioggia tot = 420 mm			
Attivazione dei dissesti coinvolgenti il corpo del rilevato	29/12/2014 ÷ 05/02/2015			
Data installazione tubo inclinometrico	17/09/2015	27/10/2015	13/10/2015	20/10/2015
Rilievi condotti				
30/09/2015	Letture di riferimento			
27/10/2015	X		Letture di riferimento	Letture di riferimento
12/11/2015	X	Letture di riferimento	X	X
17/11/2015		X		X
02/12/2015	X	X	X	X
21/12/2015	X	X	X	X
13/01/2016	X	X	X	X
27/01/2016	X	X	X	X
15/02/2016	X	X	X	X
02/03/2016	X	X	X	X
25/10/2016	X	X	X	X
05/04/2017	X	X	X	X

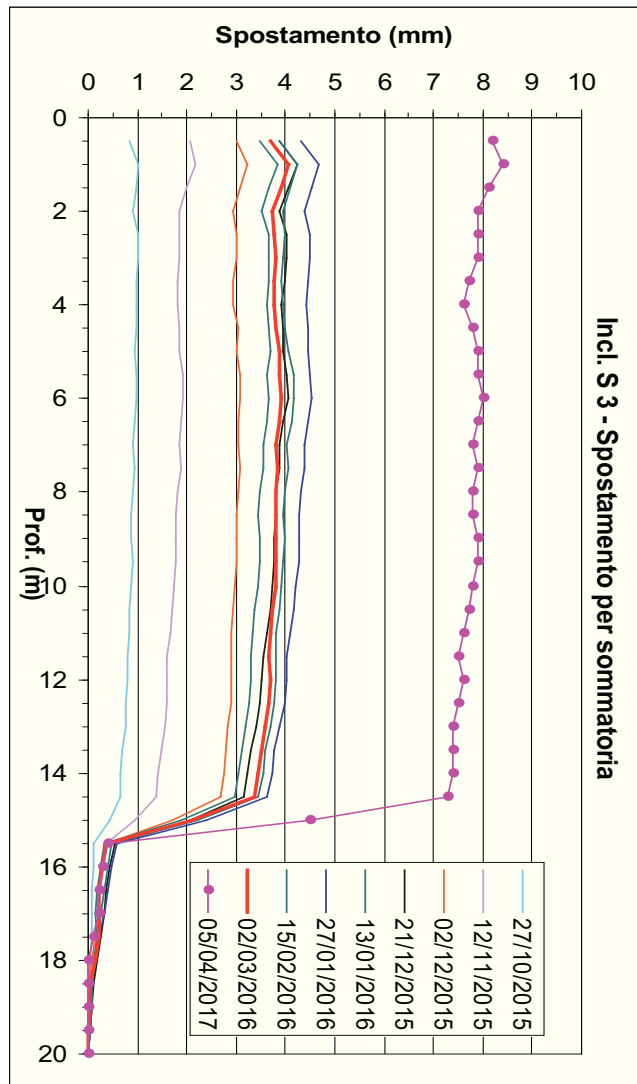


Fig. 6.2a Incl. S 3.
Risultante dello spostamento.

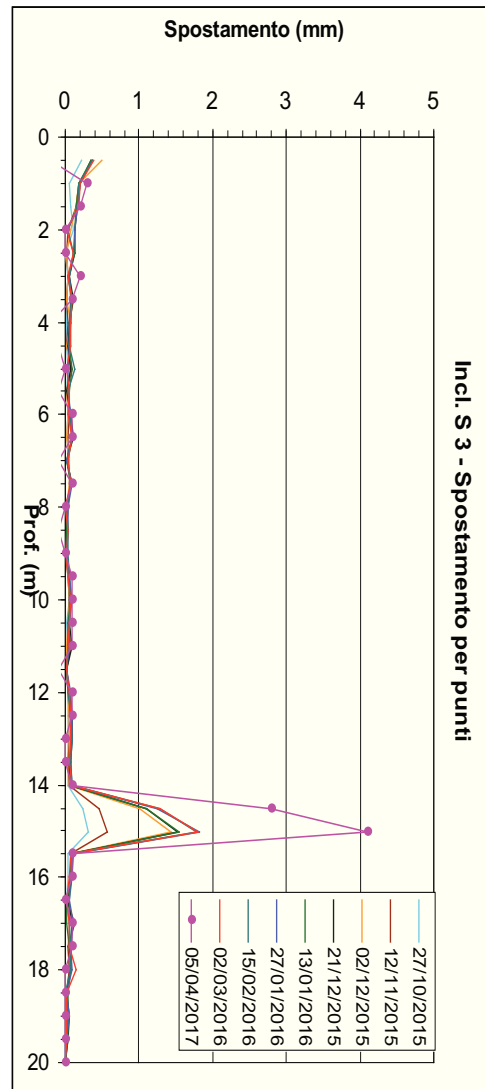


Fig. 6.2b Incl. S 3.
Spostamento totale per punti.

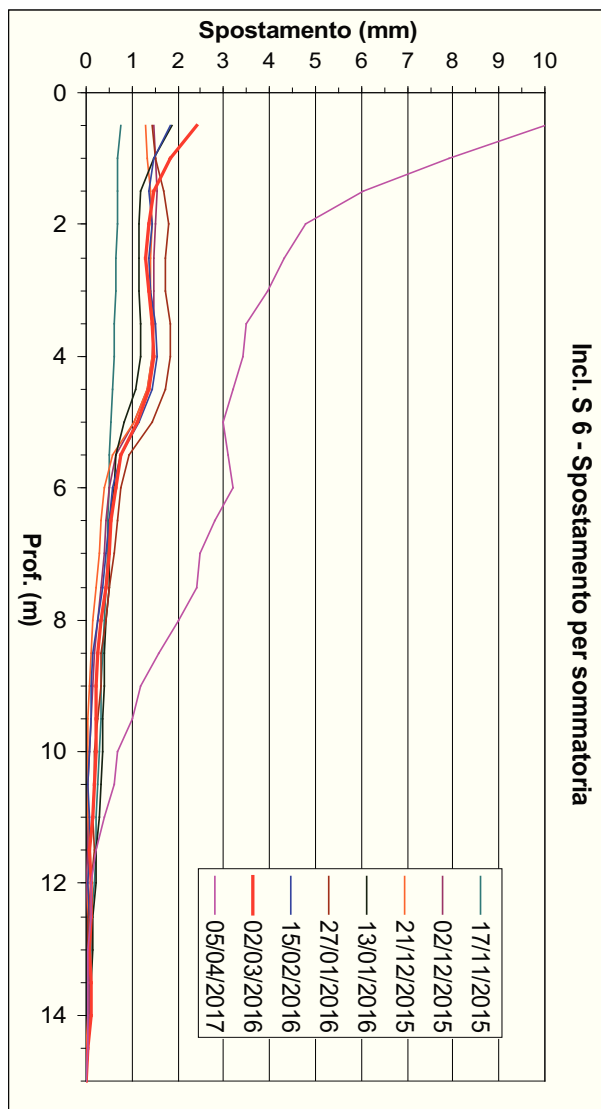


Fig. 6.3a Inclinometro S 6.
Risultante dello spostamento.

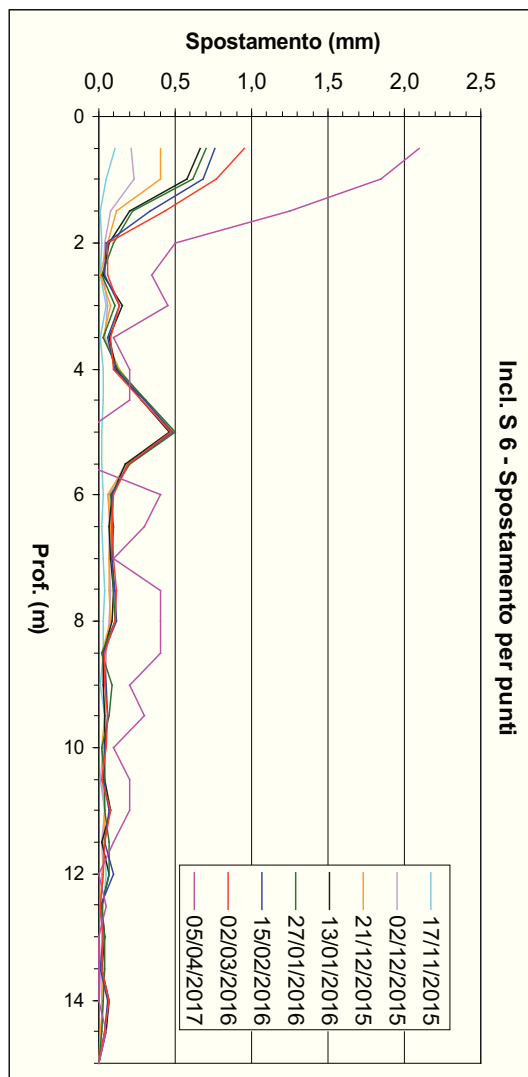


Fig. 6.3b Inclinometro S 6.
Spostamento totale per punti.

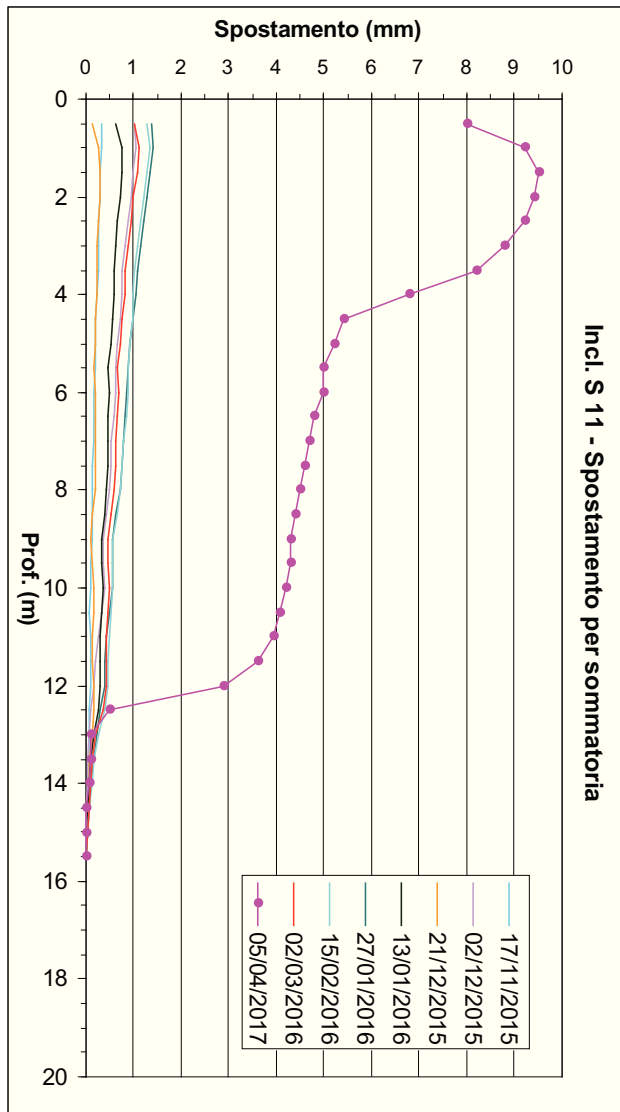


Fig. 6.4a Inclinometro S 11.
Risultante dello spostamento.

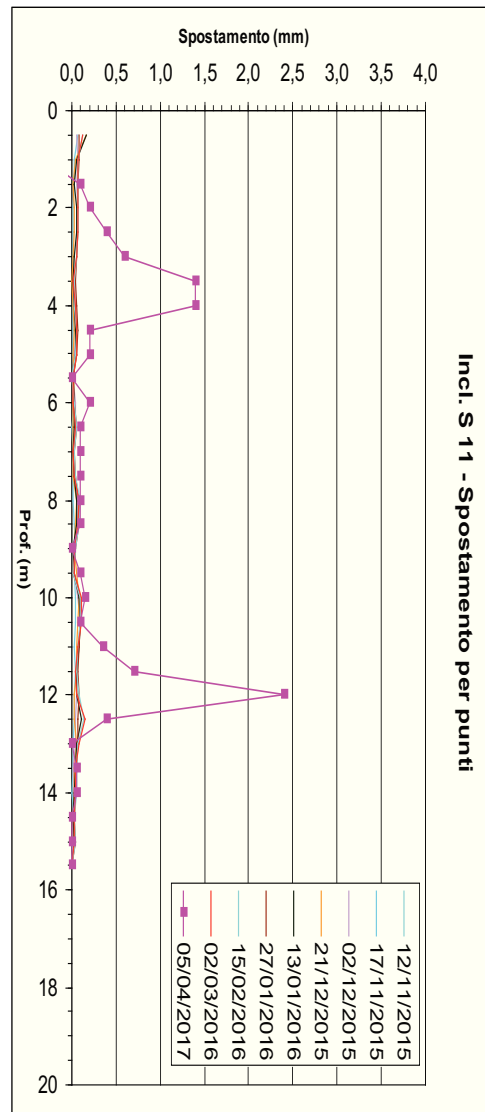


Fig. 6.4b Inclinometro S 11.
Spostamento totale per punti.

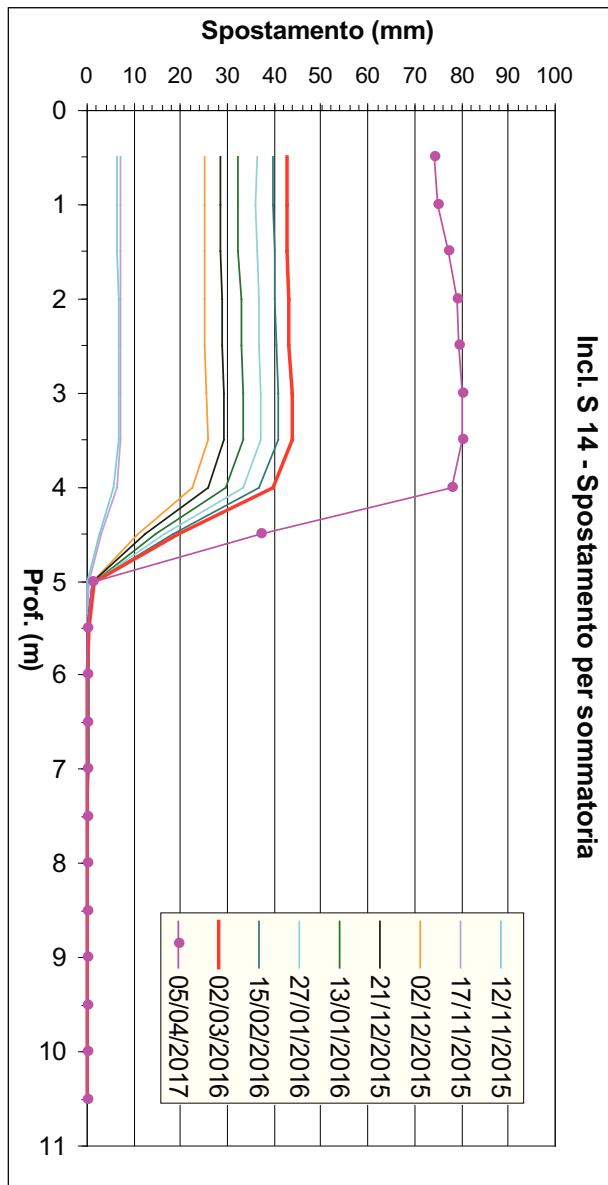


Fig. 6.5a Inclinometro S 14.
Risultante dello spostamento.

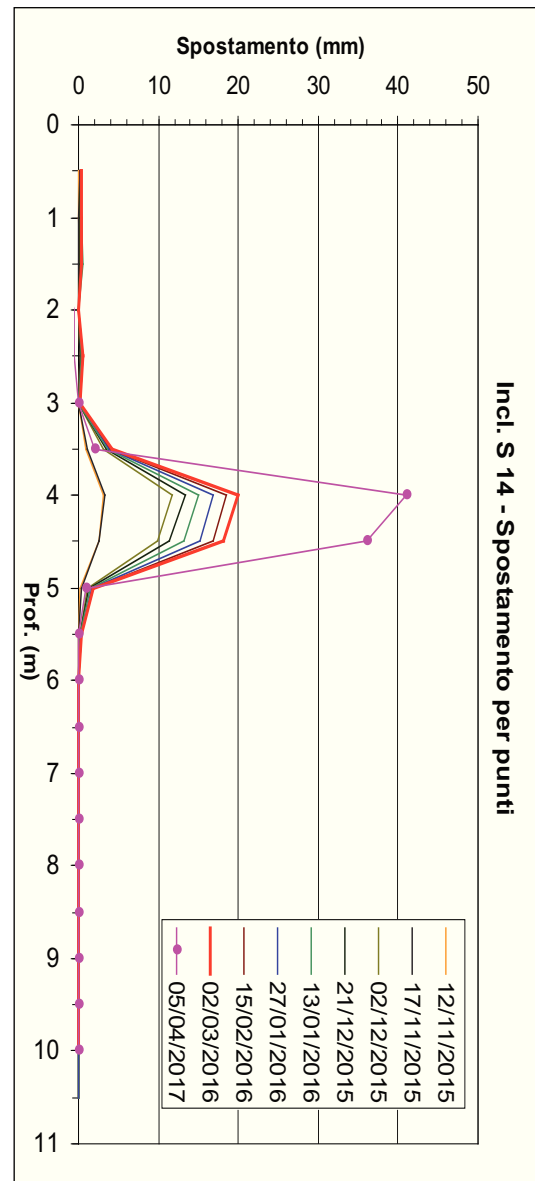


Fig. 6.5b Inclinometro S 14.
Spostamento totale per punti.

Nell'analisi dei risultati ottenuti si deve tener conto, innanzitutto, delle relazioni temporali tra verificarsi dei dissesti coinvolgenti il corpo stradale, inizio del monitoraggio strumentale e condizioni idrologiche al contorno, come richiamato nella Tab. 6.2. La mobilitazione dei dissesti avviene tra la fine del dicembre 2014 e i primi giorni del febbraio 2015 in concomitanza di un periodo con elevati apporti pluviometrici. L'installazione degli inclinometri e l'avvio delle misure risale all'ottobre 2015, lo svolgimento dei rilievi prosegue con diverse

frequenze temporali sino alla primavera 2017, interessando quindi anche un secondo periodo con elevate precipitazioni (Settembre – Novembre 2015).

Di conseguenza la strumentazione può aver rilevato solo la fase finale di evoluzione dei movimenti connessi direttamente ai dissesti, mentre le evidenze riscontrate sono riferibili in parte significativa a spostamenti in atto nel sottosuolo indipendentemente da eventi occasionali quali la rottura del corpo stradale. Tali considerazioni assumono validità, in particolare, per gli strumenti posizionati sul lato di monte del rilevato stradale non interessato da significative deformazioni. Qui gli strumenti S 3 ed S 11 individuano spostamenti limitati ma ben evidenti, che si incrementano nel periodo successivo e il cui verso di spostamento, al contrario di quanto ci si potrebbe aspettare, risulta diretto proprio verso il corpo stradale. Nel complesso sulla base dei dati acquisiti si rileva quanto segue:

- tutte le verticali inclinometriche individuano zone di scorrimento o deformazione rilevando spostamenti limitati, ma ben apprezzabili, che appaiono alla data dell'ultimo rilievo disponibile (05/04/2017), ancora in attività;
- gli strumenti S 3, S 11, S 14 rilevano con chiarezza spostamenti significativi relativi a movimenti tuttora in evoluzione. La profondità della superficie di scorrimento basale risulta variabile, tra - 3,5÷4,5 m in S 14 e - 14,5÷15,5 m in S 3, ma si dispone sempre in corrispondenza dell'orizzonte degradato del substrato (AVF') o al passaggio tra questo e la base delle sovrastanti coltri detritico-colluviali (b2). In tutti i tre casi secondo gli spostamenti si individuano in corrispondenza di una zona di taglio ben definita con spessore limitato (compreso tra 1,5 e 2,0 m);
- S 6 evidenzia una deformazione progressiva nell'orizzonte più superficiale compreso tra il p.c. e circa - 3,0 m, senza superfici di taglio ben identificabili; tale andamento è ben spiegabile con l'ubicazione dello strumento al piede del rilevato dislocato. In questa zona la superficie di rottura che ha coinvolto il corpo stradale risale con geometria cilindrica verso il piano campagna determinando un'intensa deformazione del volume di terreno antistante come verificato direttamente nel corso dello scavo del Pozzetto esplorativo P1;
- gli spostamenti sono caratterizzati da velocità molto ridotte, con riferimento al periodo marzo 2016-aprile 2017 assumono valori nell'ordine di pochi mm/anno sino ad un massimo di circa 36 mm (S 14). Nella classificazione internazionale dei fenomeni franosi questo campo di deformazioni rientra nelle classi 1 – Estremamente lenta (vel. inferiore a 16 mm/anno) e 2 – Molto lenta (vel. comprese tra 16 mm/anno e 1,6 m/anno).

Le caratteristiche principali delle deformazioni individuate con il monitoraggio inclinometrico sinora condotto sono riassunte nella Tab. 6.3. Tra i parametri individuati particolare significato assume l'orientazione del movimento. Il tracciato stradale nel tratto in esame è orientato N 30° E. I dissesti che lo hanno coinvolto evidenziano, come avviene ordinariamente in questi casi, direzioni orizzontali di traslazione disposte ortogonalmente allo sviluppo del rilevato (attorno a N 120° E). I movimenti rilevati nel sottosuolo con gli inclinometri assumono questa direzione solo nel caso della verticale S 11 posta sul lato di monte del rilevato che individua un vettore spostamento orientato N 116°. Gli altri strumenti rilevano direzioni significativamente diverse, ma praticamente coincidenti tra loro (S 3 = N 151°; S 6 = N 150°; S 14 = N 152°). Tale orientazione non compatibile con la geometria dei dissesti sul rilevato stradale, risulta invece del tutto coerente con la geometria del pendio collinare a monte della sede stradale, sul quale sono state rilevate evidenze di possibili deformazioni di tipo lento.

Tabella 6.3 - Quadro riassuntivo principali elementi deformativi riconosciuti con il monitoraggio inclinometrico condotto nell'immediato intorno del tratto di sede stradale oggetto di rifacimento.

Inclinometro	Quota t.t. (m slm)	Lungh. (m)	Profondità zona di scorrimento (m da t.t.)	Spostamento totale 02/03/16 - 05/04/17 nella zona di scorrimento (mm)	Orientazione dello spostamento *	Vel. media 02/03/16 - 05/04/17 (mm/anno)
S 3	421,82	20,0	14,5 ÷ 15,5	3,0	N 151° Direz. NNO-SSE	2,7
S 6	413,19	15,0	0,0 ÷ 3,0	5,5	N 150° Direz. NNO-SSE	5,0
S 11	425,23	15,5	2,0 ÷ 4,5 11,0 ÷ 12,5	3,5 4,1	N 116 ° N 116 ° Direz. ONO-ESE	3,2 3,8
S 14	417,32	10,0	3,5 ÷ 4,5	36,2	N 152 ° Direz. NNO-SSE	33,1

[*] – Secondo la convenzione adottata per il rilievo, lo spostamento è misurato rispetto al Nord procedendo in senso orario.

Il complesso delle misure acquisite, oltre a rilevare l'evoluzione finale delle deformazioni nei terreni delle coperture su cui è impostato il rilevato conseguenti alla mobilitazione dei

dissesti, evidenzia la presenza di movimenti lenti anche nel settore a monte del corpo stradale in corrispondenza della zona di contatto tra il substrato locale, localmente degradato, e la base delle coperture. Questo secondo tipo di movimenti per la loro ubicazione, la cinematica e le tendenze evolutive non è riconducibile al dissesto che ha coinvolto il sovrastante corpo stradale, ma appare riferibile a fenomeni deformativi almeno in parte indipendenti. Si tratta di scorrimenti lenti di tipo viscoso indotti dall'azione di masse significative agenti a scala del pendio retrostante. Le velocità di deformazione sono estremamente basse, ma l'evoluzione temporale può risultare molto estesa.

In accordo con tali elementi, l'analisi di riprese aerofotografiche e satellitari svolte nell'ambito del presente studio ha evidenziato in destra idrografica della vallecchia percorsa dal tracciato stradale un assetto "scomposto" e disarticolato, presumibilmente anche a livello delle unità del substrato, che interessa a partire dal fondovalle un settore significativamente esteso del versante (si veda la Tav. Carta geomorfologica). Le evidenze riconosciute, pertanto, fanno ritenere che anche il pendio a monte del tracciato possa essere interessato a scala d'insieme da fenomeni deformativi in atto con cinematica lenta.

7 IDROGRAFIA, CLIMA E IDROLOGIA

7.1 Idrografia

L'area di progetto ricade all'interno del Bacino del Fiume San Leonardo. Il reticolo idrografico si presenta molto ramificato sia per la presenza di una considerevole circolazione idrica torrentizia lungo i versanti sia per le caratteristiche litologiche e strutturali dell'area.

Le informazioni che seguono derivano dalla documentazione del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I., 2004/2005).

Il regime termico e pluviometrico dell'area è stato ricavato considerando i dati registrati presso le stazioni termopluviometriche e pluviometriche situate all'interno del bacino del F. San Leonardo elencate in Tab. 7.1.

STAZIONE	LOCALITA'	STRUMENTO	QUOTA (m s.l.m.)	COORDINATE (UTM)	
				Lat.	Long.
Caccamo	Caccamo	Pluviometro	521	4.199.326	382.823
Campofelice di Fitalia	Campofelice di Fitalia	Pluviometro	730	4.186.627	366.500
Ciminna	Ciminna	Termo-pluviometro	500	4.195.780	372.512
Mezzojuso	Mezzojuso	Pluviometro	500	4.192.199	365.124
Monumentale	Termini Imerese	Pluviometro	6	4.204.833	385.830
Vicari	Vicari	Pluviometro	650	4.186.511	373.836

Tab. 7.1. Stazioni termo-pluviometriche di riferimento per il bacino del F. San Leonardo.

Temperatura

I dati di temperatura riportati nella relazione del PAI derivano dai dati registrati a Ciminna, l'unica stazione tra quelle ricadenti nel bacino del F. San Leonardo ad essere dotata di sensore di rilevamento della temperatura atmosferica. I dati sono riferiti al periodo ventennale compreso tra il 1984 ed il 2004.

Il territorio attraversato dalla SS 121 è caratterizzato da valori della temperatura media annua prossimi a 15°C. Riferendosi ai valori medi stagionali si ottengono valori nella norma se si calcola l'escursione tra la temperatura media diurna e quella notturna mentre forti differenze si ricavano dal confronto, per un dato mese, fra i valori di temperatura diurna massima e quella minima notturna.

L'analisi complessiva dei dati mostra che nei mesi più caldi (Luglio e Agosto) si raggiungono temperature massime di circa 40° C; nel mese più freddo (Gennaio) la temperatura media è pari a 9° C, con i valori minimi generalmente di pochi gradi sopra lo zero. Temperature inferiori allo zero si rilevano raramente e soltanto nelle località poste alle quote più elevate.

Pluviometria

Nell'ambito della Relazione del PAI è stata condotta un'analisi del regime pluviometrico basata sulle misure di precipitazione rilevate nelle stazioni idrologiche indicate nel periodo 1965-1994 e pubblicate negli Annali idrologici dalla Regione Siciliana (Ufficio Idrografico).

Per l'areale interessato dal tracciato stradale nel suo complesso, la precipitazione media annua nell'intervallo temporale considerato è stata nell'ordine di 600 mm. Il regime pluviometrico annuale è caratterizzato da un periodo con maggiori precipitazioni corrispondente alle stagioni autunno-inverno e, in particolare, all'intervallo Ottobre-Febbraio, a cui fa seguito un intervallo con scarsi apporti pluviometrici che si protrae normalmente da Maggio a Settembre.

Nel trentennio 1965-1994 presso la stazione pluviometrica di Mezzojuso, prossima al tratto stradale oggetto di riferimento e posta in un contesto morfoclimatico analogo, ha rilevato un valore di pioggia media annua pari a 544 mm. Nel periodo considerato gli anni più piovosi sono stati il 1976 e il 1982, quando si sono registrati, rispettivamente, 1163 mm e 924 mm di pioggia. Il 1984 rappresenta l'anno con minori precipitazioni, con un'altezza complessiva di pioggia pari a soli 314 mm. A livello mensile, il periodo con maggiori apporti è stato rilevato nel Gennaio del 1981, quando nell'arco di soli 15 giorni sono caduti ben 244 mm di pioggia cumulata.

7.2 Idrologia

Nel bacino del F. San Leonardo attualmente sono in funzione due stazioni idrometriche ubicate nelle località Vicari (funzionante nei periodi 1924-1933 e 1972 -1981) e Monumentale (in efficienza negli anni 1928 -1981). Una terza stazione idrometrica denominata Vecchio ha funzionato limitatamente agli anni 1925-1927.

La stazione di Vicari, posta a 250 msm, sottende un bacino di circa 253 Km², con altitudine media di 672 m slm. Le misure relative a 14 anni di osservazioni (1924-1933 e 1972-1975) consentono di valutare, a fronte di una precipitazione media annua di 722 mm ottenuta con riferimento all'intero bacino scolante, un deflusso medio annuo di 177 mm (pari a 44,8 Mm³/anno).

La stazione Monumentale, posta a 15 m slm, sottende un bacino di 521,5 Km², avente una altitudine media di 578 m slm. Per quest'ultima, le misure relative a 58 anni di osservazioni (1928-1975) consentono di valutare, a fronte di una precipitazione media annua di 705 mm ottenuta con riferimento all'intero bacino scolante, un deflusso medio annuo di 191 mm (pari a circa 99,6 Mm³/anno).

Per i dettagli dell'analisi del regime idrologico e dello scorrimento idrico afferente al reticolo locale, nonché degli interventi di regimazione dei deflussi superficiali si rimanda alla "Relazione Idraulica".

8 IDROGEOLOGIA

8.1 Inquadramento

In considerazione dello scarso valore idrogeologico dell'area attraversata dalla SS121 e, conseguentemente, dell'assenza di studi e ricerche idrogeologiche riguardanti tale area, la Carta Idrogeologica è basata sostanzialmente sull'accorpamento dei litotipi in Unità Idrogeologiche in funzione del tipo di permeabilità prevalente e del grado di permeabilità relativa. Nei confronti dell'infiltrazione e della circolazione idrica i singoli complessi così individuati mostrano un comportamento sostanzialmente identico.

In generale i terreni presenti sono riferibili a differenti unità stratigrafico-strutturali le cui litologie, escludendo le facies arenaceo-conglomeratiche, i depositi alluvionali e gli accumuli detritici e gravitativi, sono caratterizzate da una scarsa permeabilità relativa.

La caratterizzazione dei principali complessi idrogeologici riconosciuti nell'ambito dello studio effettuato dalla Regione Sicilia "Caratterizzazione dei bacini idrogeologici dei Monti di Trabia-Termini Imerese, Rocca Busambra" Piano di tutela delle acque - 2005 è servita come base per l'attribuzione delle formazioni alle diverse unità idrogeologiche.

La corrispondenza tra le unità geologiche e le unità idrogeologiche è illustrata nello schema di sintesi di Tab. 8.1.

Nell'ambito dell'areale attraversato con l'intero tracciato, i terreni relativi al substrato locale a composizione prevalentemente argilloso-marnosa e sabbioso-arenacea attribuibili alle unità relative alla deformazione del Dominio Sicilide, del Bacino Numidico e alle facies a granulometria fine delle successioni sinorogeniche, svolgono la funzione di *impermeabile relativo* rispetto agli altri complessi idrogeologici.

Tabella 8.1 - Unità Idrogeologiche presenti lungo il tracciato della S.S. 121.

Unità idrogeologiche	Tipo di permeabilità	Grado di permeabilità	Unità geologiche	Litologia	Falda
1	per porosità	medio	depositi di versante (a), depositi di frana (aF), coltri detritico-colluviali (b2)	depositi eterogenei ed eterometrici	effimera e fortemente legata al regime pluviometrico
2	per porosità	estremamente variabile sia in senso orizzontale che verticale da medio ad alto	depositi torrentizi attuali (b), depositi torrentizi terrazzati (bn1)	ghiaie e sabbie prevalenti, localmente anche livelli e/o strati di materiale fine, presenza di coperture fini e medio-fini pedogenizzate	normalmente è presente in permanenza, ma vi possono essere forti escursioni stagionali della quota piezometrica in funzione degli apporti meteorici
3	per porosità	da medio a medio-basso	membro conglomeratico della Formazione Terravecchia (TRVcg), inclusioni conglomeratiche nel membro sabbioso della Formazione Terravecchia (TRVsa-a)	conglomerati prevalenti con lenti pelitiche	discontinua e profonda
4	per porosità	molto basso	Formazione di Mufara (MUF), Complesso di Lercara (CLE, CLEb) Formazione di Tavernola (FYNpa), Formazione Portella Colla (FYNar- FYNco), membro sabbioso Formazione Terravecchia (TRVsa)	calcilutiti laminate, argilliti con intercalazioni di arenarie quarzoso-micacee, argilliti policrome	effimera e limitata alla coltre di alterazione superficiale ma con presenza discontinua
5	mista: per porosità e fratturazione	medio-basso	Formazione di Castellana Sicula (FCS), membro sabbioso della Formazione di Terravecchia (TRVsa)	Arenarie, localmente in subordine peliti, peliti sabbiose	da modesta a nulla, limitata alle coltri di alterazione superficiale, durata effimera
6	per fratturazione	medio-basso	Formazione di Buccheri p.p. (B)	calcari nodulari, radiolariti e calcari diasprigni	--
7	per fratturazione	basso	Formazione di Polizzi (POZ)	calcilutiti e calcilutiti marnose	sporadiche manifestazioni sorgentizie a regime stagionale nelle zone dei contatti litologici
8'	per fratturazione	medi	Orizzonte superiore di alterazione delle argille varicolori inferiori (AVG')	Limi argilloso sabbiosi con inclusi litici	modesta e con durata effimera
8	mista: per porosità, a tratti per fratturazione	molto bassa bassa	Argille varicolori inferiori (AVG)	argille, marne, e argilliti inglobanti localmente brecce calcaree	assenza di circolazione idrica

8.2 Assetto idrogeologico del tratto stradale in esame

L'analisi in chiave idrogeologica della successione litologico-stratigrafica definita nel Cap. 5.3, di interesse per il tratto stradale in esame, consente di definire il ruolo idrogeologico rivestito dai diversi terreni e ricostruire le modalità della circolazione idrica sotterranea che nel contesto in esame assume un ruolo determinante nell'improntare le condizioni di stabilità. Il tratto in esame, di limitato sviluppo, comprende solo una parte dei termini individuati per l'intero tracciato (cfr. Tab. 8.1), pertanto alcune unità non sono state prese in considerazione. Il riconoscimento della presenza delle Argille varicolori inferiori, inoltre, ha portato alla definizione della nuova unità n. 8. La serie idrogeologica così definita comprende:

Unità idrogeologiche delle coperture

- Unità 1: comprendente i depositi di versante, di frana e le coltri detritico-colluviali;
- Unità 2: costituita dai depositi torrentizi attuali e terrazzati;

Unità idrogeologiche del substrato

- Unità 3: Formazione Terravecchia, membro conglomeratico e orizzonti conglomeratici intercalati nel membro sabbioso;
- Unità 5: Formazione Terravecchia, membro sabbioso, Formazione di Castellana Sicula;
- Unità 8: Argille varicolori inferiori.

Unità idrogeologiche delle coperture

Unità 1

Comprende i depositi di versante (a), di frana (aF), le coltri detritico-colluviali (b2).

La permeabilità è di tipo primario per porosità, con valore relativo da basso a medio-basso. Lo spessore complessivo varia da alcuni metri ad oltre una decina di metri. Ospita circuiti idrici discontinui, con potenzialità generalmente limitate. La presenza in continuità stratigrafica con l'unità idrogeologica 2 determina condizioni favorevoli ad una circolazione sotterranea significativa che, nel settore di fondovalle, comporta la saturazione dei terreni sino in prossimità del p.c.. L'alternanza di livelli a diversa granulometria, come pure la presenza di terreni grossolani intercalati (depositi torrentizi attuali e terrazzati – unità 2) determina l'esistenza di circuiti idrici semiconfinati.

Unità 2

E' costituita dai depositi torrentizi attuali (b) e terrazzati (bn1). La permeabilità è di tipo primario per porosità, con valore relativo da medio-basso, riferibile generalmente ai depositi attuali con maggiore presenza della matrice fine, a medio-alto attribuibile ai corpi ghiaioso-sabbiosi caratterizzanti i depositi terrazzati. Lo spessore complessivo è frequentemente compreso tra 5 ÷ 7 m, come accertato con le indagini recenti. Questo termine, in particolare i depositi terrazzati - bn1, ospita la circolazione sotterranea di maggiore rilevanza nell'ambito dell'area di progetto, in continuità stratigrafica e idraulica con l'unità idrogeologica 1. La presenza dei depositi torrentizi all'interno e alla base di questa, riconosciuta tramite le indagini, assicura un bacino di alimentazione e deflusso relativamente ampio, con deflussi permanenti e saturazione dei terreni sino in prossimità del p.c. L'intercalazione di livelli a granulometria fine, come pure la frequente sovrapposizione dei terreni relativi all'Unità 1 comporta l'impostazione di circuiti idrici di tipo semiconfinato.

Unità idrogeologiche del substrato

Unità 3

E' relativa alla Formazione Terravecchia, membro conglomeratico (TRVcg), e agli orizzonti conglomeratici intercalati nel membro sabbioso (TRVsa). La permeabilità prevalente è di tipo primario per porosità con valore relativo da medio a medio-basso associata localmente ad una permeabilità secondaria per fratturazione di grado medio. Lo spessore complessivo nell'ambito del bacino attraversato con il tracciato è di alcune decine di metri. Gli affioramenti di maggiore estensione possono ospitare circuiti idrici discontinui con ridotte potenzialità idriche.

Unità 5

Comprende la Formazione Terravecchia, membro sabbioso (TRVsa), e la Formazione di Castellana Sicula. La permeabilità è di tipo misto per fratturazione e porosità con valore relativo medio-basso. Lo spessore complessivo può essere superiore al centinaio di metri. Nell'intorno dell'area di progetto l'unità, in relazione alla limitata permeabilità e alle condizioni di affioramento non ospita circuiti idrici significativi.

Unità 8

E' relativa alle Argille varicolori inferiori (AVF). La permeabilità tipica dell'ammasso in condizioni non disturbate è di tipo primario per porosità con valori estremamente bassi, a cui si associa, in corrispondenza delle zone di fratturazione, una permeabilità sovrimposta per

fratturazione con valori relativi in genere bassi. L'unità nel suo complesso rappresenta il substrato impermeabile che delimita inferiormente i circuiti idrici ospitati nella sequenza sovrastante. Lo spessore complessivo noto varia da alcune decine di metri a quasi 200 metri.

Questo termine stratigrafico non è affiorante nell'area, ma è stato riconosciuto con le indagini recenti (2015), oltre ad essere stato individuato con i rilevamenti della nuova Carta geologica d'Italia (Fig. 5.4) in corrispondenza del tratto stradale, all'interno di alcune incisioni torrentizie circostanti.

L'orizzonte superiore di alterazione (AVF'), caratterizzato da un detensionamento diffuso dell'ammasso con apertura delle discontinuità nella struttura a scaglie, è improntato da una permeabilità secondaria per fratturazione, con valori relativi medi. Lo spessore accertato è generalmente compreso tra 1 ÷ 5 m. Questo termine (AVF'), ove in continuità giaciturale con le unità idrogeologiche 1 e 2 può ospitare circuiti idrici anche di tipo permanente che nel settore di fondovalle possono determinare la saturazione dei terreni sino in prossimità del p.c..

Il quadro conoscitivo ottenuto con gli studi ed i rilievi effettuati in sede di progetto definitivo ed esecutivo, unitamente ai nuovi dati acquisiti con le successive indagini e le attività svolte per il presente studio, hanno consentito di definire il ruolo delle diverse Unità Idrogeologiche nei confronti dell'alimentazione e delle modalità della circolazione idrica sotterranea nell'area del tracciato stradale. Gli elementi principali sono sintetizzati nello schema di sintesi riportato in Tab. 8.2.

Tabella 8.2- Composizione e caratteristiche delle Unità Idrogeologiche di interesse per l'intervento.

Tipo e grado di permeabilità	Unità Idrogeologica (Un. Geologica)	Modalità della circolazione sotterranea	Posizione della falda m dal p.c. (data rilievo)
Primario per	1	Circuiti idrici discontinui in genere di tipo	SDA -- 3,80 (12/01/10)

Tipo e grado di permeabilità	Unità Idrogeologica (Un. Geologica)	Modalità della circolazione sotterranea	Posizione della falda m dal p.c. (data rilievo)
porosità Valore relativo da basso a medio-basso.	(b2)	freatico, con potenzialità generalmente limitate. La presenza in continuità stratigrafica con l'unità 2 determina condizioni favorevoli ad una circolazione sotterranea significativa che, nel settore di fondovalle, comporta la saturazione dei terreni sino in prossimità del p.c.. L'alternanza di livelli a diversa granulometria, come pure la presenza di terreni grossolani intercalati (depositi torrentizi) determina l'esistenza di circuiti idrici semiconfinati.	
Primario per porosità. Valore relativo da medio-basso a medio-alto, fortemente variabile in senso orizzontale e verticale in funzione dell'eterogeneità granulometrica.	2 (b, bn1)	Ospita la circolazione sotterranea di maggiore rilevanza, in genere di tipo libero, in continuità stratigrafica e idraulica con l'unità 1. La presenza dei depositi torrentizi all'interno e alla base di questa, riconosciuta tramite le indagini, assicura un bacino di alimentazione e deflusso relativamente ampio, con deflussi permanenti e saturazione dei terreni sino in prossimità del p.c. L'intercalazione di livelli a granulometria fine, come pure la frequente sovrapposizione dei terreni dell'Unità 1 comporta l'impostazione di circuiti idrici di tipo semiconfinato.	Sc2 Pz 1,5 (03/03/2010)
Mista per porosità e fratturazione. Valore relativo da medio a medio-basso.	3 (TRV_cg, livelli conglomeratici in TRV_sa)	Gli affioramenti di maggiore estensione possono ospitare circuiti idrici discontinui, di tipo freatico, con ridotte potenzialità idriche.	
Mista per porosità e fratturazione. Valore relativo medio-basso.	5 (FCS, TRVsa)	Circuiti idrici di tipo libero, a regime effimero e con potenzialità idriche molto limitate.	
Permeabilità primaria per porosità con valori estremamente bassi. Locale permeabilità secondaria per fratturazione con valori relativi bassi.	8 (AVF)	L'unità rappresenta il substrato impermeabile che delimita inferiormente i circuiti idrici ospitati nella sequenza di terreni sovrastante.	
Permeabilità secondaria per fratturazione con valori relativi medi.	8' (orizzonte alterazione AVF')	Libera, effimera, interessa solo la coltre di alterazione e/o eventuali depositi colluviali Dove in continuità giaciturale con le unità 1 e 2, può ospitare circuiti idrici anche di tipo permanente che nel settore di fondovalle possono determinare la saturazione dei terreni sino in prossimità del p.c..	

Il tratto di tracciato stradale oggetto di intervento (tra le progr. 11+140 ÷ 11+509) interessa le seguenti Unità Idrogeologiche:

- dalla progressiva km10+460 alla progressiva km11+260:
Coperture detritico-colluviali recenti ed attuali (b2), Unità Idrogeologica 1;
- dalla progressiva km 11+260 alla progressiva km11+420:
coperture detritico-colluviali recenti ed attuali (b2) sovrapposte e/o con intercalazioni di depositi torrentizi terrazzati (bn), Unità Idrogeologiche 1 e 2;
- dalla progressiva km11+ 420 alla progressiva km 11+640:
Depositati torrentizi recenti (b) e terrazzati (bn1), Unità Idrogeologica 2;
- nell'ambito dell'intera tratta, tra le progr km 10 + 460 e km 11 + 640 il substrato locale è costituito dalla Formazione di Castellana Sicula (FCS) – Unità idrogeologica 5 e dall'unità delle Argille varicolori inferiori (AVF) - Unità idrogeologica 8, con il relativo orizzonte di alterazione superficiale.

In tale contesto idrogeologico acquiferi significativi a scala locale sono presenti in corrispondenza del complesso torrentizio e sono caratterizzati dalla giustapposizione disordinata di termini litologici di varia granulometria. La circolazione idrica avviene pertanto per falde sovrapposte con deflusso preferenziale dell'acqua nei litotipi a più alto grado di permeabilità relativa. La falda idrica risulta essere piuttosto superficiale come evidenziato dai sondaggi eseguiti sui terreni alluvionali e dai pozzi di grande diametro ad uso agricolo scavati a mano alla base dei pendii e in prossimità dei fondovalle. Il regime torrentizio dei corsi d'acqua fa supporre che vi sia una notevole escursione stagionale del livello della falda nelle piane alluvionali, dove la circolazione sotterranea è alimentata per la maggior parte dalle acque di subalveo dei corsi d'acqua, insieme ai contributi derivanti dal ruscellamento lungo i versanti.

Falde di modeste dimensioni e a carattere stagionale si impostano nelle coltri superficiali di alterazione del substrato, nelle coperture detritiche e negli accumuli di frana.

Posizione del livello di falda in corrispondenza del tracciato

Prima dell'esecuzione della campagna d'indagine 2015, i dati diretti sul livello della falda superficiale in corrispondenza dell'area di progetto erano piuttosto limitati in relazione al ridotto numero di sondaggi eseguiti e, in particolare, alla presenza di un solo piezometro. I dati disponibili, nello specifico, comprendevano alcune misure sporadiche condotte durante l'esecuzione di alcune indagini (Tab. 8.3) e una serie di rilievi condotti nel sondaggio SC2 Pz, il solo attrezzato con piezometro a tubo aperto (diam. 2"), ubicato in prossimità della spalla nord del viadotto Scorciavacche 2 (Tab. 8.4). Le attività di cantiere connesse alla

demolizione e successiva ricostruzione del Viadotto Scorcaviacche 2 hanno successivamente comportato la rimozione del tubo piezometrico.

Indicazioni puntuali sulla posizione del livello della falda e sul carattere di continuità della circolazione idrica sotterranea nell'intorno del tratto in esame sono ricavabili, inoltre, dalla presenza di un pozzo di grande diametro, scavato a mano, tuttora esistente e posizionato sul lato a valle del rilevato stradale circa in corrispondenza della Sez. 570. L'alimentazione del pozzo ha carattere di permanenza come rilevabile sia dalla qualità dell'acqua sia dal fatto che l'opera è a servizio di un abbeveratoio per il bestiame. Il livello della falda si dispone ordinariamente in prossimità, se non in corrispondenza, del piano campagna, come rilevato dagli scriventi anche nel maggio 2017, dopo un periodo di alcuni mesi con scarsi apporti pluviometrici.

Tabella 8.3 – Misure del livello della falda eseguite nel corso delle indagini del Progetto definitivo.

Codice indagine	Posizione	Quota piano campagna (m slm)	Tipo di indagine	Data	Modalità della misura	Soggiacenza della falda (in m dal p.c.)
SDA	Corrispondenza Sez. 539	450,37	Sondaggio a carotaggio	12/01/2010	In fase di perforazione	3,80
Pz 10	Corrispondenza Sez. 543	445,50	Pozzetto esplorativo	07/01/2010	In fase di scavo	1,30

Tabella 8.4 – Sondaggio SC2 Pz, posto in corrispondenza della Sez. 574A, completato con piezometro a tubo aperto (diam. 2") fenestrato tra 1÷31 m dal p.c.. Rilievi piezometrici condotti nel periodo 2010-2011.

Misura	0	1	2	3	4	5	6
Data	03/03/2010	mag-10	lug-10	set-10	nov-10	gen-11	feb-11
m da p.c.	1,50	2,78	3,43	3,48	2,86	2,74	2,74
m s.l.m	412,67	411,39	410,74	410,69	411,31	411,43	411,43

La campagna d'indagine condotta nell'autunno 2015 nell'ambito della CTU ha comportato, tra l'altro, l'installazione di una serie di piezometri attrezzati per la maggior parte con cella tipo Casagrande, posizionata a profondità comprese tra 2,0 ÷ 17,0 m dal p.c., e in parte con tubo aperto (prof. 7,0 e 14,4 m dal p.c.). L'ubicazione della strumentazione è riportata nella Fig. 8.1.

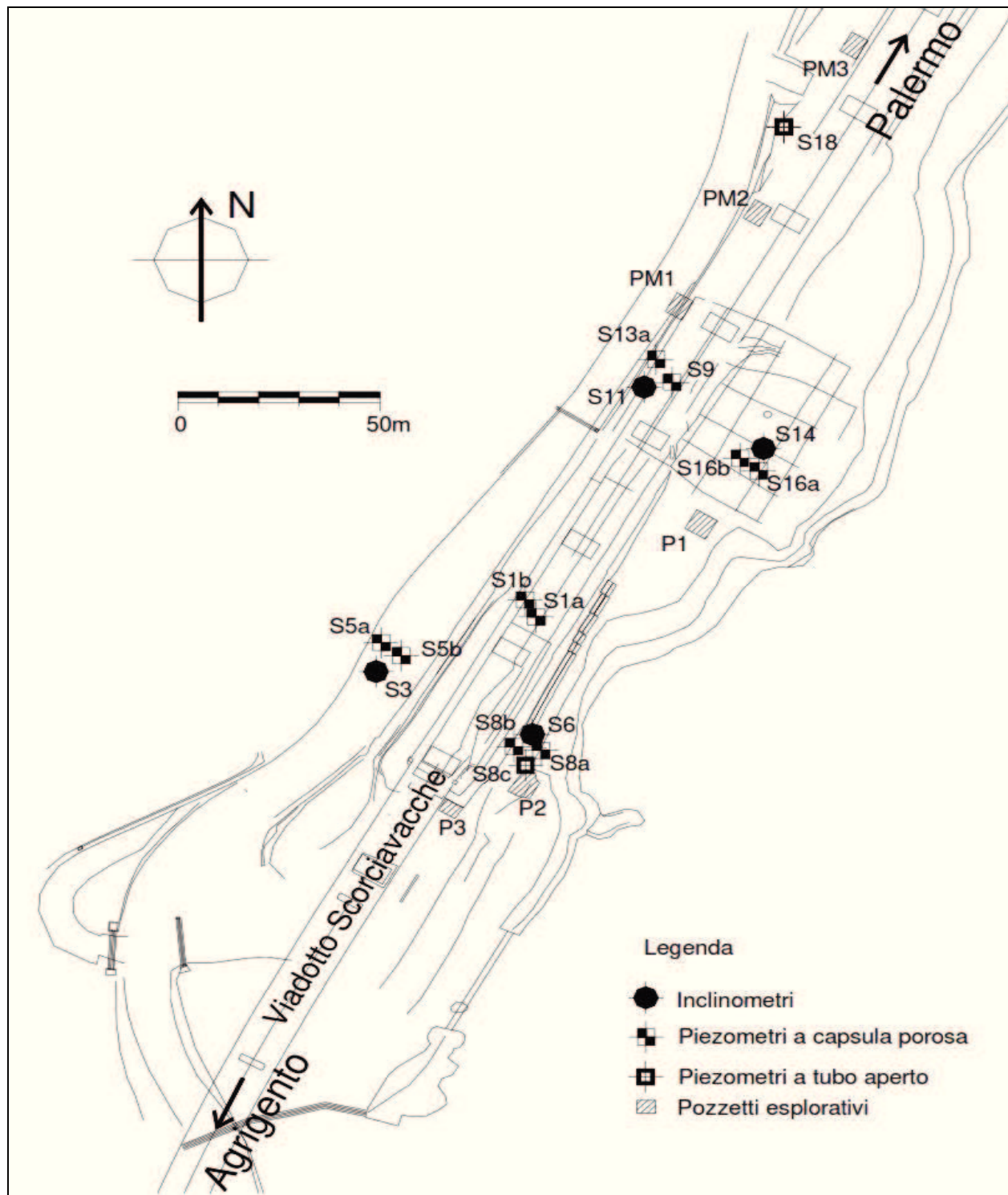


Fig. 8.1. Schema planimetrico con ubicazione dei piezometri installati nell'ambito delle indagini svolte per la CTU (tratto da CTU, Appendice G.9/5 - DICAM - Rapporto Misure geotecniche in sito).

Nel periodo ottobre 2015 – giugno 2016 rilievi sistematici sono stati condotti con regolarità sull'intero sistema di monitoraggio, i dati disponibili sono riassunti nella Tab. 8.5, dove per consentire una valutazione immediata del significato dei livelli piezometrici rilevati nel contesto idrogeologico rilevato sono riportate anche le posizioni dei tratti filtranti e l'unità idrogeologica in cui si impostano.

(segue)

Tabella 8.5 – Misure del livello di falda eseguite nel periodo Ottobre 2015 – Giugno 2016 nei piezometri installati con la Campagna d'indagine eseguita nell'ambito della Consulenza Tecnica per l'Ufficio del G.I.P. (CTU, 2015 – Appendice G.5). I valori di soggiacenza sono riferiti al piano campagna (pc), il simbolo + indica livelli piezometrici superiori al pc). Nella valutazione della posizione stratigrafica dei circuiti idrici captati occorre considerare che le Celle tipo Casagrande, in grado di rilevare con maggiore rapidità le variazioni di pressione interstiziale anche nei terreni con permeabilità medio-bassa, sono installate all'interno di una camera in sabbia ricavata nel foro di perforazione della lunghezza complessiva di circa 1 m. La circolazione idrica rilevata è relativa, pertanto, ai depositi dotati di maggiore permeabilità attraversati con il sondaggio in quell'intervallo. Legenda:

CA – piezometro attrezzato con Cella tipo Casagrande;

TA – piezometro completato con tubo aperto fenestrato.

[*] - piezometro a tubo aperto installato nel pozzetto esplorativo P2.

Sigla Piez.	S 1a	S 1b	S 5a	S 5b	S 8a	S 8b	S 8c	S 9	S 13a	S 16a	S 16b	S 18	P2pz *
Tipo	CA	CA	CA	CA	CA	CA	TA	CA	CA	CA	CA	TA	TA
Prof. cella / tratto fenestr. (m da pc)	13,48	7,67	8,21	16,56	3,02	6,06	1,0÷7,0	3,55	4,79	2,00	4,05	2,0÷14,4	1,0÷6,1
Un. idrogeologica captata	8' – AVF'	1 – coltri colluviali	1 – coltri colluviali	8' – AVF'	1 – coltri colluviali	1 – coltri colluviali	1 – coltri colluviali	2 – dep. torrentizi	2 – dep. torrentizi	1 – coltri colluviali	8' – AVF'	2 – dep. torrentizi	2 – dep. torrentizi
Misure													
30/09/2015			2,43	1,89									
07/10/2015			5,18	3,34				3,27					
08/10/2015			3,42	1,63				3,23					
09/10/2015	11,84												
12/10/2015	10,27		2,17	1,26				3,16	1,19				
15/10/2015	10,23							3,06					
16/10/2015			2,07	1,05					0,85			9,26	
19/10/2015	10,89		2,01	1,31				2,93	1,05			2,43	
21/10/2015	10,50		1,92	1,24				2,84	0,86			2,18	
27/10/2015	9,95		1,98	1,44				2,77	1,10	asciutto	+ 0,11	2,09	
29/10/2015	9,80		1,90	1,34				2,93	1,09	asciutto	+ 0,10		
04/11/2015	9,55	7,04	1,89	1,20	2,55	5,24	asciutto	2,84	1,06	asciutto	0,10		
12/11/2015	9,37	7,19	2,02	1,70	2,75	5,19	asciutto	2,71	1,40	1,58	0,38	2,38	
17/11/2015	9,19	7,07	1,80	1,43	2,64	5,00	asciutto	2,56	1,32	0,98	0,23	2,33	
02/12/2015	9,17	7,17	1,95	1,49	2,83	5,00	asciutto	2,63	1,22	0,57	0,51	2,01	
21/12/2015	9,22	7,23	1,89	1,56	2,91	5,00	asciutto	2,65	1,50	0,51	0,53	2,53	
13/01/2016	9,26	7,20	1,87	1,54	2,86	4,98	6,63	2,70	1,55	0,47	0,55	2,57	2,10
20/01/2016	9,35	7,10	1,88	1,25	2,99	4,98	6,56	2,70	1,19	0,46	0,57	2,18	1,15
27/01/2016	9,41	7,12	1,96	1,53	2,99	5,05	6,54	2,71	1,40	0,49	0,60	2,26	1,68
15/02/2016	9,51	7,18	1,85	1,32	3,01	5,02	6,42	2,66	1,46	0,41	0,50	2,41	1,03
02/03/2016	9,63	7,20	1,98	1,35	3,01	5,06	6,38	2,45	1,49	0,07	0,48	2,49	0,93
27/04/2016	9,68	7,01	1,99	1,53	2,80	5,11	5,21	2,53	1,57	0,47	0,39	2,49	1,42
26/05/2016		7,03	2,07	1,57	2,59	5,04	5,30		1,65	0,59	0,47	3,16	1,50
08/06/2015					2,59	5,05							1,60

L'esame delle misure piezometriche estese ad un periodo quasi annuale (Tab. 8.5), svolta in relazione al contesto stratigrafico di localizzazione dei piezometri ed alla collocazione dei loro tratti fenestrati, evidenzia gli aspetti seguenti:

- **Tutti i piezometri**, come peraltro anche gli scavi esplorativi sufficientemente approfonditi al di sotto dei terreni di riporto (pozzetti P1, P2, PM1) hanno riscontrato la saturazione dei terreni per quasi l'intero spessore delle coltri, la presenza permanente dell'acqua e variazioni nel tempo del livello superiore di saturazione. Si può ritenere, quindi, che nella zona di fondovalle attraversata dal tratto di rilevato in esame, dove le coperture nel loro complesso assumono maggiori spessori (sino ad oltre 10 m accertati), sia presente una circolazione sotterranea permanente ospitata all'interno di un acquifero eterogeneo, connessa ad un bacino di alimentazione sufficientemente esteso da assicurare caratteri di permanenza ai deflussi sotterranei. Tale configurazione è supportata, tra l'altro, dal pozzo superficiale ubicato a valle del rilevato (all'altezza della Sez. 570) con livello freatico frequentemente in prossimità del piano campagna, utilizzato da tempo per abbeverare il bestiame.
- I piezometri impostati nei depositi torrentizi terrazzati e/o attuali (unità 2), sia attrezzati con Cella Casagrande (**S 9, S 13a**) che con tubo aperto (**S 18, P2pz**), rilevano la circolazione idrica più significativa, con livelli variabili ma generalmente vicini o quasi in corrispondenza del piano campagna originario (soggiacenze inferiori a – 1,0 m).
- I piezometri con Cella tipo Casagrande installata in corrispondenza dell'orizzonte superficiale profondamente degradato delle Argille varicolori (AVF' – unità idrogeologica 8') individuano in genere una circolazione significativa ospitata nel reticolo di discontinuità delimitanti la struttura a scaglie e rese beanti dal detensionamento a cui è sottoposto l'ammasso. Le potenzialità idriche sono inferiori al gruppo precedente, ma i livelli piezometrici si dispongono a quote sensibilmente superiori al piano di posa e, in alcuni casi, possono risultare superiori anche al piano campagna, evidenziando così condizioni di confinamento o semi-confinamento dei circuiti intercettati. Rappresentativi di queste situazioni sono gli strumenti **S 5b** con cella posta a – 16,56 m dal p.c. e livelli piezometrici per lo più variabili tra – 1,0÷1,7 m dal p.c.; **S 16b** con Cella a – 4,05 e livelli costantemente posti tra – 0,7÷0,0 m dal p.c., o in alcuni casi superiori a questo (+ 0,10 m sul p.c.). Una significativa circolazione all'interno dell'orizzonte degradato delle Argille varicolori è stato riscontrato anche con lo scavo del pozzetto **P1**. Nell'ammasso con struttura scagliettata il ruolo dello stato delle discontinuità nel consentire la circolazione è sottolineato dal piezometro **S1a**, la

cui cella posta a -13,48 m dal p.c., rileva livelli idrici più "depressi", variabili tra - 9,0÷11,0 m dal p.c., corrispondenti a - 2,0÷4,0 m dalla superficie topografica originaria.

- Gli strumenti installati nell'ambito delle coltri detritico-colluviali caratterizzate in genere da granulometrie più fini e quindi da minori valori di permeabilità pur rilevando sempre la presenza di circolazione idrica semi-permanente evidenziano una maggiore variabilità locale in relazione ai rapporti giaciture e geometrici con i corpi a granulometria più grossolana, o con le porzioni di substrato diffusamente fratturate, ospitanti i circuiti idrici con maggiori potenzialità.

S 1b (cella a - 7,67 m) eseguito dalla sommità del tratto di rilevato con altezza 7,0 m individua costantemente livelli piezometrici posti alla sommità dei terreni in posto, costituenti il piano di posa dell'attuale rilevato e corrispondenti in prima approssimazione alla superficie topografica originaria del pendio (a meno dei limitati interventi di risagomatura).

S 5a posto sul lato di monte del rilevato al piede del pendio (cella a - 8,21 m dal p.c.) ha rilevato costantemente (tenendo conto dello strato di riporto su cui poggia) livelli compresi tra - 1,1÷1,4 m dal p.c., evidenziando quindi uno stato di quasi completa saturazione della coltre e l'afflusso costante di apporti idrici dal pendio a monte corrispondente alla zona morfologicamente anomala e con evidenze di lente deformazioni in atto.

La famiglia di piezometri S 8a-b-c installati a varie profondità attorno al sondaggio a carotaggio S 6 (**S 8a** con cella Casagrande a - 3,02; **S 8b** con cella a - 6,06); **S 8c** con tubo aperto fenestrato tra - 1÷7 m dal p.c.), per quanto posti in prossimità del corso d'acqua fiancheggiante il rilevato risultano impostati in una porzione della coltre a bassa permeabilità priva di apporti idrici significativi. Per quanto il rio sia sede quasi permanentemente di deflussi idrici, i livelli rilevati risultano significativamente inferiori anche al fondo dell'incisione, e si dispongono costantemente in prossimità della quota inferiore del tratto filtrante dei piezometri. La situazione riconosciuta a breve distanza tramite i rilievi di superficie e lo scavo del pozzetto **P2** (si cfr. la Tav. Sezioni geologiche – Sez. B) evidenzia il ruolo dei depositi torrentizi terrazzati quale acquifero sede della circolazione idrica di maggiore rilevanza. Il pozzetto P2 scavato tra il piede del rilevato e il corso del rio a breve distanza (circa 8 m) dal gruppo di piezometri S 8a-b-c ha individuato al di sotto dei terreni fini delle coltri detritico-colluviali analoghi a quelli attraversati con la verticale S 6, sedimenti molto grossolani (sabbie con ghiaie,

ciottoli e blocchi ben elaborati) riferibili ai depositi torrentizi terrazzati. A differenza dei contigui terreni detritico-colluviali, l'accumulo è sede costantemente di una diffusa circolazione idrica, i cui livelli misurati con il piezometro a tubo aperto **P2pz** installato dopo il tombamento dello scavo, si dispongono a $-0,9 \div 1,7$ m dal p.c. riferito alla quota di scavo del pozzetto, risultando almeno 2 m superiori alla stessa quota del deflusso in alveo al rio. Questi valori oltre a confermare il ruolo dei depositi torrentizi nell'improntare la circolazione idrica all'interno delle coltri a granulometria più fine e la loro continuità a livello del fondovalle, ben superiore a quanto desumibile dai soli dati di superficie, documentano anche le modalità di scambio idrico con il corso d'acqua superficiale e i depositi di subalveo attuali.

S 16a, attrezzato con cella Casagrande a $-2,0$ m dal p.c., è ubicato sul lato di valle del rilevato, nell'ambito delle coltri detritico-colluviali, a quote superiori di almeno $4 \div 5$ m rispetto all'incisione del vicino corso d'acqua. Nel suo immediato intorno si localizzano il sondaggio a carotaggio S 14, il piezometro di S 16b (con cella più profonda impostata nelle AVG'), il pozzetto esplorativo P1 e un pozzo superficiale di grande diametro preesistente (si cfr. Tav. Sezioni geologiche – Sez. A). S 16a pur intercettando soltanto le acque presenti all'interno della coltre colluviale a granulometria fine, una volta in equilibrio con il regime delle pressioni interstiziali nel terreno circostante, pur evidenziando una certa oscillazione nella soggiacenza ha rilevato sempre livelli compresi tra $-0,6$ m ed il piano campagna ($-0,07$ m). Tale andamento richiede necessariamente apporti idrici permanenti e significativi provenienti da circuiti acquiferi posti al disotto della cella e/o dal tratto di pendio adiacente verso monte. I punti di controllo circostanti permettono di verificare entrambe le condizioni. Il vicino S 16b con cella posta a profondità poco maggiore ($-4,05$ m dal p.c.) risulta impostato nell'orizzonte degradato e diffusamente fratturato del substrato (AVG') ed intercetta una circolazione idrica ospitata nel reticolo di fratture derivanti dal detensionamento della struttura scagliettata della roccia in grado di risalire al di sopra del piano campagna. Durante lo scavo del vicino pozzetto P1 è stata riscontrata una significativa circolazione idrica ospitata sempre nell'orizzonte degradato AVG'. Le indagini eseguite in corrispondenza del rilevato stradale (S 9) e sul lato di monte (S 11, S 13a) hanno individuato un deposito alluvionale grossolano (bn1) con spessore di quasi 5 m ospitante una significativa circolazione idrica il cui livello piezometrico si dispone pressoché in corrispondenza del piano campagna (S 13a, S 9c). Il deposito torrentizio per la sua posizione altimetrica e stratigrafica, se da

un lato ospita la circolazione idrica sotterranea alimentata dai contributi provenienti dal pendio sovrastante e dal tratto di fondovalle risalente in direzione di Villafrati, dall'altro consente il trasferimento di parte dei flussi idrici verso i terreni delle coltri detritico-colluviali poste più a valle e coprenti il resto del fondovalle. A questi flussi permanenti nel tempo è riferibile l'alimentazione dello stesso pozzo di grande diametro presente sul lato di valle del rilevato in vicinanza dell'impluvio, ma a quote più elevate dell'incisione, il cui livello piezometrico si dispone ordinariamente in prossimità del piano campagna.

Il quadro conoscitivo acquisito, sebbene improntato da una rilevante variabilità puntuale della circolazione idrica sotterranea, a sua volta rispecchiante l'eterogeneità compositiva e stratigrafica del sottosuolo documentata con l'approfondita campagna d'indagine recente (CTU, 2015), consente di definire gli aspetti dell'assetto idrogeologico di rilevanza per una completa caratterizzazione dell'area di progetto:

- l'unità idrogeologica 2 (terreni granulari relativi ai depositi torrentizi) ospita una significativa circolazione idrica con carattere di permanenza; i livelli piezometrici si dispongono in prossimità del piano campagna, anche in periodi con scarse precipitazioni;
- l'orizzonte superiore dell'unità 8, relativo alla porzione degradata e detensionata delle Argille varicolori (AVF') è caratterizzata da una significativa permeabilità per fratturazione derivante dall'apertura delle discontinuità delimitanti la peculiare struttura a scaglie del terreno. L'unità, quando in connessione idraulica con i depositi delle coperture ospita una circolazione idrica con potenzialità limitate, ma con significativi carichi piezometrici;
- nell'ambito delle coperture considerate nel loro insieme, l'alternanza di livelli a diversa granulometria e, di conseguenza, con diversa permeabilità per porosità comporta l'impostazione di circuiti idrici semiconfinati. Le misure disponibili hanno rilevato differenze di carichi piezometrici anche nell'ordine del metro tra piezometri con cella Casagrande posti sulla stessa verticale, ma a quote diverse. Con il livello rilevato dalla Cella in posizione inferiore significativamente più alto di quella impostata presso la superficie o nel corpo delle coperture;
- la persistenza della presenza idrica e il mantenimento di livelli piezometrici significativi nei piezometri installati nei depositi granulari dell'unità 2 e nell'orizzonte detensionato dell'unità 8 evidenzia la presenza di una significativa circolazione idrica

resa possibile da una distribuzione dei depositi permeabili (depositi torrentizi) più ampia di quanto rilevabile dai soli elementi di superficie. L'area di alimentazione della falda si estende, verosimilmente, all'intera porzione di fondovalle del bacino torrentizio tributario del Vallone Fratina. L'assetto giaciturale del substrato e la sua permeabilità molto ridotta (unità 5 e 8) favorisce l'innalzamento del livello della falda nei settori inferiori dei pendii, in corrispondenza del fondovalle, con conseguente affioramento della circolazione sotterranea, sia a seguito di periodi con elevati apporti meteorici, sia localmente in condizioni meteo-idrologiche ordinarie, come dimostrato dalla presenza del pozzo superficiale di grande diametro ubicato a valle del tracciato in prossimità della Sez. 570.

Per le zone di tracciato adiacenti a quella oggetto dell'indagine recente si dispone soltanto di sporadici punti di controllo della circolazione idrica sotterranea, relativi a scavi o misure occasionali dei livelli:

- sondaggio SDA (Tab. 8.3) eseguito dal piano stradale posto su rilevato in corrispondenza della Sez. 539 (progr. 10+760): in fase di perforazione il livello della falda ospitata nei terreni delle coltri detritico-colluviali (unità idrogeologica 1) si dispone alla profondità di – 3,80 m dal piano viario, ovvero in prossimità del piano campagna originario;
- pozzetto esplorativo Pz 10 (Tab. 8.3), aperto a partire dal piano campagna all'altezza della Sez. 543 (progr. 10+850), riscontra all'interno dell'unità idrogeologica 1 una venuta permanente di acqua alla profondità di – 1,3 m dal p.c.;
- sondaggio SC2pz attrezzato con piezometro a tubo aperto (Tab. 8.4), perforato in corrispondenza della spalla nord del Viadotto Scorciavacche 2 a partire dal piano campagna originario, attraversa al di sotto delle coltri detritico-colluviali i depositi torrentizi terrazzati con spessore di alcuni metri (unità idrogeologica 2). In fase di perforazione il livello della falda si dispone a – 1,5 m dal p.c., mentre alcune misure successive svolte nel periodo maggio 2010 – febbraio 2011 rilevano soggiacenze variabili tra 2,7 e 3,5 m dal p.c..

Il quadro delineato, seppure basato su misure limitate e non direttamente confrontabili tra loro, evidenzia la presenza di una significativa circolazione idrica pressoché permanente all'interno dei depositi delle coltri detritico-colluviali (unità 1) e dei depositi torrentizi terrazzati (unità 2), con livelli piezometrici che pur variabili possono, a seguito di periodi con elevate precipitazioni, disporsi in prossimità del piano campagna nell'ambito dell'intero tratto di fondovalle percorso dal tracciato della SS 121.

9 MACROSISMICITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA LOCALE

La sismicità del settore in cui si sviluppa il tracciato della SS 121 è caratterizzata da sequenze di eventi di intensità generalmente moderata. I terremoti più significativi della regione (intensità massima $I = XI$ MCS), si localizzano infatti nella Sicilia orientale, dove si annoverano, tra gli altri, gli eventi sismici del 1169 e 1693, che hanno coinvolto con effetti disastrosi rispettivamente l'area iblea e il catanese. Nella Sicilia sud-occidentale, sebbene gli eventi sismici siano caratterizzati da magnitudo minore rispetto al settore orientale, la sequenza sismica del 1968 ($I = IX-X$ MCS) ha comportato danni notevoli nella Valle di Belice.

9.1 Assetto sismotettonico

La sismicità locale è sostanzialmente dovuta all'assetto strutturale del settore centro-occidentale della catena Siciliana, risultato di una complessa evoluzione geodinamica legata alla convergenza tra la placca africana e quella euroasiatica. Dal Tortoniano superiore in poi la tettonica trastensiva legata all'apertura del Tirreno ed alla formazione del Rift di Pantelleria ha interagito con quella compressiva relativa alla messa in posto della Catena Maghrebide siciliana (Ben Avraham et al., 1990); quest'ultima, nel Canale di Sicilia, è rappresentata da due distinti segmenti (Fig.9.1): a) un segmento occidentale (Sistema a Thrust Esterno), di età messiniano-tortoniana, SE vergente, rappresentato dal Banco Avventura ed originatosi sul margine dell'avampaese; b) un segmento orientale, di età plio-quadernaria, SO vergente, corrispondente alla Falda di Gela che rappresenta il fronte più avanzato della Catena Maghrebide s.s. Profili sismici offshore evidenziano, tra il Banco Avventura e la Falda di Gela, un'area di trascorrenza ad andamento circa N-S caratterizzata dall'alternarsi di regimi trastensivi e traspressivi (Argnani et al., 1987). L'area del Belice è localizzata nel settore della catena a thrust siciliana nota come Catena Sicana. In quest'area l'attività tettonica compressiva ha interagito con quella trascorrente legata al proseguimento in terra della linea di trascorrenza N-S. I movimenti più recenti di questo settore sono ascrivibili al Pleistocene sup.-Olocene e sono essenzialmente a carattere distensivo e trascorrente (Ambrosetti et al., 1985).

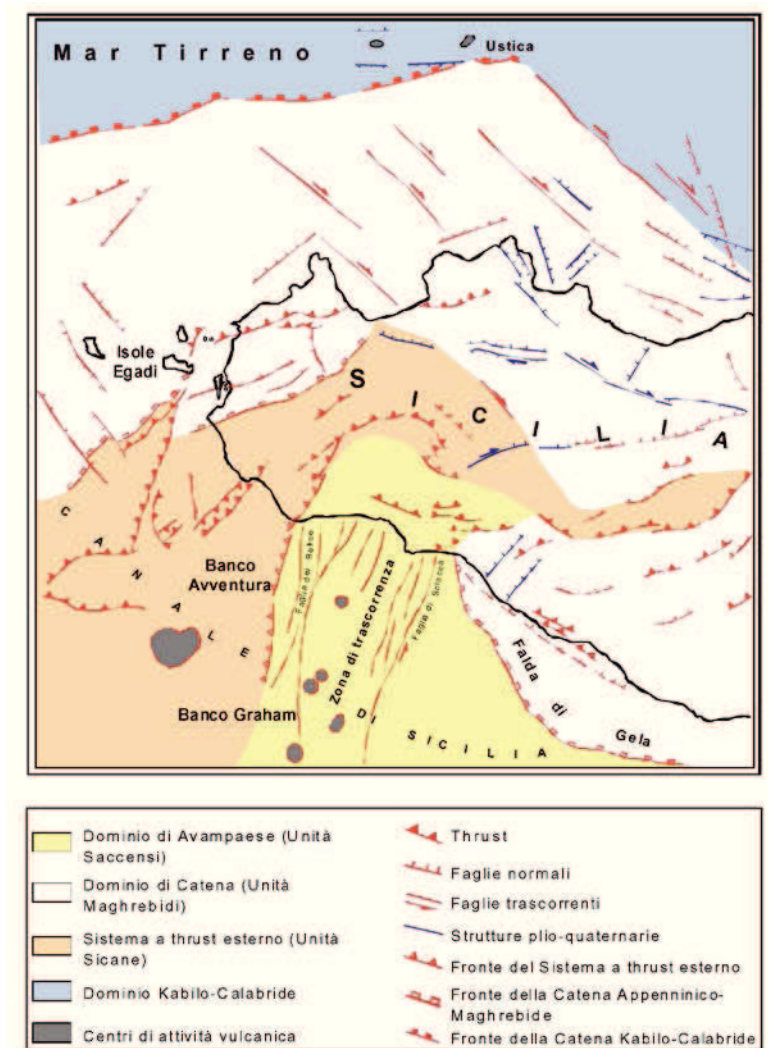


Fig. 9.1 - Schema strutturale della Sicilia occidentale (modificati da Ambrosetti et al., 1985; Antonelli et al., 1988; Argnani, 1990; Bigi et al., 1991; Catalano et al., 1994; Lentini et al., 1996).

9.2 Caratteristiche della sismicità

La sismicità storica dell'area attraversata dall'importante arteria di collegamento stradale è stata ricavata dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, redatto grazie all'INGV dal Gruppo di lavoro CPTI nel 2004 (CPTI04), che elenca tutti i terremoti avvenuti dal 217 a.c. al 2002.

In Tab. 9.1 si riportano i terremoti più prossimi all'area di studio, aventi epicentro posto a distanza comprese tra 60-100 km dalla medesima ed indicati nella mappa in Fig. 9.2.

Tab 9.1. Storia sismica dell'area derivata dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani (CPTI04) (INGV, 2004).

Anno	AE	RT	IMX	IO	LAT	LONG	MAW	MAS	MSP	ZS9
1726	Palermo	CFTI	85	80	38.120	13.350	0,25	0,24	0,25	933
1823	Sicilia Settentrionale	CFTI	107	85	38.000	14.100	0,27	0,27	0,27	933
1843	MISILMERI	DOM	55	55	38.034	13.451	0,21	0,17	0,18	933
1907	TERMINI IMERESE	DOM	60	55	38.020	13.552	0,21	0,17	0,18	933
1909	CORLEONE	POS85		60	37.817	13.300	0,22	0,19	0,20	934
1940	Golfo di Palermo	CFTI	80	75	38.080	13.430	0,23	0,21	0,22	933
1968	Valle del Belice	CFTI	100	100	37.770	12.980	0,26	0,26	0,26	934
1968	GIBELLINA	POS85		55	37.800	13.000	0,21	0,17	0,18	934
1981	MAZARA DEL VALLO	DOM	60	60	37.689	12.620	0,21	0,19	0,21	
2002	PALERMO	INGVAM	60	60	38.081	13.422	0,27	0,24	0,25	933

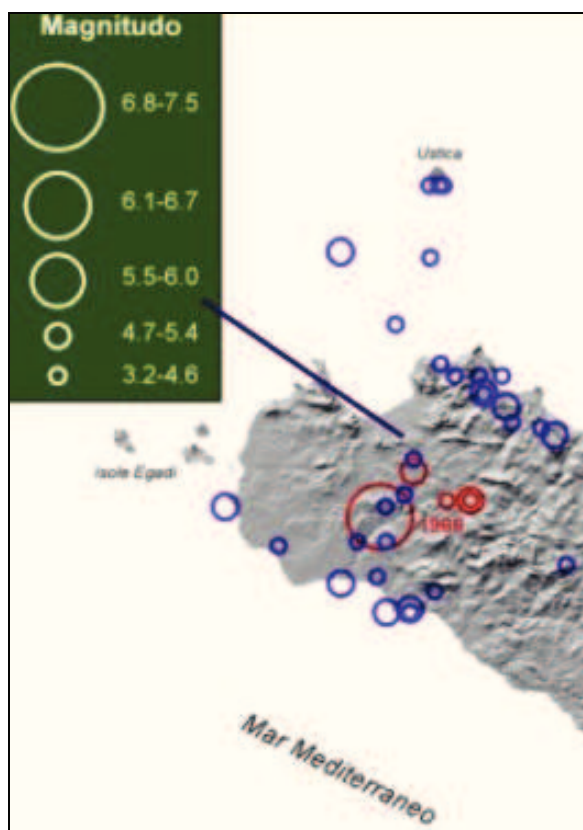


Fig. 9.2. Mappa della sismicità storica della Sicilia occidentale.

Da tali dati si deduce che la sismicità del territorio è in generale di entità media, con pochi eventi che hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo (Magnitudo superiore a 5,2).

9.3 Classificazione sismica

La classificazione sismica dei territori interessati dall'infrastruttura in progetto è stata condotta con riferimento alla D.G.R. n° 408 del 19 Dicembre 2003 "Individuazione, formazione ed aggiornamento delle zone sismiche ed adempimenti connessi al recepimento dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 Marzo 2003, n. 3274", con la quale la Regione Siciliana prevede l'istituzione di quattro zone di pericolosità sismica (Fig. 9.3). Alcuni comuni sono stati declassati perché ritenuti meno "pericolosi", mentre per l'intero settore orientale dell'isola (limitatamente alle "strutture strategiche" come ospedali, scuole, etc.) sono state adottate le misure e le limitazioni previste per la Zona 1 (Zona 2*).

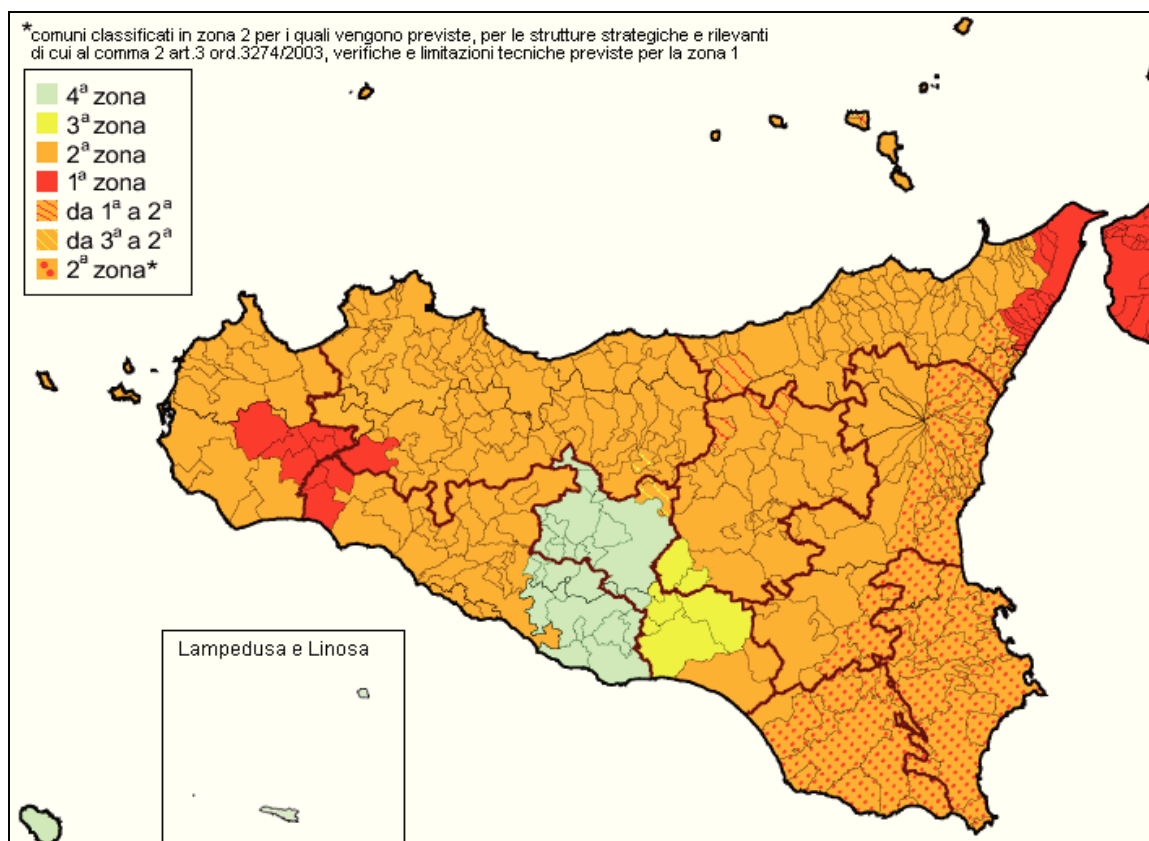


Fig. 9.3. Mappa della classificazione delle zone sismiche nel territorio siciliano (DGR n° 408/03).

In particolare il territorio comunale di Mezzojuso, nel quale ricade l'area di progetto, appartiene alla zona 2, ai sensi dell'attuale normativa, che prevede valori di accelerazione

orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g) pari a $0,15 \div 0,25$ e di accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g) pari a $0,25$.

Nel Rapporto Conclusivo relativo alla Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è contenuta la nuova zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale, denominata ZS9.

Detta zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche.

Per il reperimento dei dati relativi alla sismicità osservata è stato considerato il catalogo storico contenente 2.488 eventi degli ultimi 1.000 anni con intensità epicentrali maggiore o uguale al V – VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4. L'elaborazione ha portato alla realizzazione della zonizzazione riportata in Fig. 9.4.

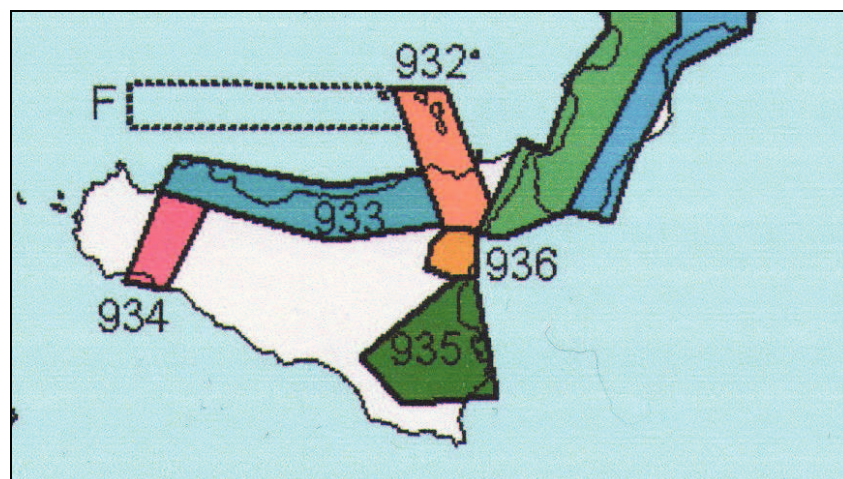


Fig. 9.4. Zonizzazione sismogenetica ZS9 per la Sicilia

In base a tali studi, l'area di interesse è compresa nelle zone sismogenetiche 933 e 934. La zona 933 è considerata come zona di "svincolo", nota in letteratura come linea Monte Kumeta – Alcantara (Ghisetti e Vezzani, 1984), che caratterizza l'area compresa tra l'Etna e i Monti di Palermo. Tale zona è comunemente ritenuta avere carattere prevalentemente trascorrente. In questa zona i principali eventi sismici sembrano essere localizzati sulla costa

e pertanto la sismicità andrebbe attribuita alla ZS F, molto superiore a quella della costa siciliana settentrionale e del suo immediato offshore. Le caratteristiche sismogenetiche della zona 934, sono invece riconducibili all'unica sequenza sismica del gennaio 1968 nell'area del Belice.

I terremoti storici hanno raggiunto valori elevati di Magnitudo, la massima magnitudo rilevata è $M_d = 5,9$. Le zone ipocentrali si hanno generalmente a profondità comprese tra 8 e 12 Km.

Come indicato nella colonna 10 della tabella 6 del Rapporto Conclusivo sopraccitato, nelle Zona Sismogenetica 933 e 934, sulla base dei meccanismi focali, sono previsti valori "cautelativi" di massima magnitudo (M_{wmax2}) pari a $6,14$.

In Fig. 9.5 è riportato, infine, uno stralcio della "Mappa delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", redatta utilizzando il catalogo DOM 4.1, che raccoglie le osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno e che contiene circa 37.000 osservazioni relative a più di 900 terremoti e a più di 10.000 località, in combinazione con i dati di CFTI (Catalogo dei Forti Terremoti Italiani di ING/SGA – Boschi et al., 1995). Dall'osservazione di tale mappa, si evince che l'area indagata è caratterizzata da un'intensità macrosismica I compresa tra $7 \div 8$ MCS.

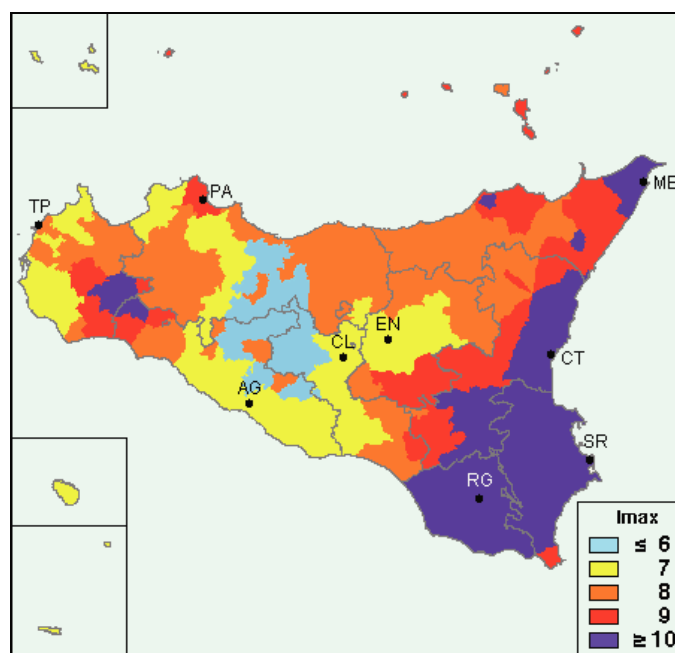


Fig. 9.5. Mappa delle Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni del territorio siciliano (Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, Marzo 1996).

Classificazione sismica locale

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" la stima della pericolosità viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Secondo il D.M. 14 gennaio 2008 "**Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni**", *la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g* , in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

Ai fini della suddetta normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F e TC necessari per la determinazione delle azioni sismiche di riferimento. Nella Relazione di Progetto saranno indicati periodo di riferimento, coordinate del sito, vita nominale, tipo di costruzione TR, PVr etc. nonché sarà definita l'azione sismica del sito.

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 10.2).

Tabella 10.2 - Categorie di sottosuolo

Categorie di Suolo di Fondazione	$V_s 30$ m/s	$N_{spt} - C_u$
A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_s30 superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	$V_s30 > 800$	
B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine)	$360 < V_s30 < 800$	$N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa
C Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 < V_s30 < 360$	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa
D Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s30 inferiori a 180 m/sec (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	$V_s30 < 180$	$N_{spt} < 15$ $C_u < 70$ kPa
E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento con $V_s > 800$ m/sec.	$V_s30 < 360$	
S1 Depositati costituiti da V_s30 inferiori a 100m/s (ovvero $10 < c_u < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	$V_s30 < 100$	$10 < C_u < 20$ kPa
S2 Depositati di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.		

In funzione della categoria di sottosuolo del sito in esame è possibile poi determinare attraverso la Tab. 10.3 le espressioni per il calcolo di S_s e di C_c .

Tabella. 10.3 - Espressioni per il calcolo dei parametri S_s e C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_C)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_C)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_C)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*_C)^{-0,40}$

La campagna geognostica ha compreso anche l'esecuzione di indagini sismiche in foro del tipo Down-hole nel sondaggio Sc1DH, nonché l'esecuzione di stendimenti di sismica a rifrazione con misura di V_p e V_s (L1 e L2) e uno stendimento MASW (3A) dalle quali è derivato il valore del parametro V_{s30} , calcolato secondo la relazione:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1, N} (h_i/V_i)$$

dove h_i è lo spessore dello strato i -esimo e V_i è la velocità in m/s dello strato i -esimo.

La prova Down-hole e la MASW eseguite nell'ambito della campagna geognostica del Progetto Definitivo hanno fornito i seguenti risultati:

- SC1DH $V_{s30} = 247$ m/s;
- MASW 3A $V_{s30} = 345$ m/s.

I profili di V_s ottenuti sono riportati nelle Figg. 10.6, 10.7 e 10.8.

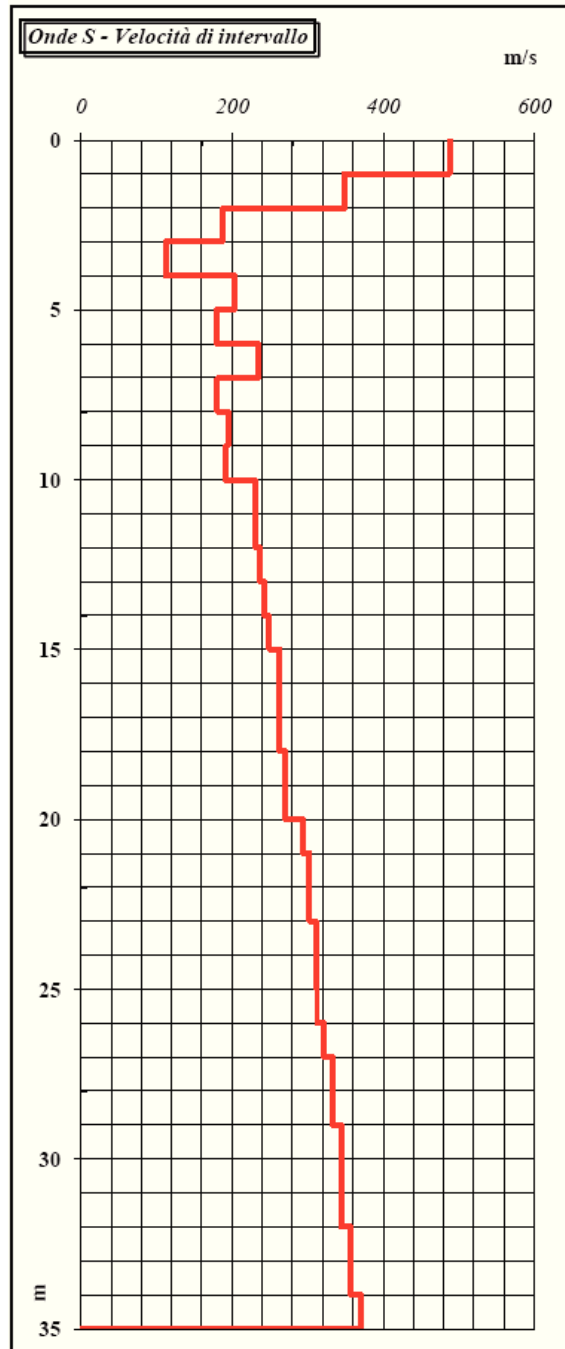


Fig. 10.6. Profilo Vs SC1 DH

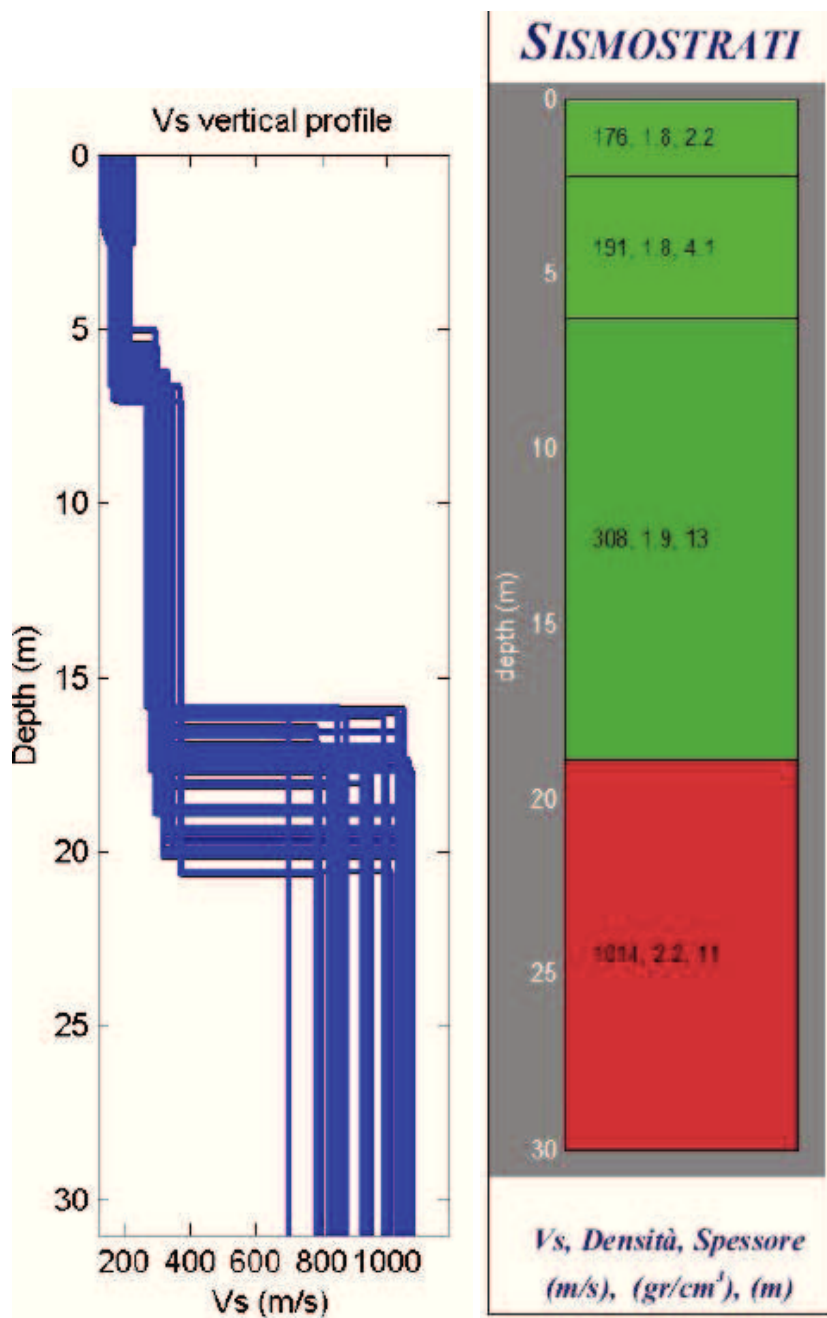


Fig. 10.8. Profilo verticale di Vs e sismostrato ottenuto con il rilievo MASW 3A

I profili di velocità delle onde trasversali acquisiti nell'intorno significativo per l'area di intervento attraverso i rilievi in foro Down-hole e di superficie con il metodo MASW forniscono tutti valori di Vs₃₀ riferiti al piano campagna, compresi tra 180 ÷ 360 m/s, che portano ad attribuire i terreni indagati alla Categoria sismica di suolo C.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 10.4):

Tabella 10.4 - Categorie topografiche

Categoria	Descrizione
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15 \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 10.5, in funzione delle categorie topografiche definite nella tabella precedente e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 10.5 - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	pianeggiante o poco inclinato	1,00
T2	pendii con inclinazione $i > 15^\circ$	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media tra 15° e 30°	1,20
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione superiore a 30°	1,40

Nel caso in esame, in relazione all'orografia e morfologia del sito si ricade in categoria T1 cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$.

10 BIBLIOGRAFIA

- ABATE B., CATALANO R., RENDA P. (1979) – *Schema geologico dei Monti di Palermo*. Boll. Soc. Geol. It., **97**, pp. 807-819
- ABATE B., PESCATORE T., RENDA P., TRAMUTOLI M. (1988) – *Schema geologico dei Monti di Termini Imerese e delle Madonie Occidentali*. 74° congresso Soc. Geol. It. Atti del congresso, Vol. **B**, pp. 1-4.
- ABATE B., RENDA P., TRAMUTOLI M. (1988) – *Note illustrative della carta geologica dei Monti di Termini Imerese e delle Madonie Occidentali*. Mem. Soc. Geol. It., Vol. **41** (1).
- AGATE M., BASILONE L., SULLI A. (1998) – *Struttura ed imbricazione interna delle unità Sicane nell'area tra Monte Barracù e la Valle del Sosio (Sicilia centro occidentale)*. Atti 79° congresso Soc. Geol. It., Vol. **A**, pp. 25-27.
- AGNESI V., DE CRISTOFARO D., DI MAGGIO C., MACALUSO T., MADONIA G., MESSANA V. (1998) – *Assetto morfotettonico delle Madonie (Sicilia centro settentrionale)*. Atti 79° congresso Soc. Geol. It., Vol. **A**, pp. 35-37.
- AMBROSETTI P., BOSI C., CARRARO F., CIARANFI N., PANIZZA M., PAPANI G., VEZZANI L. E ZANFERRARI A. (1985) – *Neotectonic map of Italy*. Scala 1:500.000. CNR-PFG.
- ANTONELLI M., FRANCIOSI R., PEZZI G., QUERCI A., RONCO G. P. E VEZZANI F. (1988) – *Paleogeographic evolution and structural setting of the northern side of the Sicily Channel*. Mem. Soc. Geol. It., pp. 141-157.
- ARGNANI A., CORVINI S., TORELLI L. E ZITELLINI N. (1987) – *Diachronous foredeep-system in the Neogene-Quaternary of the Strait of Sicily*. Mem. Soc. Geol. It., **38**, pp. 407-417.
- AVELLONE G. (2001) - *Le unità tettoniche dei Monti di Palermo: studi stratigrafici e mesostrutturali*. Tesi di dottorato di ricerca in geologia del sedimentario. Dipartimento di geologia e geodesia dell'Università degli studi di Palermo
- BASILONE L. (1998) – *Cicli di facies trasgressive – regressive nella successione mesozoica imerese dei Monti di Termini Imerese*. Atti 79° congresso Soc. Geol. It., Vol. **A**, pp. 137-140.
- BEN AVRAHAM Z.B., BOCCALETTI M., CELLO G., GRASSO M., LENTINI F., TORELLI L. E TORTORICI L. (1990) – *Principali domini strutturali originatisi dalla collisione*

- Neogenico-Quaternaria nel Mediterraneo centrale*. Mem. Soc. Geol. It., **45**, pp. 453-462.
- BIGI G., COSENTINO D., PAROTTO M., SARTORI R. E SCANDONE P. (1991) – *Structural model of Italy*. Scala 1:500.000. CNR-PFG.
- BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G. E VALENSISE G. (1995) – *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. ING-SGA, Ozzano Emilia, 973 pp.
- BROQUET. P., CAIRE A., MASCLE G. (1966) – *Structure et évolution de la Sicile occidentale (Madonie et Sicani)*. Bull. Soc. Geol. de France **5.7, 8**, pp. 994- 1013.
- BROQUET P. (1968) – *Etude géologique de la Région des Madonies (Sicile)*. Thèse Faculté Sciences de Lille.
- CAFLYSCH L., SCHMIDT DI FRIEDBERG P. (1967) – *Un contributo delle ricerche petrolifere alla conoscenza del Paleozoico in Sicilia*. Boll. Soc. Geol. It., **86**, pp. 537-551.
- CAMASSI R. E STUCCHI M. (1996) – *NT4.1 un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. GNDT-CNR, rapporto interno, Milano, pp. 93. www.emidius.itim.mi.cnr.it/NT/home.html.
- CAMASSI R., GASPERINI P., MIRTO C., STUCCHI M. (2004) – *CPTI04 Catalogo parametrico dei terremoti italiani - Versione 2004*. INGV, Bologna. www.emidius.mi.ingv.it/CPTI/home.html
- CATALANO R., D'ARGENIO B., MONTANARI L., RENDA P., ABATE B., MONTELEONE S., MACALUSO T., PIPITONE G., DI STEFANO E., LO CICERO G., DI STEFANO P., AGNESI V. (1978) – *Contributi alla conoscenza della struttura della Sicilia occidentale. 1) Il profilo Palermo-Sciaccia*. Mem. Soc. Geol. It., **19**, pp. 485-493.
- CATALANO R., D'ARGENIO B. (1979) – *Guida alla geologia della Sicilia occidentale*. 1° centenario della Società Geologica Italiana
- CATALANO R., MONTANARI L. (1979) – *Geologia dei Monti di Trabia – Termini Imerese e dei Monti Sicani orientali (Fogli Bagheria e Termini Imerese. Sicilia centro-settentrionale)*. Rend. Soc. Naz. Scienze, Lettere, Arti in Napoli – Serie IV – **46**
- CATALANO R., D'ARGENIO B. (1982) – *Schema geologico della Sicilia – in Guida alla geologia della Sicilia occidentale, Guide Geologiche regionali*. Mem. Soc. Geol. It., Suppl. A, **24** Palermo, pp. 9-41.

- CATALANO R., DI STEFANO P., NIGRO F. E VITALE F. P. (1994) – *The Sicily mainland thrust belt. Evolution during the Neogene*. Boll. Geof. Teor. Appl., **XXXVI**, pp. 141-144.
- CATALANO R., DI STEFANO P., SULLI A., VITALE F.P. (1995) – *Evoluzione paleogeografica e strutturale della Sicilia e dei mari adiacenti*. Naturalista sicil., S. IV, Vol. **XIX (3-4)**, pp. 143-187.
- CATALANO R., FRANCHINO A., MERLINI S., SULLI A. (1998) - *Geologia della Sicilia Occidentale*. In S.G.I.-79° Congresso Nazionale "La Sicilia, un laboratorio naturale nel Mediterraneo. Strutture, mari, risorse e rischi. Guida alle Escursioni. pp. 143-155.
- GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1984) – *Thin-skinned deformations of the western Sicily thrust belt and relationships with crustal shortening: mesostructural data on the Mt. Kumeta-Alcantara fault zone and related structures*. Boll. Soc. Geol. Ital., **103**, pp. 129-157.
- GRUPPO DI LAVORO (2004) – *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile*. INGV, Milano-Roma, aprile 2004, pp. 65, app. 5.
- LENTINI F., CARBONE S., CATALANO S. E GRASSO M. (1996) – *Elementi per la ricostruzione del quadro strutturale della Sicilia orientale*. Mem. Soc. Geol. It., **51**, pp. 179-195.
- MOLIN D., STUCCHI M., G. VALENSISE (1996) – *Mappa delle Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni del territorio siciliano*. Dip. Protezione Civile. http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/max_int_oss.html
- NIGRO F. & RENDA P (1999) – *Evoluzione geologica ed assetto strutturale della Sicilia centro-settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It., **118**, fasc. 2, pp. 375-388
- PESCATORE T., RENDA P., TRAMUTOLI M. (1987) – *Facies ed evoluzione sedimentaria del Bacino Numidico nelle Madonie occidentali (Sicilia)*. Mem. Soc. Geol. It., **38**, pp. 297-315.
- RENDA P., TAVERNELLI e., TRAMUTOLI M. (1998) – *La distensione Tetidea ed il suo controllo sulle strutture compressive del sistema Appenninico – Maghrebide: l'esempio dei Monti delle Madonie (Sicilia centromeridionale)*. Atti 79° congresso Soc. Geol. It., Vol. **B**, pp. 689-691.
- REGIONE SICILIANA – UFFICIO DEL COMMISSARIO DELEGATO PER L'EMERGENZA RIFIUTI E LA TUTELA DELLE ACQUE (2005) – *Caratterizzazione dei Bacini Idrogeologici: Monti di Trabia-Termini Imerese, Rocca Busambra*. Piano di Tutela delle Acque. http://www.regione.sicilia.it/presidenza/ucomrifiuti/acque/pagina_1.htm

RIGANO R., ANTICHI B., ARENA L., AZZARO R., BARBANO, M.S. (1999) – *Sismicità e zonazione sismogenetica in Sicilia occidentale*. Atti 17° Conv. Naz. GNGTS, in stampa.

RUGGERI G., DI VITA G. (1972) – *L'età della Formazione Lercara*. Boll. Soc. Geol. It., **91**, pp. 631-637.

SCHIMDT DI FRIEDBERG P., BARBIERI F., GIANNINI C., 1960 – *La geologia del gruppo montuoso delle Madonie (Sicilia centro settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., **81**, pp. 73-140.