

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI PROGETTI PALERMO

SOGGETTO TECNICO:



DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO  
S. O. INGEGNERIA DI PALERMO

PROGETTAZIONE:

SINTAGMA S.r.l. - ITALIANA SISTEMI S.r.l.

TIMBRO E FIRMA DEL PROGETTISTA



PROGETTO DEFINITIVO

TIMBRO E FIRMA DEL GEOLOGO



CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016

Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento  
per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo

GEOLOGIA, GEOTECNICA E IDROGEOLOGIA  
GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA  
Relazione geologica ed idrogeologica

SCALA -

Foglio - di -

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
3 0 4 8 1 7	S 0 1	P D	T G - -	0 2	0 0 0	E 0 0 0 1

Rev.	Descrizione	Progettista			RFI			
		Redatto	Verificato	Approvato	Verificato Team Ver.	Verificato C.	Approvato	Autorizzato
A	Emissione	OTT. 18	OTT. 18	OTT. 18				
		A. Lisetti	Geol. Cerquiglino	Ing. Granieri	D.T.	D.T.	Ing. Martinelli	Ing. Palazzo

LINEA	SEDE TECN.	NOME DOC.	NUMERAZ.
Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

## Sommario

1	Introduzione.....	2
1.1	Caratteristiche della tratta .....	3
2	Caratteristiche geologiche e strutturali .....	7
2.1	Contesto Geologico Regionale .....	7
2.2	Contesto Geologico Locale .....	9
2.3	Modello geologico dell'area di interesse .....	14
2.4	Aspetti Tettonici-Strutturali .....	18
3	Idrogeologia .....	21
3.1	Inquadramento Regionale.....	21
3.2	Inquadramento Locale .....	22
3.3	Permeabilità dei Terreni.....	24
4	Inquadramento sismico dell'area e pericolosità sismica di base.....	27
5	Indagini geognostiche e geofisiche progetto preliminare .....	35
6	Indagini geognostiche e geofisiche - Progetto definitivo .....	35
6.1	Indagini per la stabilizzazione a calce.....	37
7	Categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018.....	38
8	Caratterizzazione Geotecnica .....	40
9	Valutazione Della Suscettibilità A Liquefazione Dei Terreni.....	42

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

## 1 Introduzione

La presente **Relazione Geologica e idrogeologica** è redatta a supporto della progettazione definitiva relativa agli interventi di riapertura della tratta ferroviaria Alcamo Diramazione - Trapani via Milo, finalizzati al ripristino della funzionalità della linea risolvendo i numerosi dissesti di carattere geologico-geotecnico presenti.

La progettazione definitiva ha, come dato di base, il progetto preliminare redatto da RFI nel 2016. A questo progetto si sono poi aggiunte una serie di richieste maturate dalla Committenza durante la fase di studio che hanno, in qualche modo, modificato l'impostazione progettuale. La modifica più saliente è stata indubbiamente la volontà da parte di RFI di adeguare la piattaforma ferroviaria al manuale di progettazione RFI ed.2016 lungo tutta la linea (ad esclusione delle tratte su opera d'arte esistente). La conseguenza è stata quella di prevedere interventi diffusi di risanamento e risagomatura di rilevati e trincee lungo tutti i 47 km di linea. L'intervento, rimanendo all'interno della previsione di spesa del progetto preliminare, è stato possibile grazie ad una maggiore consapevolezza delle motivazioni del degrado e, soprattutto, alla scelta di ridurre l'incidenza delle nuove opere di contenimento in c.a. previste nel preliminare, optando per l'acquisizione di nuove aree, ove necessario ed ove possibile nel rispetto delle preesistenze circostanti.

Scopo degli studi di seguito riportati è quello di valutare gli aspetti geologici, idrogeologici e geotecnici attinenti alle problematiche emerse al fine di stabilire la tipologia degli interventi idonei alla sistemazione e ripristino del tracciato ferroviario della linea Palermo – Trapani via Milo.

L'intera tratta d'intervento è stata oggetto di un rilievo di dettaglio relativo alle condizioni di instabilità dei rilevati ferroviari e dei fenomeni di dissesto idrogeologico potenziali e/o in atto presenti in un intorno significativo in riferimento al tracciato ferroviario, allo scopo di risalire alle cause determinanti il movimento e valutare la tipologia degli interventi da realizzare.

L'analisi della situazione geologico e geotecnica dei terreni presenti lungo l'infrastruttura ferroviaria è stata realizzata mediante l'analisi dei risultati provenienti dalle campagne geognostiche effettuate ( Indagine 2016 – Indagine 2017), delle indagini geofisiche comprendente tomografie sismiche e Masw, prove di laboratorio.

Nella presente relazione vengono riportati le considerazioni dell'analisi dei dati di profondità, degli aspetti geologici emergenti e delle evidenze geomorfologiche rilevate, delle prove in sito ed in laboratorio effettuate, utilizzati nella fase di elaborazione del modello geologico e geotecnico lungo l'intera infrastruttura ferroviaria in accordo con le Norme Tecniche per le Costruzioni.

La principale normativa di riferimento è riportata di seguito:

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008 ("Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" pubblicate in Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30).
- Circ. n.617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni".
- Circ. Min. LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Eurocodice 8 (1998);
- D.Lgs. n.163/2006 "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE";

Le caratteristiche dei terreni sono state desunte dai dati raccolti con le varie campagne realizzate sia per il progetto preliminare che per il progetto definitivo, tali studi sono stati effettuati in una fascia di terreni

dell'ampiezza di almeno 1 Km a cavallo del tracciato ferroviario utilizzando una base topografica in scala 1:10.000.

I rilievi di superficie hanno consentito di acquisire dati relativi alle caratteristiche litologiche delle formazioni presenti, ai fenomeni geomorfologici e dati relativi alle condizioni idrogeologiche locali.

È stata effettuata una ricerca bibliografica che ha permesso di inquadrare le problematiche geologiche a livello Regionale e locale lungo la linea in progetto e di avvalersi delle conoscenze già acquisite sulla serie stratigrafica locale e sulle caratteristiche geologiche delle diverse formazioni affioranti.

L'analisi dei dati precedentemente elencati, unito allo studio delle foto aeree, ha permesso la redazione della relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica, seguita da un'analisi delle caratteristiche litotecniche dei terreni presenti nella zona di studio.

La relazione descrive quanto è riportato nella cartografia tematica allegata al progetto dove per un corridoio significativo, è riportata la distribuzione e la distribuzione delle formazioni geologiche presenti lungo il tracciato ferroviario.

Alla relazione sono allegati i seguenti elaborati:

- Carta Geologica in scala 1:10.000 (7 tavole)
- Carta Geomorfologica in scala 1:10.000 (7 tavole)
- Carta Idrogeologica in scala 1:10.000 (7 tavole)

## 1.1 Caratteristiche della tratta

La linea a semplice binario non elettrificato Piraineto-Trapani via Milo è lunga circa 100 km; la tratta in esame Alcamo D.ne-Trapani è lunga circa 47 km e si sviluppa tra le progressive km 73+230 (Stazione di Alcamo D.ne) e km 120+350 (Stazione di Trapani). Nella tratta in esame sono presenti le stazioni di Calatafimi (81+361), Bruca (90+688), Fulgatore (102+278) e Milo (114+152) e la fermata di Segesta (87+632), nonché le località di Ummari e Dattilo, ex fermate, che oggi costituiscono piena linea.



Figura 1 – Localizzazione dei siti oggetto di intervento, anche in riferimento al contesto regionale



*Percorso ferroviario linea Palermo – Trapani, con indicate progressive, quote, stazioni ferroviarie*

La linea si sviluppa principalmente in rilevato, con altezze che raggiungono la quota +10 metri da piano campagna naturale; si susseguono tratti in trincea con altezze di scavo variabili e spesso delimitate da opere di sostegno.

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	<b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b>  Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
	304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001

Lungo la linea sono presenti le seguenti opere d'arte:

- n. 11 gallerie

GALLERIE			
<i>nome</i>	<i>inizio</i>	<i>fine</i>	<i>L (m)</i>
6	75+357,51	75+600,40	242,89
7	75+971,48	76+190,11	218,63
7bis	80+360,05	80+411,36	51,31
M.Barbaro	82+525,59	84+150,04	1624,45
9	84+942,51	85+039,71	97,20
10	85+482,13	85+624,45	142,32
11	86+471,06	86+639,88	168,82
11bis	86+957,40	87+033,50	76,10
12	91+355,11	91+836,86	481,75
13	95+739,79	96+045,87	306,08
Canalotto	103+579,92	104+271,30	691,38

- n.13 viadotti ad arco in muratura e calcestruzzo armato.

<b>num.</b>	<b>PROGR</b>	<b>OPERA</b>
1	74+659,28	Viadotto a 4 luci di m. 15,00
2	76+418,59	Viadotto a 7 luci di m. 15,00
3	78+528,43	Viadotto a 16 luci di m. 15,00
4	80+570,96	Viadotto a 4 luci di m. 10,00
5	82+309,81	Viadotto a 11 luci
6	84+306,13	Viadotto a 6 luci di m. 15,00
7	84+776,61	Viadotto a 5 luci
8	85+187,63	Viadotto a 5 luci di m. 15,00
9	85+785,43	Viadotto a 5 luci
10	87+167,90	Viadotto a 2 luci
11	97+249,44	Viadotto a 4 luci di m. 15,00
12	97+485,96	Viadotto a 4 luci di m. 15,00
13	99+175,20	Viadotto a 12 luci

- n.1 viadotto in c.a. a travi prefabbricate.

<b>num.</b>	<b>PROGR</b>	<b>OPERA</b>
1	115+660,16	Viadotto in CAP a 5 luci

- n.49 opere principali sottobinario (singola campata con luce >3 metri).

num.	PROGR	OPERA
1	75+098,13	Ponte di m. 3,00
2	75+792,20	Ponte di m. 3,00
3	76+308,15	Sottopasso di m. 8,00
4	77+042,54	Sottopasso di m. 6,00
5	77+927,20	Sottopasso di m. 6,00
6	78+888,83	Ponte di m. 8,00
7	79+438,30	Ponte-Sottopasso di m. 3,00
8	9+537,57	Ponte di m. 3,00
9	79+933,73	Tombino obliquo di m. 3,00
10	84+414,61	Ponte di m. 3,00
11	85+348,00	Sottopasso di m. 8,00
12	86+035,23	Ponte obliquo di m. 3,00
13	88+523,15	Ponte sottopasso di m. 6,00
14	89+223,09	Sottopasso di m. 10,00
15	89+820,71	Acquedotto sottopasso di m. 6,00
16	90+334,69	Sottopasso di m. 3,00
17	92+409,28	Acquedotto sottopasso obliquo di m. 3,00
18	92+757,68	Acquedotto sottopasso di m. 3,00
19	94+490,17	Acquedotto di m. 3,00
20	94+730,38	Ponte di m. 10,00
21	95+035,38	Acquedotto sottopasso di m. 3,00
22	96+257,03	Acquedotto sottopasso di m. 3,00
23	96+939,08	Acquedotto sottopasso di m. 3,00
24	98+570,68	Acquedotto di m. 3,00
25	100+082,61	Acquedotto di m. 3,00
26	100+385,47	Acquedotto sottopasso di m. 5,00
27	100+863,40	Acquedotto sottopasso di m. 3,00
28	101+835,34	Sottovia di m. 6,00
29	102+442,46	Sottopasso di m. 3,00
30	102+585,41	Sottopasso a travi incorporate di m. 8,00
31	102+664,05	Ponte di m. 6,00
32	102+739,72	Sottopasso di m. 4,00
33	103+377,38	Sottovia di m. 3,00
34	104+486,92	Acquedotto sottopasso di m. 3,00
35	104+684,86	Acquedotto sottopasso di m. 6,00
36	105+148,16	Acquedotto sottopasso di m. 4,00
37	105+318,58	Ponte sottopasso di m. 4,00
38	106+137,26	Ponte sottopasso di m. 4,00
39	107+914,12	Acquedotto sottopasso di m. 4,00
40	108+197,27	Acquedotto sottopasso di m. 3,00
41	108+776,14	Acquedotto di m. 3,00 a travi gemelle
42	109+354,00	Ponte di m. 4,00
43	109+658,66	Ponte sottopasso di m. 4,00
44	110+107,55	Ponte sottopasso di m. 4,00
45	110+613,00	Ponte sottopasso di m. 4,00
46	111+032,15	Ponte sottopasso di m. 4,00
47	111+926,37	Sottopasso di m. 3,00
48	112+226,42	Sottopassaggio di m.3,00
49	114+472,24	Acquedotto sottopasso di m. 3,00

- n. 96 tombini, ponticelli e cavalcavia

## 2 Caratteristiche geologiche e strutturali

### 2.1 Contesto Geologico Regionale

La Sicilia ricade nel mediterraneo centro-occidentale e costituisce una porzione di megastruttura che si sviluppa lungo il limite tra la placca africana e quella europea. In quest'area, un segmento di catena collega le magrebididi africane con la Calabria e gli Appennini e si estende dalla Sardegna attraverso la Sicilia, fino alla piattaforma pelagica. Dopo la fase olocenica alpina paleogenica, i movimenti compressivi più importanti di questo settore del mediterraneo sono dovuti alla rotazione antioraria oligo-miocenica del blocco sardo-corso, considerato da alcuni autori come un arco magmatico. Tre principali elementi costituiscono il complesso collisionale della Sicilia e del suo prolungamento offshore:

- un'area di avampaese, affiorante nella Sicilia sud-orientale e presente nel canale di Sicilia;
- un'avanfossa recente, localizzata nell'offshore meridionale della Sicilia e nel Plateau Ibleo lungo il margine settentrionale dell'avampaese;
- una catena complessa, vergente verso E e SE, spessa a luoghi più di 15km, costituita dalle unità calabro-peloritane e dalle Unità appenniniche siciliane.

La catena siciliana è caratterizzata da occidente ad oriente dalla sovrapposizione di corpi pellicolari derivanti dalla deformazione di originari domini meso-cenozoici di mare profondo e delle loro coperture neogeniche, su un cuneo, spesso 8-9 km, di unità tettoniche derivanti dalla deformazione dell'originario dominio di piattaforma carbonatica.

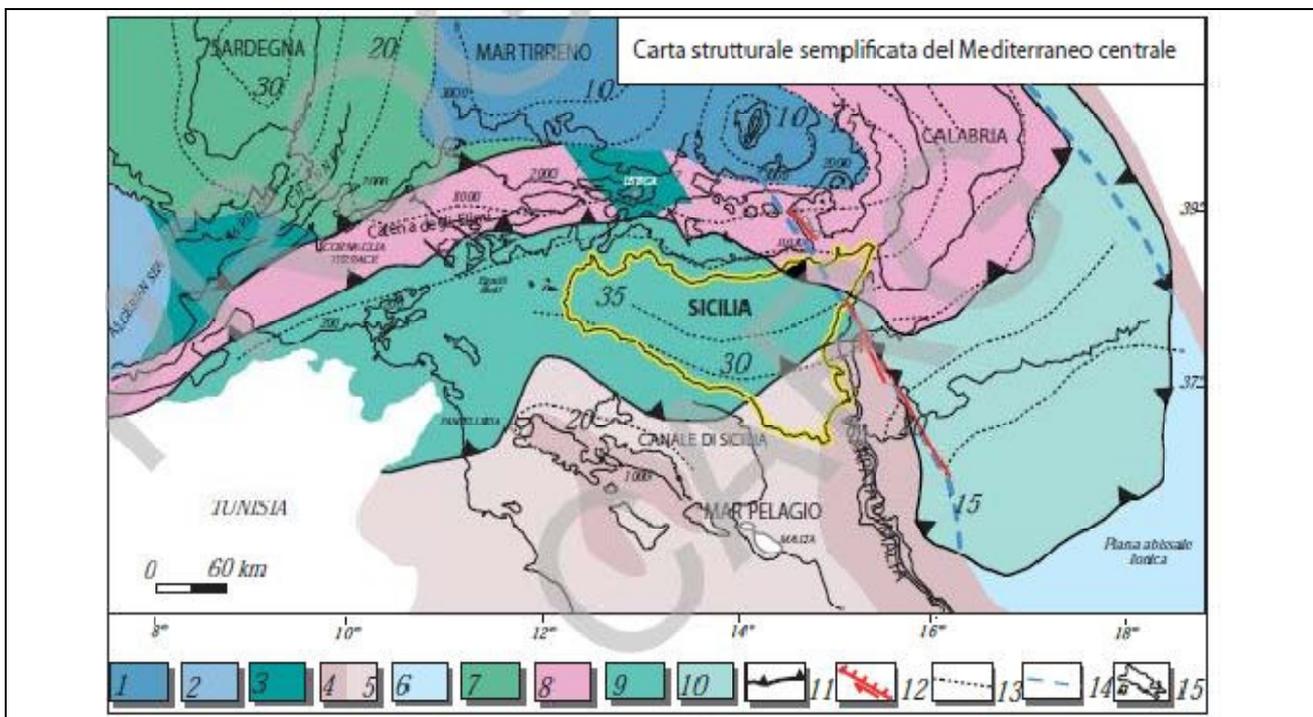


Figura 2 – La carta illustra i differenti settori crostali della regione centrale del mediterraneo (modif. da catalano et alii, 2002)

Legenda: 1) crosta oceanica del Mar Tirreno (KASTENS et alii 1987); 2) crosta oceanica del Bacino Algerino; 3) crosta continentale assottigliata kabilo e sarda; 4) crosta continentale (5 - assottigliata) africana; 6) crosta oceanica del Mar Ionio; 7) unità tettoniche sarde; 8) unità kabilo-calabridi; 9) unità siciliane-maghebrididi; 10) prisma di accrezione ionico; 11) fronti di sovrascorrimento; 12) faglia con probabile componente transtensiva (ridisegnata da CHAMOOT-ROOEE et alii, 2005); 13) isobate (in km) della Moho; 14) limite margine passivo-oceano ionico secondo CATALANO et alii 2001; 15) batimetria.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG - -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

I domini paleogeografici, sviluppatasi da Nord a Sud, nel tardo Trias e fino all'Oligocene, erano rappresentati da piattaforma carbonatica Pre-panormide e Panormide, bacino Imerese, piattaforma carbonatica Trapanese, bacino Sicano, piattaforma carbonatica Saccese e Iblea. Fa eccezione la piattaforma panormide.

L'assetto paleogeografico si è modificato nel Neogene, in corrispondenza dell'inizio della deformazione interessando il margine continentale africano.

Nel tardo Oligocene-Miocene inferiore si depositarono sedimenti terrigeni in una grande avana fossa progressivamente deformata (Flysch di capo d' Orlando, Reitano, Numidico.). Le fasi tettoniche collegate all'orogenesi hanno dato luogo alle strutture di ricoprimento con una tettonica di tipo traslativo e plicativo. Le formazioni litologiche presenti in Sicilia possono essere raggruppate, sulla base delle caratteristiche petrografiche, sedimentologiche, tessiturali, strutturali ecc. (non considerando il loro assetto stratigrafico) in diversi complessi litologici:

- complesso clastico di deposizione continentale, comprendente depositi alluvionali talora terrazzati, depositi litorali, lacustri e palustri e detriti di falda;
- complesso vulcanico, comprendente le colate laviche attuali, storiche o antiche dell'Etna e le vulcaniti antiche degli Iblei;
- complesso sabbioso-calcareo plio-pleistocenico;
- complesso argilloso-marnoso, comprendente tutte le formazioni prevalentemente argillose del territorio, quali le argille pleistoceniche, le argille azzurre medio-plioceniche, le marne a foraminiferi del Pliocene Inferiore, le formazioni argillose e marnose del Miocene Medio - Superiore, le litofacies pelitiche dei depositi di Flysch, le argille brecciate e le argille varicolori;
- complesso evaporitico, che comprende tutti i litotipi della Formazione Gessoso- Solfifera del Miocene sup. come il tripoli, il calcare solfifero, i gessi e i sali;
- complesso conglomeratico-arenaceo, comprendente la litofacies conglomeratica della F.ne Terravecchia;
- complesso arenaceo-argilloso-calcareo, che comprende tutte le formazioni flyscioidi a prevalente composizione arenacea diffuse soprattutto nella Sicilia settentrionale;
- complesso carbonatico, che raggruppa tutte le formazioni calcaree, calcareo-dolomitiche e dolomitiche di età compresa tra il Mesozoico e il Terziario, che costituiscono l'ossatura della Catena Appenninico-Magrebide siciliana in parte dei Peloritani e la serie calcarea degli Iblei;
- complesso filladico e scistoso-cristallino, della catena metamorfica peloritana.

L'assetto morfologico della Sicilia, in relazione alla complessità della struttura geologica è estremamente vario. L'influenza della litologia sulle caratteristiche morfologiche del paesaggio siciliano è estremamente importante a causa soprattutto della differente risposta che i vari litotipi affioranti offrono alle azioni erosive. Si hanno, pertanto, morfologie tipiche di rilievi costituiti da rocce lapidee che contrastano con le morfologie blande e addolcite dei terreni plastici.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG - -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

## 2.2 Contesto Geologico Locale

L'area dove si sviluppa il tracciato ferroviario Alcamo – Trapani si inserisce nel contesto geologico dei **Monti di Trapani**.

Quest'ultimi rappresentano le estreme porzioni nord-occidentali della Catena Appenninico-Maghrebide che caratterizza da Est ad Ovest la fascia settentrionale della Sicilia, e si estende dai Monti di Trapani fino ai Monti Nebrodi. La Catena è composta da un insieme di unità stratigrafico-strutturali carbonatiche e terrigeno-carbonatiche derivanti dalla deformazione di domini paleogeografici diversi, caratterizzate da omogeneità di facies e di comportamento strutturale e sovrapposte tettonicamente con vergenza meridionale.

La deformazione dei domini paleogeografici e la messa in posto delle unità strutturali è avvenuta a partire dal Miocene inf. a seguito di una tettonica compressivo-traslattiva ed è durata fino a buona parte del Pliocene. Essa ha avuto inizio con la messa in posto delle unità più interne ed ha progressivamente interessato i domini paleogeografici più esterni e più profondi nell'edificio tettonico che hanno subito un trasporto minore.

Nel Tortoniano-Messiniano inferiore, in seguito al sollevamento progressivo della Catena, è iniziata la deposizione del Complesso Postorogeno, con le molasse della Formazione di Terravecchia, seguita dalla crisi di salinità, che ha dato luogo alla deposizione della serie evaporitica messiniana e dalla deposizione terrigena argilloso-sabbioso- calcarenitica Plio-pleistocenica. Nell'area oggetto di studio affiorano terreni che abbracciano un intervallo temporale compreso tra il Trias sup. e l'Attuale. Si riscontrano depositi di Catena prevalentemente calcareo-dolomitici e calcareo-marnosi riferibili all'Unità di Monte Erice, depositi prevalentemente argillosi e argilloso-arenacei riferibili al complesso postorogeno e depositi quaternari di natura prevalentemente sabbioso-calcarenitica.

Su tali terreni si rinvengono, infine, depositi di copertura di natura detritica a ridosso dei principali rilievi e di natura alluvionale nelle aree di fondovalle.

Dal punto di vista tettonico i litotipi dell'Unità di Monte Erice sono stati coinvolti nelle fasi tettonogenetiche che hanno dato luogo alla formazione dell'edificio strutturale dei Monti di Trapani. La struttura di Monte Erice rappresenta il motivo strutturale dominante che caratterizza il territorio in oggetto. Essa è costituita da terreni prevalentemente carbonatici, di età mesozoico-terziaria, derivanti della deformazione del margine settentrionale del Bacino Trapanese.

La successione litologica, che nel complesso forma una struttura anticlinale, ha uno spessore complessivo di circa 900 metri. Secondo alcuni autori l'Unità del Monte Erice costituisce una scaglia tettonica sovrascorsa sull'Unità Rocca Giglio, anch'essa costituita da terreni carbonatici sottostanti al complesso plastico tortoniano.

Il contatto tettonico è incerto in quanto obliterato da una estesa coltre detritica e comunque si trova a valle delle pendici meridionali e sud-orientali del Monte Erice.

Alla tettonica orogena che ha dato luogo all'impilamento delle varie unità stratigrafico-strutturali ha fatto seguito, a partire dal Pliocene superiore, una fase tettonica recente, caratterizzata da un regime distensivo, con faglie dirette o normali a diverso rigetto, che è tuttora in atto e che ha contribuito a generare l'attuale configurazione morfologica del paesaggio.

Tali faglie dirette, caratterizzate da due famiglie prevalenti, di cui una più antica, orientata E-W, ed una più recente, che interrompe e trasla la precedente, con direzione prevalente N-S, hanno variamente dislocato gli ammassi rocciosi.

A partire dal Pleistocene, infine, le oscillazioni del livello marino hanno dato luogo alla piana costiera con i depositi calcarenitici quaternari, mentre nei rilievi i processi erosivi e di asportazione dei prodotti di

degradazione dei versanti hanno dato luogo alla formazione dei depositi detritici alla base delle pendici rocciose.

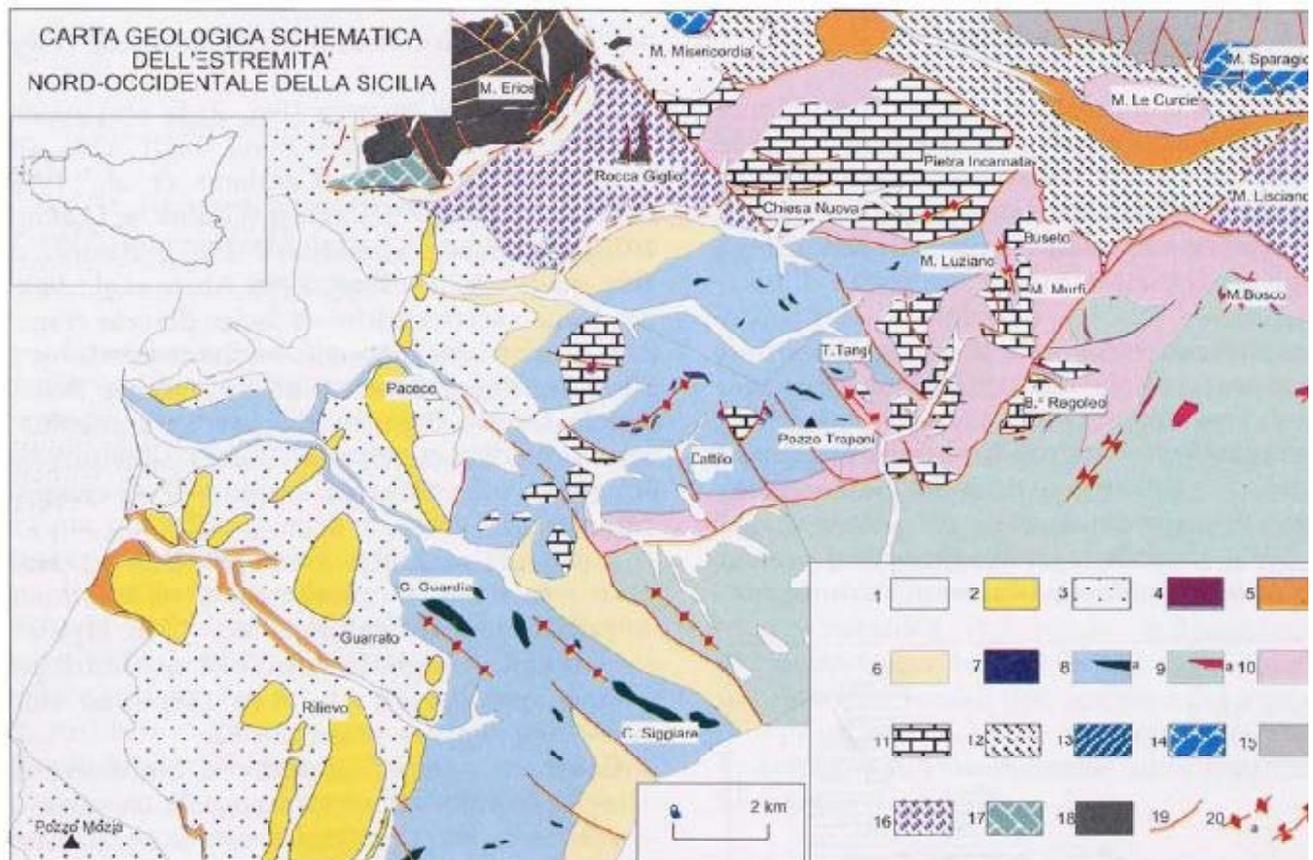


*Figura 3 – Rilievo dell'area e corpi idrici presenti. In rosso la tratta oggetto di studio*

I terreni che si rinvengono lungo lo sviluppo del tracciato ferroviario in questione sono ricompresi nel settore più occidentale della catena nord-siciliana e sono il risultato della sovrapposizione tettonica di vari corpi geologici carbonatici, carbonatico-silicoclastici e terrigeni di età Trias sup. - Miocene sup. con vergenza meridionale. Questi corpi derivano dalla deformazione di successioni di piattaforma carbonatica e carbonatico-pelagica individuatesi durante le fasi di distensione mesozoica.

Le unità geometricamente più basse derivano, secondo i modelli strutturali più recenti, dalla deformazione dei terreni del Dominio Trapanese - Saccense a cui si sovrappongono le unità derivanti dalla deformazione del settore più occidentale del Dominio Panormide.

Le unità geometricamente più alte derivano dalla deformazione di terreni cretacico-neogenici scollati dal loro substrato mesozoico e riferiti alle unità Pre-panormidi.



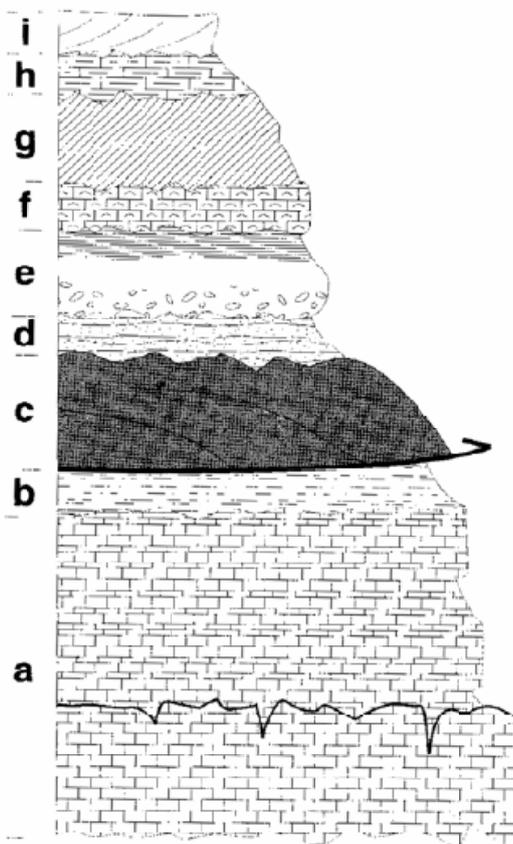
Carta geologica schematica dell'estremità nord-occidentale della Sicilia. 1) Detrito; alluvioni anti recenti; 2) Sabbie eoliche, conglomerati, sabbie ed argille (depositi continentali); 3) Conglomerati, calcareniti clastiche, calcareniti e sabbie (Pleistocene inf.); 4) Gessi, gessareniti ed argille gessose (Messiniano sup.); 5) A sabbiose, sabbie ed intercalazioni lenticolari di conglomerati "Fm. Terravecchia" (Tortoniano sup.-Messi. inf.); 6) Argille, argille sabbiose e marne (Serravalliano-Tortoniano medio); 7) Biolititi ad alghe e coralli, calciti e calciruditi a macroforaminiferi, lamellibranchi e gasteropodi "Mischio" (Miocene inf.-medio); 8) Arg marne a foraminiferi planctonici con intercalazioni di arenarie, calciruditi e calcareniti in grossi banchi (Oligocene sup.-Miocene inf.); 9) Alternanza di peliti, peliti sabbiose ed arenarie con intercalazioni di aren conglomerati in grossi banchi (a) (Oligocene medio-sup.); 10) Argille ed argille marnose, marne sabbiose con calazioni lenticolari di calcareniti, biocalcareni e biocalciruditi (Eocene sup.-Oligocene medio); 11) Calcili calcisiltiti marnose a foraminiferi planctonici e radiolari con intercalazioni di breccie carbonatiche "Scaglia"; lutiti marnose e marne ad aptici, belemniti e foraminiferi planctonici (Cretaceo inf.-Eocene); 12) Argille, argill biosse e marne "Fm. S.Cipirello" (Langhiano sup.-Tortoniano medio); 13) Calcareniti e calciruditi a m foraminiferi, calcilutiti, conglomerati e breccie (Eocene sup.-Oligocene); 14) Calcilutiti e calcisiltiti marn foraminiferi e radiolari con intercalazioni di breccie carbonatiche "Scaglia" (Cretaceo sup.-Eocene); 15) Calcili calcareniti coralgali, calcari a rudiste e nerinee (Cretaceo medio-sup.); 16) Argille, argille sabbiose e marne "I Cipirello" (Langhiano sup.-Tortoniano medio); 17) Calcilutiti e calcisiltiti marnose a foraminiferi e radiolari intercalazioni di breccie carbonatiche "Scaglia" (Cretaceo sup.-Eocene); 18) Calcilutiti e calcisiltiti a cal-pionelli cari nodulari ad ammoniti, marne a brachiopodi e cefalopodi "Rosso Ammonitico"; calcilutiti e calcisiltiti ma a liste e noduli di selce; dolomie cristalline e calcari stromatolitici e liferitici (Trias sup.-Neocomiano); 19) Fa contatti tettonici; 20) Assi di anticlinali (a) e sinclinali (b).

Figura 4 – Carta geologica dei monti di Trapani (Catalano e Lo Cicero, 1998)

 <p>Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG - -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

In base alle caratteristiche lito e biostratigrafiche, sedimentologiche e alla reciproca posizione geometrica sono state riconosciute le seguenti successioni:

- Successioni carbonatiche e silicoclastiche, meso-cenozoiche, con caratteristiche di piattaforma carbonatica e carbonatico-pelagica riferibili al Dominio Trapanese-Saccense o Ibleo-Trapanese (Montanari, 1987, Incandela, 1995);
- Successioni carbonatiche meso-cenozoiche con caratteristiche di piattaforma carbonatica, di margine e terrigene di scarpata, riferibili al Dominio Panormide (Catalano & D'Argenio, 1978, 1982; Abate et al., 1991, 1993);
- Successioni carbonatiche e silicoclastiche con caratteristiche di bacino e di margine di piattaforma riferibili al Dominio Pre-panormide del Cretaceo al Miocene (Catalano et al. 1996);
- Depositi "tardorogeni" distinti in successioni terrigene e carbonatiche del Miocene sup. - Pliocene inf. e successioni silicoclastiche-carbonatiche del Miocene sup. - Pliocene inf.;
- Successioni del Dominio Ibleo-Trapanese o Trapanesi-Saccense.



Successione schematica dei terreni neogenici che si sovrappongono in discordanza sui carbonati mesocenozoici di facies trapanese o sulle falde PrePanormidi a loro volta sovrascorse su questi ultimi. a) substrato mesocenozoico trapanese; b) coperture clastico carbonatiche langhiano-tortoniane; c) unità delle falde PrePanormidi; d) Membro argillo-sabbioso di età Miocene medio discordante sui sottostanti terreni in falda e probabilmente coevo al loro trasporto; e) Formazione Terravecchia che inizia con conglomerati a volte continentali seguiti da sabbie ed argille di età al limite Tortoniano-Messiniano; f) Calcari di scogliera (Fm. Baucina) discordanti sui sottostanti depositi e ricoperti da marne messiniane; g) Evaporiti e marne gessose appartenenti al 2° ciclo; h) Trubi (marne e calcari), Pliocene inferiore; i) Depositi della Fm. marnosa-arenacea Pliocene superiore-Pleistocene inferiore.

Figura 5 – Schema della successione litostratigrafica nell'area oggetto di studio

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	<b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b>  Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001	Relazione geologica ed idrogeologica

## 2.3 Modello geologico dell'area di interesse

Come si evince dalla carta geologica e dal profilo geologico, la linea ferroviaria si sviluppa principalmente su terreni di natura prevalentemente argillosa e limoso argillosa della formazione del Flysh Numidico e i secondo ordine su terreni di natura attritiva costituita da litologie sabbiose, sabbioso-limose e ghiaiose appartenenti alle Alluvioni recenti.

Nel tratto compreso tra la stazione di Segesta fino alla stazione di Bruca si rinvencono depositi conglomeratici appartenenti alla Formazione di Terravecchia costituiti da conglomerati e sabbie a cui fanno seguito terreni marnosi e argilloso marnosi appartenenti alla formazione di San Cripello; infine si intercettano per tratti piuttosto brevi strati rocciosi costituiti da calcilutiti appartenenti alla formazione della Scaglia cretacea.

In ordine stratigrafico secondo l'ordine cronologico dei terreni si riporta la successione litostratigrafica dei terreni affioranti lungo l'intero tracciato ferroviario in oggetto:

- **Detrito di versante (dt) - Olocene**

Si tratta di accumuli detritici eterometrici, a volte cementati presenti alla base dei rilievi carbonatici, principalmente alle falde dei rilievi; sono costituiti di frammenti e blocchi lapidei a spigoli vivi di natura prevalentemente carbonatica misti a terre rosse, sabbie e sabbie limose; tali depositi presentano una granulometria alquanto variabile ed un grado di cementazione anch'esso molto variabile, tale da conferire al deposito caratteristiche comprese da quelle di roccia sciolta a quelle di un deposito consistente e ben cementato. Presentano uno spessore variabile da 10 a 15 m.

- **Alluvioni recenti ed attuali (a) - Pleistocene Sup.-Olocene**

Le alluvioni sono costituiti da litologie prevalentemente ghiaiosi, sabbiosi e limosi, e si riconducono a depositi di terrazzo fluviale su più ordini che interessano le aree di fondovalle e le aree di piana alluvionale. Presentano spessori variabili dai 5 ai 20 m di spessore.

- **Terrazzi marini (Tm) - Tirreniano**

Tutta la fascia costiera del bacino e dell'area territoriale è caratterizzata dalla presenza di depositi di natura prevalentemente calcarenitica e sabbioso-conglomeratica, riferibili ai terrazzi di abrasione marina di epoca tirreniana.

Si tratta di calcareniti detritico-organogene con grado di cementazione variabile, di colore giallo chiaro o biancastro, fossilifere, terrazzate in vari ordini a partire dalle quote prossime al livello del mare fino a quote di circa 100 m s.lm. La stratificazione è in grossi banchi, talora incrociata e la giacitura è suborizzontale, con leggera pendenza verso la linea di costa.

Le calcareniti, dal punto di vista litologico, sono costituite in prevalenza da frammenti organogeni di natura calcarea e da una matrice anch'essa carbonatica. Presentano un grado di compattezza e cementazione alquanto variabile sia lateralmente che in senso verticale, e si riscontrano rare intercalazioni sabbiose argillose. Alla base è presente, quasi sempre, un livello conglomeratico.

I terrazzi marini presentano spessori dai 10-20 m.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG - _02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

- **Formazione di Terravecchia (Tortoniano sup.- Messicano inf.)(TRV1)**

La formazione è caratterizzata, in generale da due litofacies con caratteri litologici differenti: una litofacies pelitica ed una sabbioso-arenaceo-conglomeratica. Nell'area in esame affiorano in prevalenza i termini riferibili alla litofacies pelitica. Tale litofacies è costituita di argille grigio-verdastre e grigie, argille sabbiose bruno-azzurrastrae, spesso con cristalli di gesso e con sottili livelli sabbiosi che ne marciano la stratificazione, argille verdi, dure a frattura concoide, argille marnose e marne, talora biancastre, con spalmature limonitiche, noduli di ferro manganesiferi e cristalli isolati di gesso.

Le argille si presentano giuntate e tettonizzate e i giunti di stratificazione sono talora marcati da sottili livelli sabbiosi (TRV2).

La litofacies sabbioso-arenaceo-conglomeratica della Formazione Terravecchia è invece costituita, in tutta la sua sequenza, da un intervallo conglomeratico passante verso l'alto ad arenarie, sabbie, molasse calcaree, molasse dolomitiche, quindi ad argille marnose e siltose, ricche di livelli sabbiosi di potenza variabile (TRV1).

Dal punto di vista granulometrico i clasti hanno dimensioni variabili da pochi centimetri fino, talora, a diversi metri. I clasti sono generalmente embriciati, ben arrotondati, spesso disposti in grandi canali.

Localmente, la stratificazione è incrociata su larga scala; la matrice sabbiosa del conglomerato, generalmente abbondante, in qualche caso può aumentare, tanto da dar luogo a lenti di arenaria grossolana, con laminazione ben distinta, parallela o incrociata.

Verso la sommità le intercalazioni di sabbia aumentano ed i ciottoli sono sempre più piccoli e meno embriciati, fino a passare ad una zona costituita da arenarie con sporadiche intercalazioni argillose.

La porzione sabbioso-arenacea è costituita da una potente serie di arenarie e sabbie debolmente cementate, a granulometria variabile. I clasti si presentano a spigoli arrotondati passando da sabbie grossolane a sabbie fini siltose, con intercalate lenti conglomeratiche. Le sabbie sono costituite in prevalenza di quarzo e sono talora ben cementate. Il cemento è generalmente di natura argillosa e le sabbie passano a vere e proprie molasse.

In base ai dati disponibili non è stato possibile distinguere le due litofacies della formazione, che pertanto è stata denominata in carta geologica e nel profilo geologico come TRV1 (litologie prevalentemente conglomeratiche con livelli di sabbie e peliti).

La formazione raggiunge spessori fino anche a 300 m.

- **Formazione di San Cripello (Langhiano sup.-Tortoniano inf.)(Mc)**

Si tratta di depositi marnosi e argilloso marnosi di colore grigio-verdastro, presentano granuli di glauconite ed una microfauna a Globigerinidi e Orbuline.

La formazione ha spessore variabile dai 50 ai 150 m.

- **Flysch Numidico (Oligocene sup. - Miocene inf.) (FLY1)**

Tali depositi sono costituiti da prevalenti argille ed argilliti siltose di colore bruno con frequenti intercalazioni di banchi e livelli quarzarenitici e quarzosiltitici, e con inglobati livelli e lenti di breccie calcarenitiche gradate. La formazione arriva a spessori di 200 m.

- **Calclutiti marnose - "Scaglia" (Cretaceo sup.-Oligocene) (Sc)**

Si tratta di calclutiti marnose in facies di "Scaglia" di colore biancastro e rosaceo, stratificate in strati di spessore centimetrico e decimetrico, con noduli e liste di selce nera e con intercalazioni di livelli addizionati

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b>
304817_S01_PD_TG - _02_000_E0001	Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
Relazione geologica ed idrogeologica	

di breccie calcaree o calcarenitiche. Verso l'alto sono presenti livelli di calcari marnosi e marne grigiastre. Tali depositi raggiungono spessori di 180 m.

Nella tabella seguente si riassumono le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del tracciato:

TRATTA	GEOLOGIA	GEOMORFOLOGIA	NOTE
Km 73+227 - 75+800	Formazione di Terravecchia: sabbie, argille, argille sabbiose da giallastre a grigie e marne grigie. Depositi di ambiente deltizio con spessore di svariate decine di metri. A questa formazione di sovrappongono localmente sabbie e calcareniti giallo-arancio del Sintema di Marsala. Locale presenza di colluvio.	Pendenze molto ridotte, in aumento verso Ovest e lungo i fianchi della valle. Presenza di corsi d'acqua circa perpendicolari al tracciato.	Locali evidenze di creep superficiale.
Km 75+800 - 76+ 000	Formazione di Terravecchia: membro costituito da arenarie sabbiose di colore grigio con stratificazione incrociata, alternate localmente a peliti sabbiose. Localmente la formazione è rappresentata da paraconglomerati.	Pendenze di 10-15°, locali orli morfologici non attivi. Morfologia attiva per fenomeni di crollo e ribaltamento 400m a monte, presso galleria.	Alternanza di rocce dalla caratteristiche geotecniche complessivamente buone e siltiti poco competenti.
Km 76+000 - 82+000	Formazione di Terravecchia: membro costituito da arenarie sabbiose di colore grigio con stratificazione incrociata, alternate localmente a peliti sabbiose. Marne ed argille marnose (San Cripello) e alluvioni: argille e argille sabbiose con ciottoli, lenti di sabbie. Ambiente di deposizione fluvio-lacustre.	Pendenze ridotte, in aumento verso Ovest e lungo i fianchi della valle. Presenza di corsi d'acqua circa perpendicolari al tracciato.	Contenuto in fine variabile. Ne consegue una certa variabilità delle caratteristiche geotecniche
Km 82+000 - 84+000	Calcolutiti e calcisiltiti marnose a liste e noduli di selce, dal bianco al rossiccio. Frequenti intercalazioni di calcarenite gradata o laminata.	Morfologia del rilievo molto accentuata, con fenomeni di crollo presso le pareti rocciose affioranti. Questa tratta passa in galleria.	Rocce generalmente tenere dal comportamento fragile, fratturate.
Km 84+000 - 97+000	Alterazioni di peliti siltose color tabacco con livelli lenticolari di conglomerati a base erosiva e di calcareniti e breccie calcaree con grossi bioclasti.	Morfologia dolce, ondulata. Frequenti smottamenti superficiali.	

	Spessori molto variabili, ambiente deposizionale marino di scarpata.		
Km 97+000 - 106+000	Argille e marne sabbiose con intercalazioni di biocalcareni torbiditiche, arenarie, calciruditi.	Morfologia dolce, ondulata. Evidenze di creep, spinta attiva delle terre e rigonfiamenti delle argille. Assenza di importanti orli morfologici.	Dissesti diffusi ed evidenti legati al carattere rigonfiante delle argille, alla spinta loro attiva ed a creep superficiale (frane in lento movimento)
Km 106+000 - 107+000	Zona di raccordo con la piana argillosa. Argille e marne sabbiose con intercalazioni di biocalcareni torbiditiche, arenarie, calciruditi.	Pendenze dell'ordine di 10°, in rapida diminuzione verso valle. Paesaggio ondulato, assenza di importanti orli morfologici.	Dissesti diffusi ed evidenti legati al carattere rigonfiante delle argille, alla spinta loro attiva ed a creep superficiale (frane in lento movimento)
Km 107+000 - 108+000	Argille e marne sabbiose con intercalazioni di biocalcareni torbiditiche, arenarie, calciruditi.	Morfologia dolce, ondulata. Evidenze di creep, spinta attiva delle terre e rigonfiamenti delle argille. Assenza di importanti orli morfologici.	Dissesti diffusi ed evidenti legati al carattere rigonfiante delle argille, alla spinta loro attiva ed a creep superficiale (frane in lento movimento)
Km 108+000 - 115+000	Detriti fluviali costituiti da ciottoli poligenici in matrice limoso-sabbiosa grigiastra. Locale presenza di depositi colluviali (ghiaie sabbie e limi variamente frammisti)	Morfologia pianeggiante.	Locali dissesti legati a cedimenti differenziali per eterogeneità del detrito.
Km 115+000 - 120+345	Depositi colluviali e argille frammiste a ghiaia e sabbia rimaneggiate. Depositi eterogenei: ciottoli e ghiaie in abbondante matrice argilloso-limosa.	Morfologia pianeggiante.	Locali dissesti legati a cedimenti differenziali per eterogeneità del detrito.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Carta Geologica e Geomorfologica, oltre al Profilo Geologico allegati al progetto.

## 2.4 Aspetti Tettonici-Strutturali

L'area oggetto di studio è localizzata nell'estremità occidentale della Sicilia, rappresenta il settore più occidentale della Catena Siciliana, costituendo un segmento della catena appenninico-magrebide originato dalla sovrapposizione tettonica miocenica di varie unità carbonatiche, carbonatico-silicoclastiche e terrigene, di età compresa fra il Trias sup. ed il Miocene sup., vergenti verso S e SE. Tali unità derivano dalla deformazione di piattaforme carbonatiche e carbonatico-pelagiche avvenute durante le fasi distensive mesozoiche.

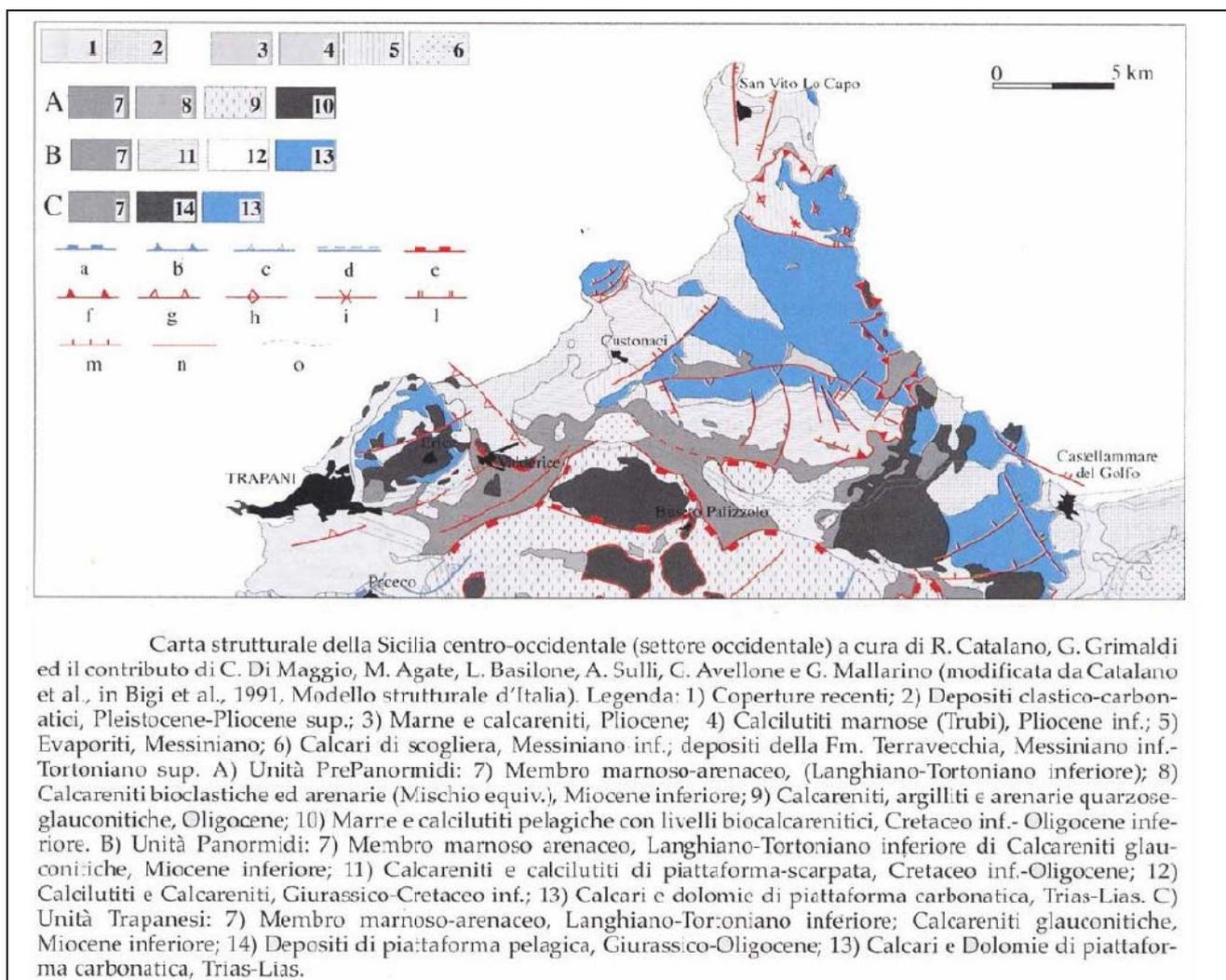


Figura 6 – Carta strutturale della Sicilia centro-occidentale.

Nel Pliocene medio-sup., le ulteriori deformazioni dell'edificio tettonico, associate a sistemi traspressivi, hanno determinato localmente l'estrusione dei corpi tettonici, geometricamente più bassi nell'edificio strutturale, producendo inoltre sistemi fuori sequenza retrovergenti.

In figura 6 viene esplicitato l'assetto strutturale dei corpi tettonici sepolti nell'area siciliana occidentale.

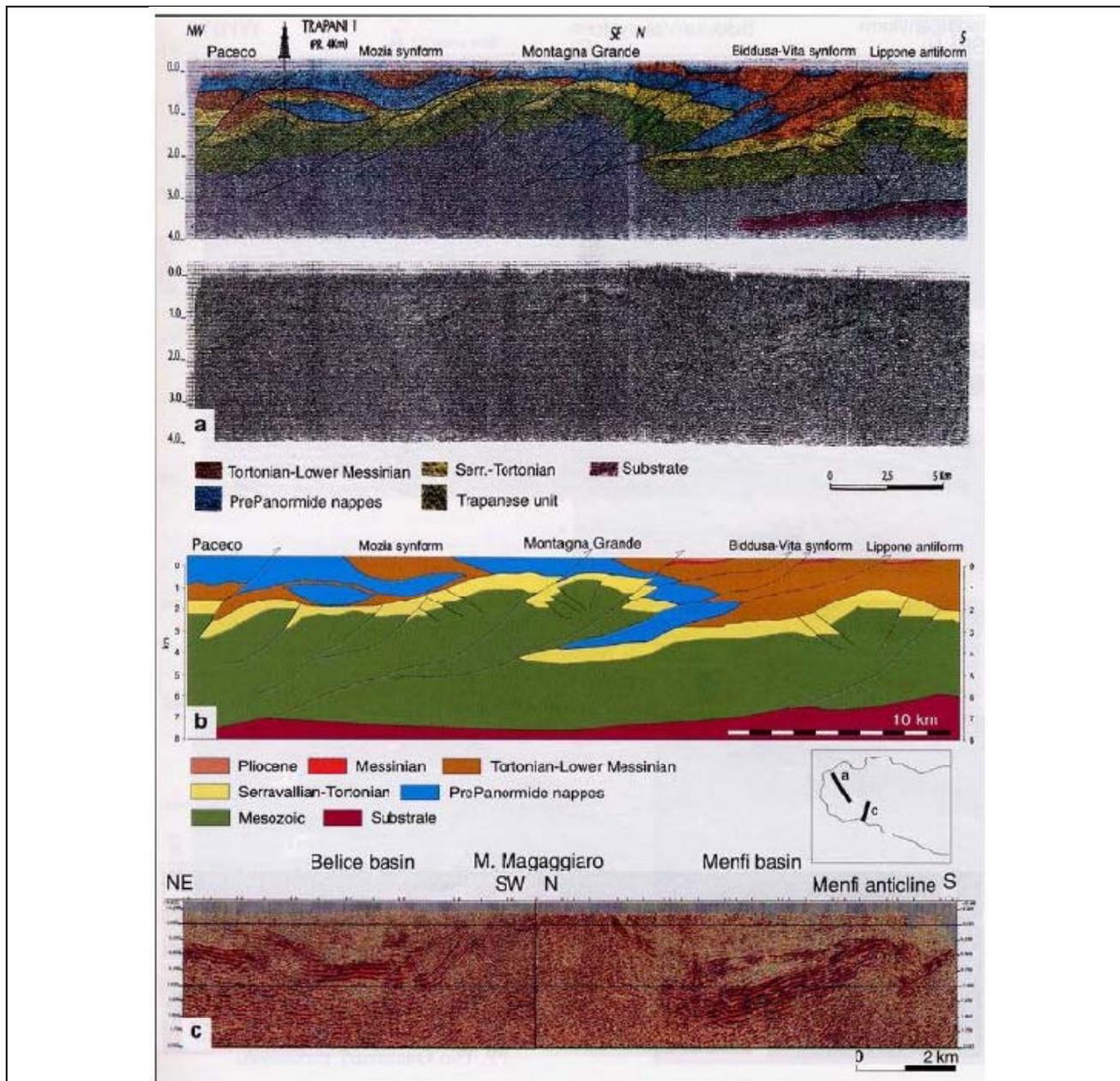


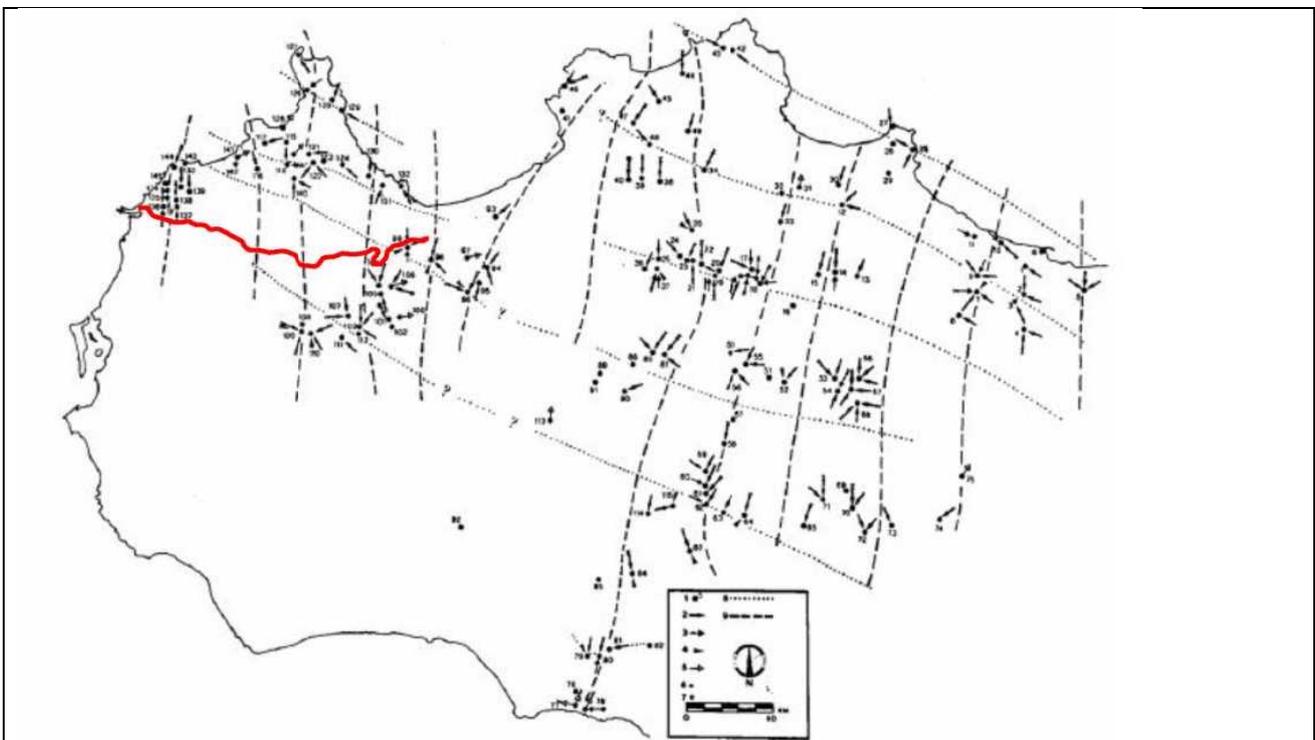
Figura 7 – Profili geologici profondi nella Sicilia occidentale realizzati con l'ausilio di prospezioni sismiche a riflessione (Catalano et alii, 2002)

L'assetto strutturale dell'area è il risultato dell'interazione delle fasi tettoniche che si sono succedute a partire dal Miocene. Sono distinguibili tre gruppi di unità tettoniche sovrapposte con geometrie di ramp-flat e vergenti generalmente verso i quadranti meridionali. Le unità più basse, sono quelle che derivano dalla deformazione del Dominio Trapanese, a loro volta ricoperte per contatto tettonico da quelle Panormidi. Tali unità, deformate secondo raggio di curvatura ampio, sono ritagliate da faglie inverse e/o sovrascorrimenti. I piani di sovrascorrimento che creano raddoppi delle successioni si localizzano in corrispondenza dei livelli di debolezza meccanica in corrispondenza di livelli marnosi cretaceo-eocenici, e presentano vergenze verso E o SE.

Nei corpi carbonatici si individuano tre sistemi di faglie:

- NE-SW ed E-W a componente compressiva (Monte Erice, Monte Speziale, Monte Palatimone, Monte Sparagio, Monte Cofano), responsabili del raddoppio delle successioni, poi ripresi da faglie distensive che hanno creato sistemi a gradonata o da faglie con componente orizzontale del movimento;
- NW-SE, che tagliano ed interrompono sovrascorrimenti e strutture plicative. Si tratta di faglie subverticali con movimento destro;
- NE-SW ed E-W, impostate sui sistemi più antichi.

Tettonicamente sovrapposte sulle unità Trapanesi si hanno le unità che derivano dalla deformazione del dominio Pre-panormide. Le unità Pre-panormidi sono costituite da successioni sia di bacino, che di margine e di scarpata, ed affiorano nel settore tra Paceco e Buseto Palizzolo. Si tratta di unità scollate dal loro originario substrato mesozoico e costituite da successioni con litologie a prevalente comportamento duttile che hanno dato origine a strutture a pieghe molto marcate e numerosissime piccole scaglie tettoniche impilate a formare strutture embricate.



 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

L'area si è strutturata prevalentemente durante tre fasi:

- Miocene sup. (post Tortoniano medio) - durante questa fase si è avuta la deformazione e la strutturazione delle unità tettoniche Panormidi su quelle Trapanesi e la sovrapposizione delle unità Pre-panormidi sulle precedenti; durante questa fase si generano fronti di sovrascorrimento e strutture plicative orientati N-S e NE-SW;
- Pliocene inf. - si completa la strutturazione della catena ed i **thrust**, orientati E-W e NW-S coinvolgono anche i precedenti depositi messiniani;
- Plio-Pleistocene - si generano faglie trascorrenti orientate NW-SE, E-W e NE-SW che interrompono le precedenti strutture mio-plioceniche creando nuovi fronti di sovrascorrimento e strutture plicative che coinvolgono sia i depositi già deformati che quelli Plio-pleistocenici.

### 3 Idrogeologia

#### 3.1 Inquadramento Regionale

La rete idrografica della zona studiata appare molto complessa: i bacini hanno generalmente dimensioni modeste e il reticolo nella maggior parte dei casi è riconducibile al tipo di forma dendritica. Numerosi sono i corsi d'acqua a regime torrentizio e molti hanno uno sviluppo alquanto breve.

Le valli fluviali risultano strette ed approfondite nelle aree montuose, con caratteristiche sezioni a 'V', molto più larghe nelle aree collinari con sezioni a conca o a piatto seconda delle rocce che attraversano.

Il sistema idrografico risulta frequentemente impostato lungo linee di dislocazione tettonica (faglie – sottoimposizione) seguendone abbastanza fedelmente la direzione.

Le unità tettoniche, impilate con geometrie di tipo ramp-flat, dal punto di vista idrogeologico presentano comportamento autonomo o in chiaro rapporto idraulico con unità tettoniche limitrofe o con il mare.

I terreni affioranti sono in parte di natura carbonatica. Questo genere di roccia è sensibile all'azione aggressiva, chimico-fisica, delle acque dilavanti e circolanti (fenomeni carsici). Il carsismo è molto diffuso: ne sono evidenza le superfici costellate da strutture di dissoluzione delle rocce (in superficie si esplicano come canalicoli crestati in direzione della linea di massima pendenza della superficie rocciosa), i fori di dissoluzione che spesso attraversano da parte a parte interi pacchi di strati in corrispondenza di piccole discontinuità della roccia, e le vaschette di corrosione (piccole conche che si formano su superfici orizzontali).

L'azione carsica esplica anche all'interno della massa rocciosa (carsismo endogeno), come evoluzione della circolazione idrica per fratturazione. La circolazione idrica nelle principali idrostrutture individuate è condizionata in primo luogo dai principali lineamenti tettonici, dai piani di accavallamento che determinano l'incuneamento al di sotto di essi delle coperture terrigene impermeabili, e dalla presenza di numerose forme carsiche. Lo sfruttamento degli acquiferi, presenti nei vari corpi idrici riconosciuti nei Monti di Trapani, si concentra, per lo più, nelle piane costiere che si sviluppano soprattutto nel settore occidentale o a ridosso di esse. Gli emungimenti lungo la fascia costiera hanno innescato fenomeni di ingressione marina. Le strutture geologiche profonde sono caratterizzate da una circolazione idrotermale (Terme Segestane, Terme Gorga, Erice, contrada Crociferi, Balata - Inici ecc.).

I principali corsi d'acqua presenti nell'area defluiscono verso NW e verso NE sfociando nel Mar Tirreno con tracciato articolato e andamento fortemente condizionato dall'assetto strutturale.

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	<b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b>  Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001	Relazione geologica ed idrogeologica

### 3.2 Inquadramento Locale

Il tracciato della linea ferroviaria Palermo - Trapani Via Milo si sviluppa in parte sui seguenti bacini idrografici principali.

- Fiume Freddo** - Il bacino idrografico del F. Freddo ricade nel versante settentrionale della Sicilia e si estende, per circa 408 Km<sup>2</sup>, dal centro abitato di Poggioreale sino al Mar Tirreno presso la Tonnara Magazzinazzi, al confine tra il territorio di Castellammare del Golfo e di Alcamo. Esso confina con il bacino del F. Birgi ad ovest ed il bacino del F. Jato ad est e ricade nei territori delle province di Palermo e di Trapani. Nel bacino ricade il centro abitato di Calatafimi e una parte dei centri abitati di Poggioreale, di Alcamo e di Castellammare del Golfo. Il F. Freddo nasce presso Case Castelluzzi in territorio di Calatafimi e lungo il suo percorso, che si sviluppa per circa 46 Km, riceve le acque di diversi affluenti, tra i quali il F. Sirignano, che confluisce in destra presso Contrada Pergola, al confine tra il territorio di Calatafimi, Alcamo e Monreale; il Rio Giummarella, che confluisce in sinistra presso la Stazione FF.SS. di Alcamo al confine tra il territorio di Calatafimi e Alcamo; il F. Caldo che confluisce in sinistra presso Molino Marcione, al confine tra il territorio di Castellammare del Golfo, Alcamo e Calatafimi.

Il F. Freddo è uno dei pochi fiumi del trapanese con una portata rilevante. È in funzione dal 1972 la stazione idrometrica di Alcamo Scalo. Tale stazione, ubicata a circa 14 Km dalla foce, sottende un bacino di 273 Km<sup>2</sup> avente un'altitudine media di circa 253 m.s.m. Durante il periodo di disponibilità di dati (1972-1975) è risultato un deflusso medio annuo di 45 mm (pari a 12.3 Mm') su un afflusso di 627 mm.

- Fiume Birgi** - il bacino del F. Birgi ricade nel versante settentrionale della Sicilia e si estende per circa 350 Km<sup>2</sup> interessando il territorio della provincia di Trapani. Il fiume Birgi nasce sotto il nome di F. Fittasi in territorio del Comune di Busetto Palizzolo e si sviluppa per circa 43 Km attraversando il territorio del Comune di Trapani e, in piccola parte, di Paceco. Il bacino del Birgi confina a nord con il bacino del F. Lenzi e con alcuni bacini minori, ad est con quello del F. Freddo o S. Bartolomeo e per un breve tratto con il bacino del F. Delia, a sud con il bacino del F. Modione e con alcuni bacini minori, il F. Birgi, come già detto, nasce sotto il nome di F. Fittasi e prosegue prima con il nome di F. di Bordino e poi con quello di F. di Borrania. In questo tratto centrale, il corso d'acqua riceve, in sinistra idrografica, prima gli apporti del T. della Cuddia e poi quelli del T. Chitarra, proseguendo poi sotto il nome di F. della Marcanzotta, F. di Chinisia e infine F. Birgi. Il corso d'acqua ha foce naturale, ma le sue acque sono state incanalate e scaricate a mare poco a nord di Torre S. Teodoro. Nel bacino del F. Birgi è stato realizzato un lago denominato Rubino, che sbarrata il T. della Cuddia. Il serbatoio raccoglie i deflussi di 41.3 Km<sup>3</sup> di bacino diretto e di 34.8 Km<sup>3</sup> di bacino indiretto. La capacità utile di progetto del serbatoio è di 10.2 Mmc. Nel bacino del F. Birgi hanno funzionato dal 1971 tre stazioni idrometriche: la prima sul T. Fastaia (affluente del Cuddia) in località La Chinca, la seconda sul T. Chitarra a Rinazzo e la terza, sull'asta principale del Birgi in prossimità della foce, a Chinisia. La stazione a Rinazzo, posta a 50 m.s.m., sottende un bacino di circa 37 Km<sup>2</sup>, avente un'altitudine media di 170 m.s.m. In base a 4 anni di osservazioni (dal 1972 al 1975) risulta un deflusso medio annuo di 27 mm (pari a circa 1 Mmc/anno) contro i 458 mm di precipitazione.

La stazione a Chinisia, posta a 4 m.s.m., sottende un bacino di circa 292 Km<sup>2</sup> (al netto dei 41 km<sup>2</sup> i cui deflussi sono regolati dal serbatoio Rubino, sul T. Fastaia), avente una altitudine media di 194

 <b>RFI</b> <b>RETE FERROVIARIA ITALIANA</b> <b>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</b> Direzione Territoriale Produzione Palermo	<b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b>  Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001	Relazione geologica ed idrogeologica

m.s.m. In base a 5 anni di osservazioni (dal 1971 al 1975) risulta un afflusso medio annuo di 46 mm (pari a circa 13.4 Mm<sup>3</sup>/anno), contro i 525 mm di precipitazione.

fi F. Birgi ha un regime tipicamente torrentizio caratterizzato da lunghi periodi di magra nei quali sa ha portata nulla. Infatti, in 5 anni di osservazioni, si è registrato a Chinisia un numero massimo di 119 giorni consecutivi a portata nulla.

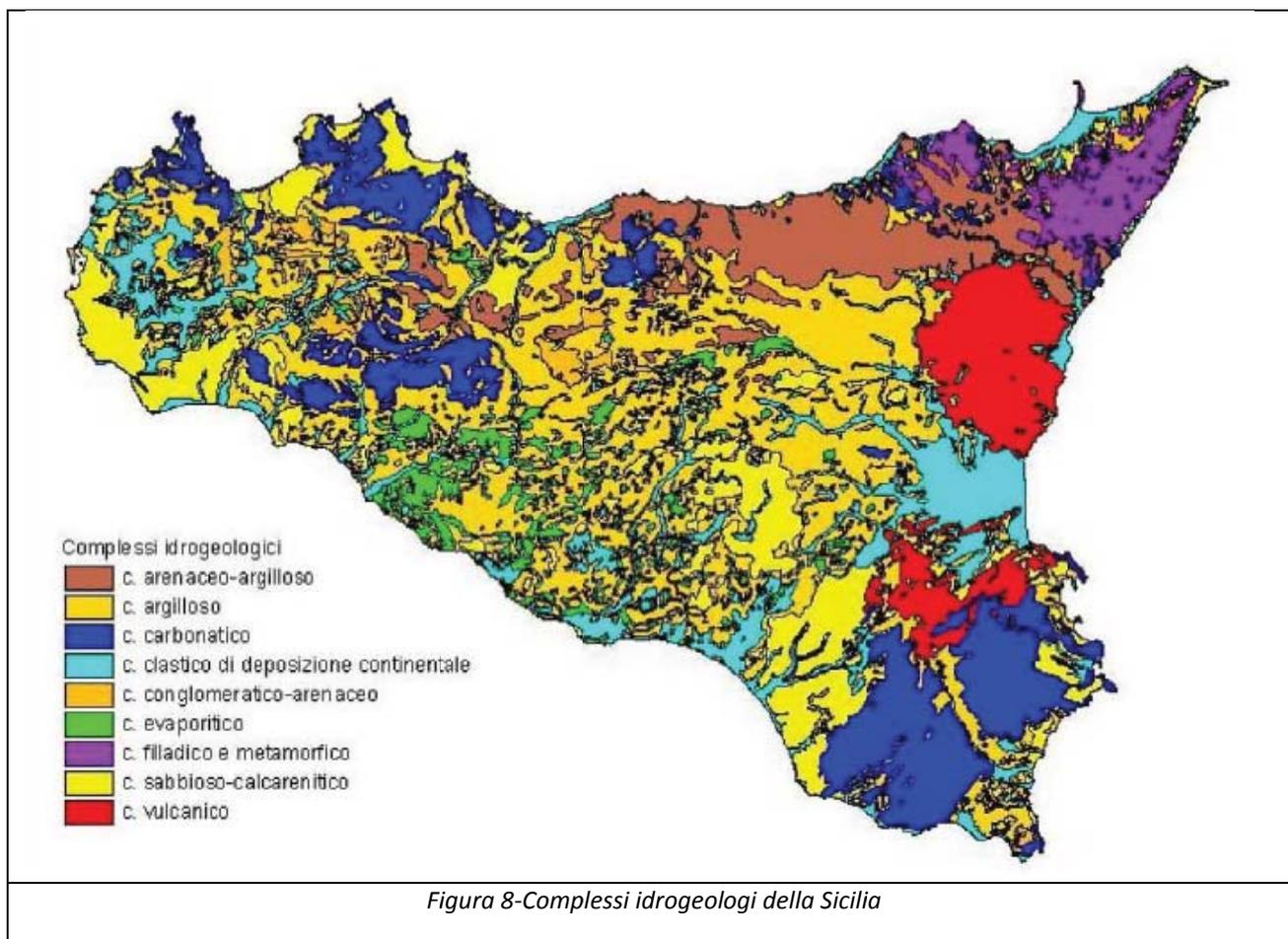
- Fiume Lenzi** - il bacino del F. Lenzi ricade nel versante settentrionale della Sicilia e si estende per circa 130 Km interessando il territorio della provincia di Trapani, fi corso d'acqua nasce alle pendici di M. Luziano e si sviluppa per circa 18 Km fino a sfociare nel Mar Tirreno. La sua foce è stata incanalata tra le saline che si estendono a sud dell'abitato di Trapani, fi F. Lenzi, prima della foce riceve, in sinistra, il Canale Baiata; la zona delle Saline di Trapani, ove sfocia il corso d'acqua, viene denominata Margi di Xitta. Tale zona pianeggiante, che si estende per circa 687 ha. comprende gli Stagni di Paceco e la zona Calderaro. La pianura è costituita dalle alluvioni argillose trasportate dalle piene dei due torrenti Lenzi e Baiata che la attraversano senza un letto fisso. Questa zona nel 1905 fu parzialmente bonificata con la costruzione di canali di scolo, con l'inalveamento del Lenzi e del Baiata, e col prosciugamento di oltre 200 ha di terreno paludoso degli Stagni di Paceco e della Fossa Calderaro. Solo nel tratto litoraneo permangono delle depressioni utilizzate industrialmente per la produzione del sale, protette dalle inondazioni con scogliere artificiali.

Nel bacino dei F. Lenzi, sul Fosso Baiata, ha funzionato dal 1968, con un intervallo per gli anni 1972 e 1973, la stazione idrometrica a Sapone. La stazione, posta a 44 m.s.m., sottende un bacino di circa 29 Km<sup>2</sup>, avente una altitudine media di 113 m.s.m. In base a 6 anni di osservazioni (1968-1971 e 1974-1975) risulta un deflusso medio annuo di 61 mm (pari a circa 1.8 Mmc) contro i 441 mm di precipitazione. Sempre dal 1968 sono state misurate a Sapone le portate solide; in base a 6 anni di osservazioni si è trovato un valore minimo, e massimo rispettivamente di 2, 96 e 452 T/Kmq.

- Torrente Forgia** - Il bacino del T. Forgia ricade nel versante settentrionale della Sicilia e si estende per circa 62 Km<sup>2</sup> interessando il territorio della provincia di Trapani. Il corso d'acqua nasce dalle pendici di M. Bosco e si sviluppa per circa 15 Km fino a sfociare nel Mar Tirreno. Nel bacino ricade l'abitato di Buseto Palizzolo e parzialmente il territorio dei comuni di Custonaci, Castellammare e Valderice. Il bacino del T. Forgia è uno dei bacini minori compresi tra il F. Freddo e il T. Lenzi. Lungo il suo sviluppo, il corso d'acqua non riceve affluenti di particolare importanza dal punto di vista della utilizzazione delle acque. Da un punto di vista geologico, il bacino imbrifero è impostato su terreni della serie plastica miocenica formati da argille marnose, argille scagliose, argille sabbiose e sabbie. Nel bacino del T. Forgia ha funzionato dal 1971 una stazione idrometrica a Lentina. La stazione, posta a 88 m.s.m., sottende un bacino di circa 46 Km<sup>2</sup> avente una altitudine media di 285 m.s.m. Il deflusso medio annuo misurato in base a 5 anni di osservazioni (dal 1971 al 1975) risulta di 120 mm (pari a circa 5.5 Mmc/anno), mentre la precipitazione risulta di 630 mm. Sempre nel 1971 sono state misurate a Lentina le portate solide. In base ai 5 anni di osservazioni risulta un valore minimo, medio e massimo di portata solida rispettivamente di 12.44 e 107 T/Kmq.

### 3.3 Permeabilità dei Terreni

Tenendo conto della complessità del quadro strutturale esistente nel territorio siciliano, caratterizzato dalla sovrapposizione di corpi geologici, talora sradicati dal proprio substrato, è possibile in funzione delle caratteristiche di permeabilità delle rocce, identificare diversi complessi idrogeologici. Di seguito verranno identificati quelli che interessano l'area oggetto di studio e le zone limitrofe:



- Complessi carbonatici (Trias superiore - Miocene inferiore)** - Affiorano nella parte occidentale, in nuclei discontinui prevalentemente costituiti da rocce dolomitiche e calcaree appartenenti ad unità stratigrafico-strutturali diverse, tra loro tettonicamente sovrapposte.
- Dominio delle unità Panormidi** - Le rocce di questo dominio affiorano interamente nella parte NordOccidentale dell'isola. Si tratta di calcari, calcari dolomitici, calcareniti, calcilutiti e brecce calcaree che formano un corpo geologico, spesso in alcuni punti un migliaio di metri, tettonicamente sovrapposto alle sottostanti unità Impresi e Trapanasi. Queste rocce molto permeabili per fessurazione e carsismo costituiscono un acquifero di notevole consistenza. Il drenaggio sotterraneo delle acque di infiltrazione si esplica in particolare verso NO e NE dando

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

luogo a numerose sorgenti sottomarine. L' infiltrazione efficace media annua è di 185 mm per valori di piovosità media annua dell'ordine dei 600 mm.

- **Dominio delle unità Trapanasi** - E' presente anch'esso nel settore Nord - occidentale, la sua porzione sepolta è stata raggiunta ed attraversata da alcuni pozzi per ricerche di idrocarburi che hanno messo in evidenza uno spessore di 3000 metri circa. La successione stratigrafica è data da calcari e dolomie triassico-liassiche cui seguono calcari pelagici (Rosso Ammonitico e scaglia) dell'intervallo Giurassico- Eocene, biocalcareni e calcareniti glauconitiche dell'intervallo Oligocene-Burdigaliano (che nell'insieme costituiscono il serbatoio carbonatico), ed infine le marne argillose di età Serravaliano-Tortoniano, che rappresentano insieme alle unità Impresi la copertura impermeabile. I depositi carbonatici di questo dominio sono molto permeabili per fessurazione e carsismo; l'infiltrazione efficace media annua è valutata in 160 mm per precipitazioni medie annue di 700 mm. I numerosi pozzi profondi che raggiungono questo serbatoio carbonatico testimoniano la presenza di acquiferi con salinità elevata (ad eccezione del pozzo Segesta).
- **Complesso argilloso-sabbioso-conglomeratico (Miocene medio-superiore)** - Presente in varie aree della Sicilia, con notevoli spessori (fino a 1000 mt) è costituito dal basso verso l'alto da argille marnose, arenarie, sabbie e conglomerati (Formazione di Terravecchia) sui quali si rinvergono calcari di scogliera passanti lateralmente a marne ed argille marnose. L'idrogeologia di questo dominio è abbastanza complessa data l'esistenza di livelli argillosi impermeabili interposti a quelli permeabili, arenacei conglomeratici e carbonatici.
- **Complesso dei depositi terrigeni e clastico carbonatici (Pliocene medio-Pleistocene)** - E' presente principalmente nel settore occidentale dell' Isola ed in particolare lungo le fasce costiere. In questo dominio si rinvergono depositi detritico-organogeni e terrigeni (calcareniti, conglomerati, sabbie con intercalazioni argillose), lo spessore massimo è a luoghi di circa 700 mt. I livelli detritici più grossolani possono contenere acquiferi di modesto spessore che non sembrano interferire con gli acquiferi carbonatici profondi mesozoici sottostanti. Nell' insieme questo complesso non presenta interesse ai fini idrogeologici.
- **Depositi recenti (Pleistocene)** - Sono rappresentati in prevalenza dai depositi alluvionali recenti, con potenze massime dell'ordine del centinaio di metri. Data l'estrema variabilità granulometria, rappresentano degli acquiferi multifalda, separati da livelli semipermeabili o impermeabili di interesse assai scarso per la ricerca idrogeologica.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

In base a queste considerazioni possiamo stabilire dei range di valori di permeabilità per le varie formazioni che si incontrano nell'area di studio:

- **1a classe : Terreni a permeabilità da molto bassa a nulla ( $K = 10^{-5} - 10^{-7}$  cm/sec)**  
A questa categoria appartengono F.ne del Flysh Numidico, F.ne di San Cipirello, la F.ne di Terravecchia.
- **2a classe : Terreni a permeabilità primaria per porosità ( $K = 10^{-3} - 10^{-5}$  cm/sec).** Appartengono a questa categoria le alluvioni che vengono alimentate dalle infiltrazioni locali e dai corsi d'acqua che le attraversano e il Detrito di Versante.
- **3a classe : Terreni a permeabilità primaria per porosità e secondaria per fratturazione ( $K = 10^{-2} - 10^{-3}$  cm/sec).** Appartengono a questa categoria F.ne di Terravecchia, Calcareniti Marsala, Terrazzi Marini sono caratterizzate da prevalente porosità primaria per porosità e secondariamente per fessurazione.
- **4a classe : Terreni a permeabilità prevalentemente secondaria per fratturazione e carsismo ( $K = 10^{-2} - 10^{-3}$  cm/sec)** In questa classe vengono incluse le formazioni calcaree composte da calcari, calcareniti, calcilutiti di varie età che si riscontrano sia in affioramento che nel substrato. I terreni appartenenti a questo tipo di acquifero presentano valori di permeabilità molto discontinui, in relazione oltre che alla variabilità della permeabilità dei singoli livelli, anche dal grado di permeabilità secondaria dell'ammasso roccioso. Infatti in corrispondenza degli allineamenti strutturali principali, con le numerose fratture a scala minore associate ad esse e delle numerose cavità di origine carsica, esistono grandi condizioni di permeabilità, che conferiscono alla circolazione sotterranea un andamento irregolare e discontinuo.

Vedi Carta Idrogeologica del Progetto Definitivo.

## 4 Inquadramento sismico dell'area e pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica, intesa in senso probabilistico, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un arco spazio temporale definito. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (per esempio: scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

La pericolosità sismica di base classifica il territorio su vasta scala al fine di programmare le attività di prevenzione e pianificazione delle emergenze.

Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa della pericolosità sismica realizzata nel 2004 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006).

Di seguito si riporta la carta di pericolosità sismica del territorio nazionale:

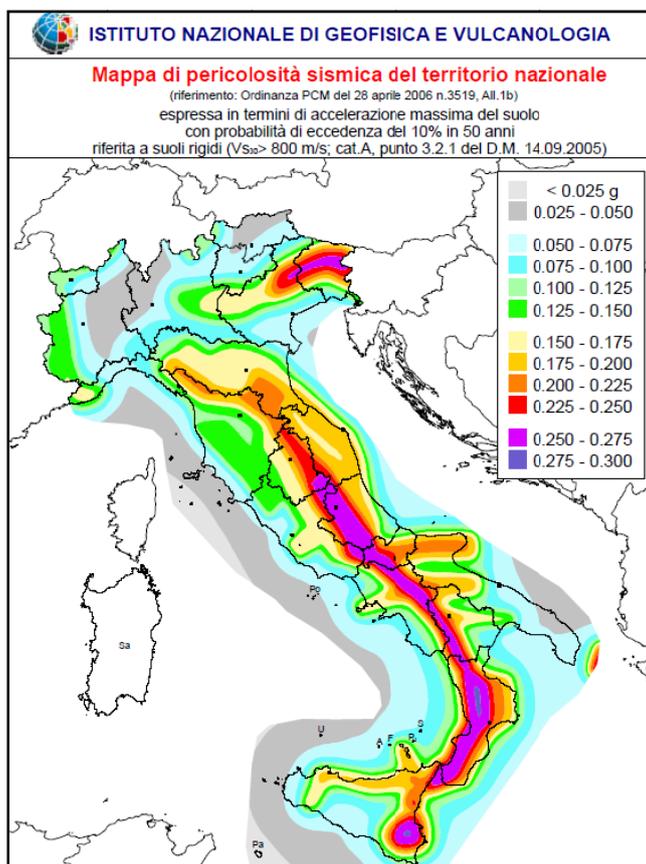


Figura 9 – Carta di pericolosità sismica del territorio nazionale (fonte INGV).

Secondo la mappa delle zone sismiche del 2003, che suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

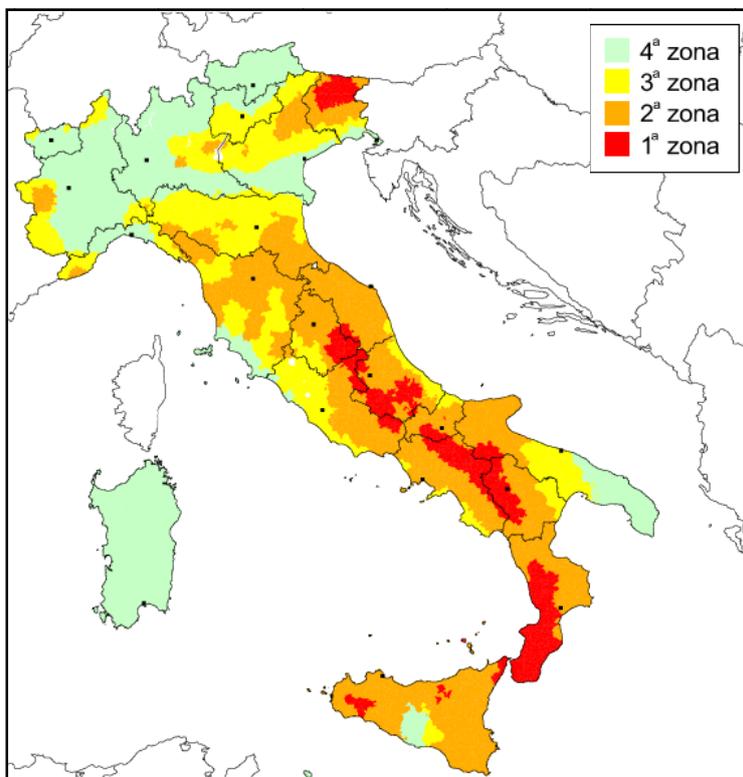


Figura 10 – Mappa delle zone sismiche del territorio nazionale del 2003 (fonte INGV).

Zona sismica	Descrizione
<b>Zona 1</b>	É la zona piú pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
<b>Zona 2</b>	<b>Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.</b>
<b>Zona 3</b>	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
<b>Zona 4</b>	É la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

I valori di accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) per le varie zone sismiche sono riportate nella tabella seguente:

zona sismica	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ )
<b>1</b>	$a_g > 0.25$
<b>2</b>	$0.15 < a_g \leq 0.25$
<b>3</b>	$0.05 < a_g \leq 0.15$
<b>4</b>	$a_g \leq 0.05$

I Comuni attraversati dalla tratta in questione sono stati tutti inseriti in zona 2. La presenza di substrato roccioso prossimo al piano campagna e localmente affiorante, congiuntamente allo spessore localmente ridotto e la natura della coltre legata all'alterazione del substrato, può dare origine a fenomeni di amplificazione stratigrafica. Alla luce delle analisi condotte (si veda oltre), data l'assenza di livelli sabbiosi immersi in falda, è possibile escludere fenomeni di liquefazione in occasione di eventuali eventi sismici. Dal punto di vista morfologico, la stessa zona risulta generalmente distante da orli di scarpate o da altri bruschi cambiamenti di pendenza tali da determinare un'amplificazione locale degli effetti sismici.

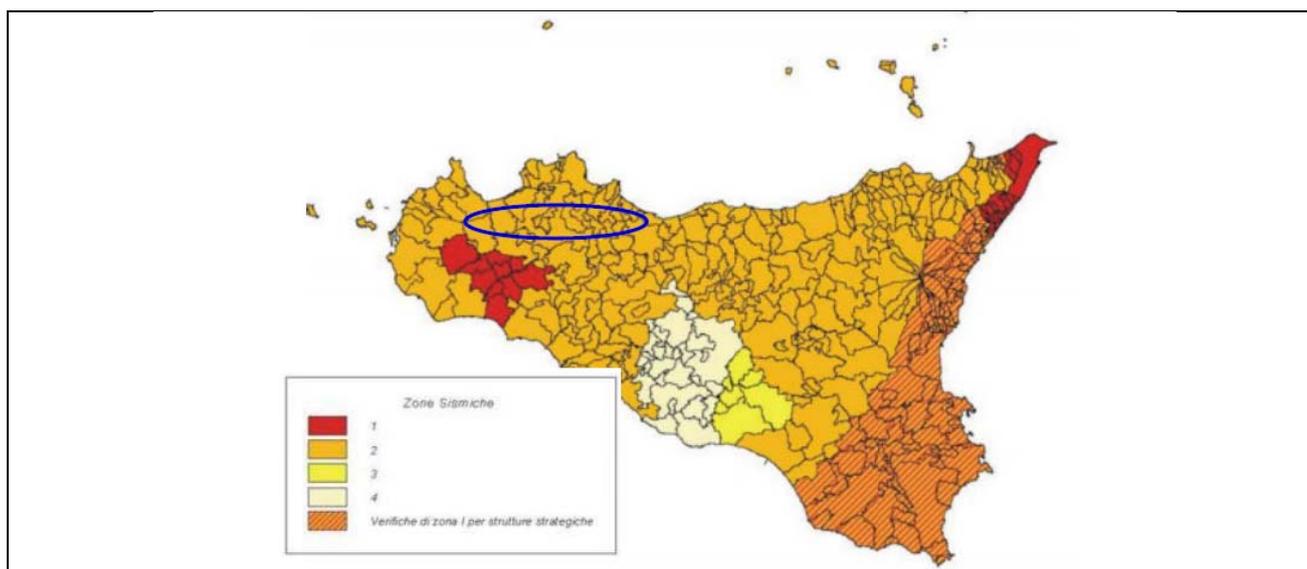


Figura 11 – Classificazione sismica della Regione Sicilia

In merito all'Ordinanza n. 3519/2006<sup>1</sup>, la località oggetto dell'intervento risulta compresa tra punti con accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (riferita a suoli rigidi caratterizzati da VS30 > 800 m/s) di **ag** compresa tra **0.050-0.075g** e **0.125-0.150g** (fig. 16).

<sup>1</sup>Ordinanza n. 3519 del 28.04.2006 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.

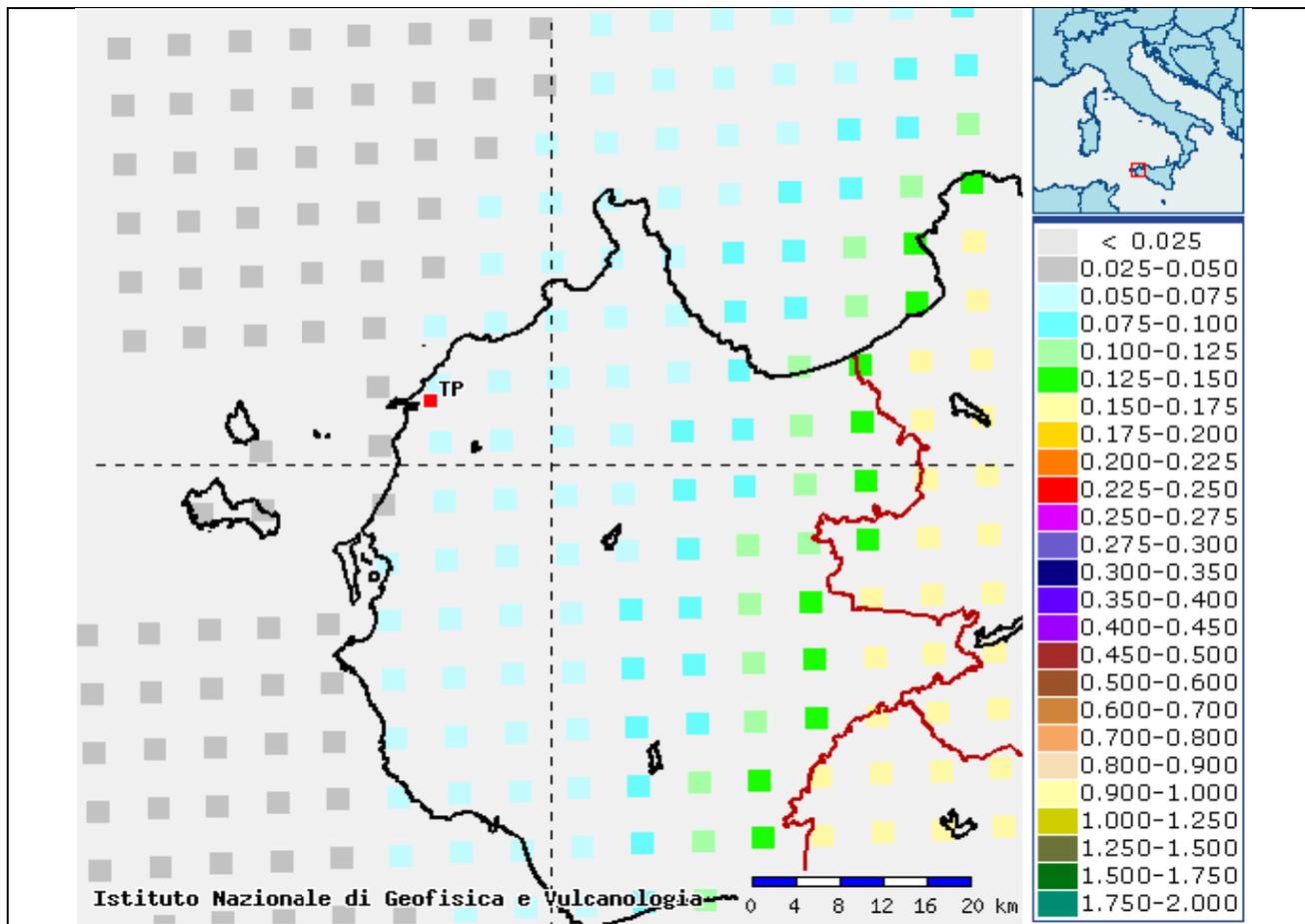


Figura 12 – Area Grafico riportante i punti della griglia riferiti al parametro  $a_g$  (mappe interattive di pericolosità sismica, INGV)

La sismicità della Sicilia occidentale e i dati di tettonica recente sono stati analizzati dall'OGS per affinare la zonazione sismogenetica di quest'area. L'analisi ha permesso di individuare, all'interno della zonazione adottata dal GNDT (fig. 17), "subzone" o aree caratterizzate da un differente comportamento sismotettonico. Nella zona sismogenetica 76 i terremoti sono localizzati principalmente tra Palermo e Termini Imerese (**ZS 76a - Area Tirrenica**). Per alcuni di questi, che interessano esclusivamente le località della costa, si ipotizzano sorgenti nel Tirreno. Tale sismicità potrebbe essere associata sia alle faglie trascorrenti del Sistema Sud-Tirrenico che alle strutture distensive responsabili del sollevamento della catena costiera. La zona sismogenetica 77 include aree con stili sismici differenti. La sismicità del settore più a nord (**ZS 77a - Area di Corleone**) si manifesta con sequenze sismiche di bassa energia. I pochi eventi conosciuti hanno aree di avvertibili limitate che indicano strutture sismogenetiche superficiali. Più a sud (**ZS 77b - Area del Belice**) sono localizzati gli eventi sismici del 1968, che possono essere associati sia con il proseguimento in terra della zona di trascorrenza presente nel Canale di Sicilia che a rotture lungo una rampa di thrust cieco al di sotto della sinclinale del Belice. I meccanismi focali proposti da vari autori mostrano soluzioni variabili da trascorrenti pure a transpressive a inverse pure, non permettendo di individuare specifiche strutture sismogenetiche. Lungo la costa meridionale, la sismicità si manifesta con sequenze sismiche di bassa energia ma di lunga durata che interessano quasi esclusivamente Sciacca (ZS

77c - Area di Sciacca), talvolta in concomitanza con l'attività vulcanica del Canale di Sicilia. Le caratteristiche degli eventi del settore costiero Egadi-Trapani-Mazara, precedentemente ricadenti in zona di background (ZS 91), hanno permesso di identificare una nuova zona sorgente (ZS 77d) associabile all'attività del Thrust delle Egadi o delle faglie che lo dislocano.

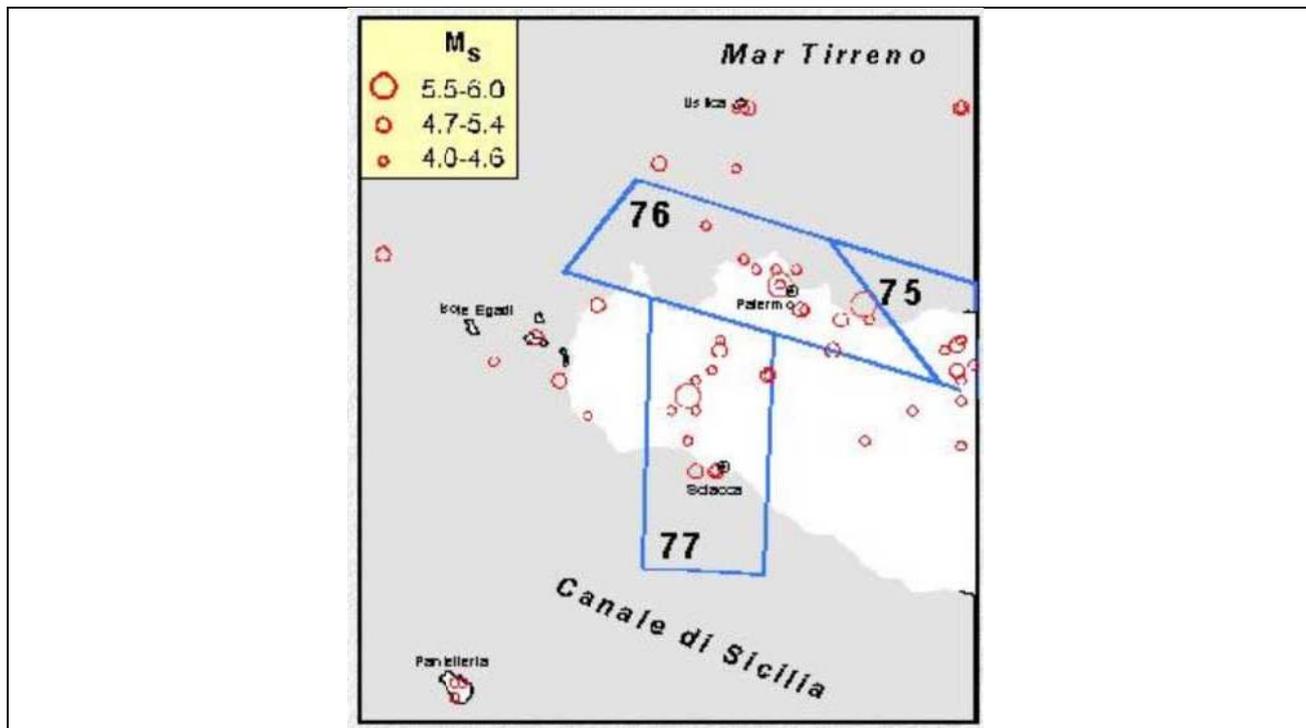


Figura 13 – Mappa delle zone sismogenetica ZS4 e sismicità dell'area dal 1000 al 1995

E' stato successivamente svolto uno studio più aggiornato che ha sostituito il perimetro delle zone sismogenetiche tracciate in precedenza (Fig.18). L'area risulta quindi esterna alla zona sismogenetica 934.

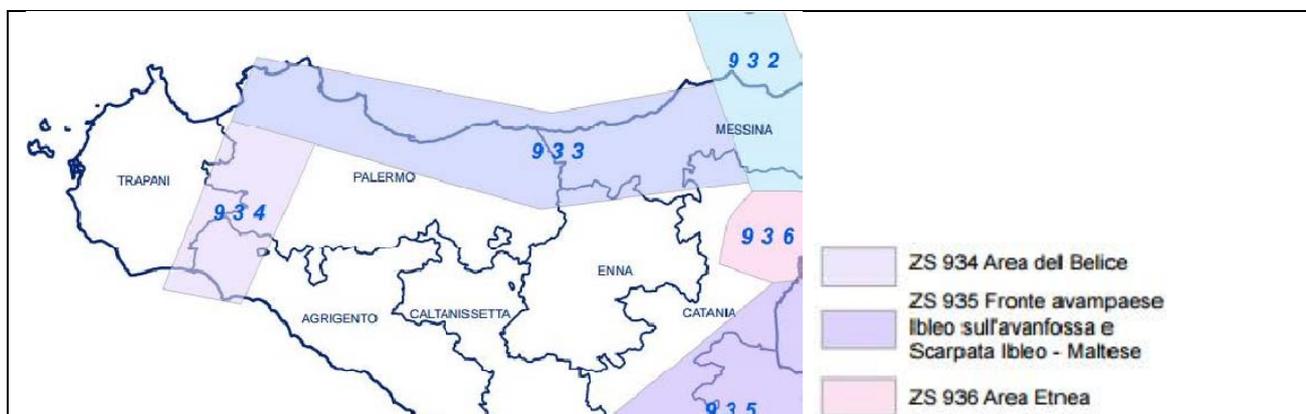


Figura 14 – Mappa delle zone sismogenetica ZS9

L'analisi della sismicità storica per l'area oggetto di studio è stata condotta consultando il Database Macrosismico Italiano DBMI15, 2015 (disponibile nel portale dell'INGV), da fonti storiche e informazioni reperibili in letteratura. Il DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani dal 1000 al 2014. Per ogni evento nel database è riportata l'indicazione della data, la descrizione dei danni subiti e la stima dell'Intensità macrosismica secondo la scala EMS98 (European Macroseismic Scale; Grünthal,1998). Il DBMI15 presenta le intensità adottando lo standard proposto da AHEAD, cioè numeri arabi interi e, nel caso di attribuzioni incerte si indicano i due estremi separati da un trattino (es.: 5-6, 7-8). Tale standard applica rigorosamente anche le indicazioni delle scale macrosismiche, secondo cui non è possibile assegnare un'intensità a edifici isolati o territori estesi, nei cui casi si altera l'intensità riportata dallo studio originale. Se le informazioni disponibili non sono considerate sufficienti per stimare un'intensità, è possibile adottare codici descrittivi come "D" per danno, o "F" per sentito ("Felt"). Di seguito si riportano gli eventi sismici per l'area in esame (provincia di Trapani) estratti dal Database Macrosismico Italiano 2015.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1542	12	10	15	15		Sicilia sud-orientale	32	10	6.68
5-6	1693	01	11	13	30		Sicilia sud-orientale	179	11	7.32
6-7	1726	09	01	21	55		Tirreno meridionale	8	7-8	5.48
3-4	1823	03	05	16	37		Sicilia settentrionale	107	8	5.81
F	1823	03	27				Isole Egadi	2	6-7	4.86
3	1893	05	11	14	10	3	Isola di Ustica	15	5	4.59
4-5	1897	05	15	13	42	3	Tirreno meridionale	35	5	4.52
3	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
2	1910	01	25	08	27		Tirreno meridionale	34	5	4.48
4	1940	01	15	13	19	2	Tirreno meridionale	60	7-8	5.29
5	1967	10	31	21	08	0	Monti Nebrodi	60	8	5.33
5	1968	01	15	01	33	0	Valle del Belice	15	8	5.37
6	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
6	1968	01	25	09	56	4	Valle del Belice	32	8	5.37
4	1968	02	12	16	26	0	Valle del Belice	14	6	4.66
3	1972	12	27	08	15	1	Valle del Belice	17	5-6	4.34
F	1976	10	12	04	26	1	Valle del Belice	11	5	4.41
5	1979	01	20	13	49	5	Tirreno meridionale	9		4.87
4	1980	05	28	19	51	2	Tirreno meridionale	44	5-6	5.66
4	1981	06	07	13	00	5	Mazara del Vallo	50	6	4.93
6	1995	05	29	06	52	2	Isole Egadi	45	5	4.78
3	1998	01	17	12	32	4	Golfo di Castellammare	21		4.83
NF	1999	12	30	18	34	3	Tirreno meridionale	29		4.83
2	2001	11	25	19	34	1	Monti Madonie	25	4-5	4.69
4-5	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92

Le intensità seguono la normalizzazione effettuata dal DBMI15 che seguono i codici riportati nelle tabelle A e B a seguire.

Codice	Val. ass.	Descrizione	MDP
RS	-	Registrazione strumentale. Osservazioni scartate	-
NR	-	Non riportato ( <i>Not Reported</i> ). Osservazioni scartate	-
W	-	Onde anomale, tsunami ( <i>sea Waves</i> ). Oss. scartate	-
E	-	Effetti ambientali ( <i>Environmental effects</i> ). Oss. scartate	-
G	0.2	Indicazione generica di danno a un sito	5
NF	1	Non percepito ( <i>Not Felt</i> )	24012
NC	1.8	Non classificato ( <i>Not Classified</i> )	111
SF	2.9	Percepito leggermente ( <i>Slightly Felt</i> )	49
F	3.9	Percepito ( <i>Felt</i> )	5146
HF	5.1	Percepito distintamente ( <i>Highly Felt</i> )	118
SD	5.6	Danno leggero ( <i>Slight Damage</i> )	22
D	6.4	Danno ( <i>Damage</i> )	679
HD	8.6	Danno grave ( <i>Heavy Damage</i> )	184

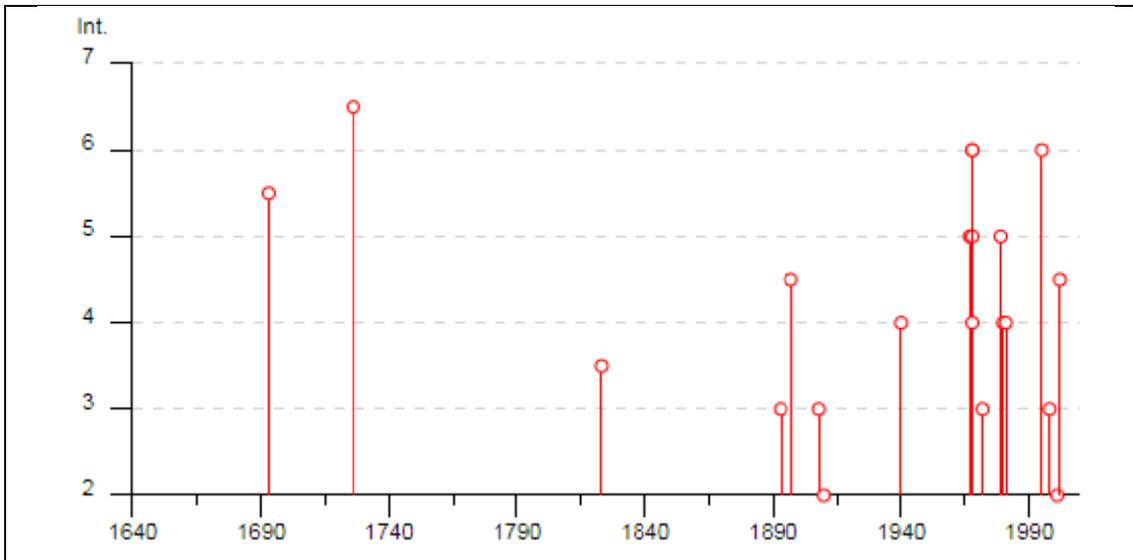
Tabella A: Normalizzazione delle intensità originali per tipologia di località particolari.  
Tra parentesi è indicato il valore numerico associato ad uso interno di DBMI.

Intensità originale	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	MDP
no SC											91116
AL											106
CQ											32
DL	NF	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	53
SS	(1)	(1.5)	(2)	(2.5)	(3)	(3.5)	(4)	(4.5)	(5)	(5.5)	241
MS											3603
UL											43
IB	NF			SF			F		HF	SD	87
TE	(1)			(2.9)			(3.9)		(5.1)	(5.6)	28

Intensità originale	6	6-7	7	7-8	8	8-9	9	9-10	10	10-11	MDP
no SC											20135
AL											42
CQ											12
DL	6	6-7	7	7-8	8	8-9	9	9-10	10	10-11	146
SS	(6)	(6.5)	(7)	(7.5)	(8)	(8.5)	(9)	(9.5)	(10)	(10.5)	207
MS											517
UL											33
IB			D								77
TE			(6.4)								25
											HD (8.6)

Tabella B: Normalizzazione delle intensità originali per tipologia di località particolari.  
Tra parentesi è indicato il valore numerico associato ad uso interno di DBMI.

Nel grafico sottostante si riportano gli andamenti delle intensità degli eventi sismici nel tempo, il grafico considera tutti i terremoti con intensità comprese tra 2 e 11 per un arco temporale dal 1640 al 2010.



 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

## 5 Indagini geognostiche e geofisiche progetto preliminare

Nell'area interessata dai lavori in oggetto è stato effettuato un rilievo di dettaglio geologico e dei dissesti in essere, compresa l'individuazione degli elementi morfologici ed idrogeologici. E' stato inoltre svolto un accurato studio a tavolino dei dati esistenti ed è stata pianificata una campagna geognostica, portata a termine nei primi mesi del 2016, finalizzata alla raccolta dei dati geotecnici necessari ai fini progettuali.

Nell'ambito della campagna geognostica condotta sono stati eseguiti **28 sondaggi a carotaggio continuo** con prelievo di campioni indisturbati. Sono state inoltre eseguite una serie di **Prove SPT** (Standard Penetration Test) al fine di parametrizzare il sito dal punto di vista geotecnico.

Sui campioni prelevati sono state eseguite 85 prove di laboratorio, del tipo:

- TG (prova di taglio),
- ELL (prova di espansione laterale libera),
- CD (prova triassiale confinata drenata),
- UU (prova triassiale non confinata non drenata).

Sui campioni di terreno prelevati dal corpo del rilevato sono state inoltre eseguite delle **prove di laboratorio** con lo scopo di verificare la possibilità di una eventuale stabilizzazione a calce per il miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno in sito, per un suo potenziale riutilizzo. In particolare sono state analizzati 18 campioni, eseguendo analisi granulometriche, determinazione dell'indice plastico, contenuto di sostanza organica e solfati.

Inoltre è stata eseguita anche una **campagna di indagini geofisiche** comprendente:

- n°5 tomografie sismiche
- n°17 Masw

I risultati delle indagini e prove eseguite sono riportate nel Rapporto tecnico sulle indagini e sui relativi elaborati di progetto.

## 6 Indagini geognostiche e geofisiche - Progetto definitivo

Per la redazione del progetto definitivo di riapertura della linea ferroviaria Palermo-Trapani (Via Milo) è stata condotta una nuova campagna di indagini geognostiche e geofisiche volte ad approfondire le caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni interessati dal tracciato in oggetto.

Le indagini sono state eseguite dal mese di ottobre 2017 a dicembre 2017, e i sondaggi sono stati effettuati a carotaggio continuo impiegando carotieri semplici (Craelius diametro 101 mm, lunghezze 3.0 m, 2.0 ed 1.50 m) e campionatori Denison (Nenzi NESGI) e Schelby. Laddove si è reso necessario l'uso di rivestimento si sono impiegati tubi di diametro 127 mm e lunghezza 1.50 m.

Nel corso delle perforazioni, oltre al prelievo di campioni indisturbati, si sono anche eseguite prove di resistenza meccanica (SPT) ed installati piezometri di Casagrande

In particolare sono stati realizzati **n°94 sondaggi geognostici** denominati in ordine progressivo con le sigla Sn1.

Le prove SPT sono state eseguite sui sondaggi S14, S16, S58, S61, S62, S63, S67, S68, S69, S75, S89, S98, dalle quali tramite correlazioni sono stati ricavati alcuni parametri geotecnici del terreno, in particolare:

- TIPOLOGIA LITOLOGICA DEL TERRENO
- GAMMA NATURALE  $\text{kN/m}^3$
- GAMMA SATURO  $\text{kN/m}^3$

- DENSITA' RELATIVA (%)
- ANGOLO DI ATTRITO
- TENSIONE EFFICACE VERTICALE
- TENSIONE EFFICACE TOTALE MODULO CONFINATO (N/mm<sup>2</sup>)
- RESISTENZA ALLA PUNTA Qc (N/mm<sup>2</sup>)
- MODULO DI YOUNG E25 (N/mm<sup>2</sup>)
- MODULO DI TAGLIO DINAMICO (N/mm<sup>2</sup>)
- CEDIMENTI Smax/Qamm (mm/(N/mm<sup>2</sup>))
- SFORZO CICLICO (N/mm<sup>2</sup>)

Sui campioni di terreno prelevati dai sondaggi sono state effettuate le seguenti **prove di laboratorio**:

- determinazione del contenuto di acqua del campione — ASTM D 2216-80;
- determinazione del peso per unità di volume — BS 1377;
- determinazione del peso specifico — ASTM D 854;
- granulometrica mediante sedimentazione (aerometria) e/o setacciatura - ASTM D 422;
- determinazione dei limiti di Atterberg — ASTM D 4318
- determinazione del limite di ritiro - ASTM D 427 - 04;
- prova di taglio diretto — ASTM D 3080;
- prova di consolidazione edometrica — ASTM D 2435;
- prova ad espansione laterale libera E.L.L — ASTM D 2166.

Infine ad integrazione delle indagini svolte per il progetto preliminare, è stata eseguita un' ulteriore campagna di **indagini geofisiche** (sismica passiva, tomografia sismica e tomografia elettrica 2D) per la redazione del progetto definitivo

Le indagini sono state realizzate dall'ottobre 2017 al dicembre 2017 ed hanno interessato l'intero tracciato ferroviario a partire dalla Stazione di Alcamo diramazione fino ad arrivare alla stazione di Trapani.

In particolare sono state eseguite:

-n°43 Remi

-n° 26 tomografie sismiche

-n°30 tomografie elettriche

Infine sono state effettuate delle **letture freaticometriche** tra Settembre e Ottobre 2018, che anche se non estese per un intervallo temporale sufficientemente rappresentativo, in accordo all'assetto litostratigrafico del sottosuolo, suggeriscono che il livello piezometrico si attesta grossomodo all'interno della formazione del Flysch Numidico o al contatto con le formazioni sovrastanti.

Piezometro	data lettura	Livello <sup>(1)</sup> (m)	note
S10i	28/09/2018	6.3	
S11i	01/10/2018	6.5	
S12i	01/10/2018	6.0	
S13i	28/09/2018	5.6	
S16i	28/09/2018	10.5	
S17i	28/09/2018	6.0	

S18i	01/10/2018	distrutto	
S21i	28/09/2018	3.6	
S22i	28/09/2018	4.4	
S24i	28/09/2018	1.3	
S39i	28/09/2018	1.9	protezione rotta
S45i	28/09/2018	1.2	
S59i	28/09/2018	1.5	
S61i	28/09/2018	5.4	
S62i	28/09/2018	6.9	
S65i	28/09/2018	2.3	
S66i	28/09/2018	1.9	protezione rotta
S67i	28/09/2018	7.7	
S69i	01/10/2018	distrutto	
S70i	28/09/2018	10.2	
S75i	01/10/2018	3.5	
S76i	01/10/2018	-	
S77i	01/10/2018	distrutto	
S89i	01/10/2018	4.3	tappo rotto
S96i	28/09/2018	distrutto	
S97i	28/09/2018	2.2	
S98i	28/09/2018	1.8	tappo rotto

**Letture piezometriche.**

(1) Il livello piezometrico riportato è riferito alla quota di testa del piezometro.

I risultati delle indagini geognostiche e geofisiche realizzate per il progetto definitivo sono riportate nel Rapporto tecnico sulle indagini e sui relativi elaborati di progetto.

Mentre l'ubicazione di tutte le indagini pregresse e del progetto definitivo sono riportate nelle Planimetrie di ubicazione delle indagini.

## 6.1 Indagini per la stabilizzazione a calce

Per verificare l'idoneità del materiale insito e costituente gli attuali rilevati, alla realizzazione dei rilevati stesi sono state realizzate delle apposite analisi geotecniche sui campioni di materiale prelevato.

In fase di progetto preliminare RFI ha eseguito 18 campionamenti ambientali sul materiale argilloso dei rilevati, di questi 13 evidenziavano l'idoneità al trattamento a calce (pari a circa il 72%);

In fase di progetto definitivo, con lo stesso scopo, RFI ha eseguito una serie di saggi con escavatore ai lati dei rilevati di maggiore altezza; l'obiettivo era quello di prelevare campioni di materiale argilloso per valutarne la possibilità di trattarlo a calce, è invece emerso che fino alla profondità di 1.00 - 1.50 metri sono presenti materiali aridi da rilevato, a prima vista idonei al riuso tal quali.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

## 7 Categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018

Per la definizione dell' azione sismica di progetto, l' effetto della risposta sismica locale, si valuta mediante specifiche analisi (cap. 7.11.3 delle NTC 2018), oppure si può fare riferimento all' approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

Nello specifico, ai fini della classificazione del sottosuolo, con le nuove norme tecniche si fa riferimento alla  **$V_{s,eq}$**  velocità equivalente delle onde di taglio, e non più alla  $V_{s,30}$  (NTC2008).

La velocità  $V_{s,eq}$  è definita dalla seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo;

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/sec.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato viene riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità viene riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

 <b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	<b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b>  Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
304817_S01_PD_TG - _02_000_E0001	Relazione geologica ed idrogeologica

Le categorie di sottosuolo per le quali è possibile il ricorso all'approccio semplificato, secondo le NTC 2018; nella determinazione della risposta sismica locale sono le seguenti:

<b>CATEGORIA</b>	<b>CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICHE</b>
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.

Rispetto alle NTC 2008 sono state eliminate le categorie aggiuntive S1 e S2 ed è stata ridefinita la categoria di sottosuolo E.

Per tutti i terreni non classificabili nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale per la definizione dell'azione sismica.

La caratterizzare la risposta sismica del sito in esame, è stata effettuata sulla base delle risultanze delle acquisizioni sismiche di tipo MASW realizzate durante la campagna geognostica per il Progetto Prelimare 2016.

In generale gran parte dei terreni ricadono in categoria C ed E.

Per quando riguarda le condizioni topografiche, il territorio in oggetto presenta caratteristiche tali da ricadere nella categoria topografica T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ).

Per la caratterizzazione sismica del sito si rimanda alla Relazione Sismica del progetto definitivo.

 <p><b>RFI</b> RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p><b>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</b></p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG- -_02_000_E0001</p>	<p>Relazione geologica ed idrogeologica</p>

## 8 Caratterizzazione Geotecnica

Nella ricerca di una rappresentazione sintetica, ma sufficientemente approssimata, della natura e delle caratteristiche del sottosuolo che si rinviene lungo il tracciato ferroviario, si sono definite 2 unità geotecniche distinte, denominate UG1 e UG2.

La loro descrizione litologica si è ottenuta semplificando e sintetizzando quella molto dettagliata dei rapporti di perforazione e di laboratorio, sulla base delle osservazioni dirette delle carote e dei campioni, ponendo in evidenza i caratteri essenziali e più facilmente individuabili. Le superfici di separazione dei diversi terreni sono state individuate utilizzando le descrizioni litologiche riportate nei log stratigrafici e la documentazione fotografica delle carote estratte.

Si sottolinea che, dall'esame dei log stratigrafici lungo tutto il tracciato, apparentemente, si rileva la mancanza di una correlazione tra la geologia di superficie e i log stessi, con riferimento alle unità geologiche Mc, Sc, TRV1 e Tm. Tale incongruenza non risulta comunque rilevante in relazione alle finalità del progetto; si ritiene, pertanto, che i dati a disposizione costituiscano una base consistente sulla quale impostare la caratterizzazione geotecnica.

**L'Unità Geotecnica 2** rappresenta la porzione più consistente, e profonda, dell'unità geologica del Flysh Numidico (FLY), mentre **L'Unità Geotecnica 1** ne rappresenta la parte meno consistente, più superficiale, alla quale sono stati accorpati, da un punto di vista geotecnico, sulla base dei risultati delle prove di identificazione e classificazione e meccaniche, le alluvioni recenti ed attuali. Inoltre, una suddivisione preliminare dei dati sperimentali a disposizione per tratte lungo il tracciato, non ha evidenziato una sostanziale variabilità e, pertanto, la caratterizzazione è stata impostata sulla base della totalità dei dati. Entrambe le unità presentano una natura limoso – argillosa.

In particolare, i terreni afferenti alla UG1 hanno in prevalenza un limite liquido  $w_L$  maggiore del 50% e un contenuto d'acqua prossimo al limite plastico  $w_p$ . (l'indice di consistenza è inferiore o di poco superiore all'unità, denotando una consistenza solido – plastica). I terreni appartenenti alla UG2 presentano, invece, un limite liquido compreso tra il 30 % e il 50% e un contenuto d'acqua inferiore al limite plastico (l'indice di consistenza è superiore all'unità denotando una consistenza semisolido – solida).

Le unità geologiche per le quali si è rilevata un'incongruenza con i dati provenienti dai sondaggi sono state raggruppate in due ulteriori unità geotecniche, denominate UG3 e UG4, alle quali sono stati assegnati parametri geotecnici variabili entro un intervallo che è stato definito sulla base di dati reperiti in letteratura. In particolare, l'Unità Geotecnica 4 raggruppa le calcilutiti marnose tipo "Scaglia" (Sc) e i depositi marnosi e argilloso – marnosi della Formazione di San Cripello (Mc), mentre all'unità Geotecnica 3 sono stati associati i depositi di natura calcarenitica e sabbioso – conglomeratica ascrivibili ai terrazzi marini (Tm) e la litofacies sabbioso – arenaceo – conglomeratica della Formazione di Terravecchia (TRV1).

Il peso dell'unità di volume e le proprietà meccaniche, di resistenza al taglio e deformabilità, impiegate nelle analisi di maggiore influenza nell'impostazione generale del progetto, sono riassunte nella Tabelle seguenti, per le due unità definite sopra.

Parametro	Valore Caratteristico
Peso dell'unità di volume, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.5
Angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ (°)	19.0
Coesione efficace, $c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	22.0
Resistenza al taglio non drenata, $c_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	110
Modulo di Young, $E'$ (N/mm <sup>2</sup> )	60

*Parametri geotecnici caratteristici UG1.*

Parametro	Valore Caratteristico
Peso dell'unità di volume, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.0
Angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ (°)	21.0
Coesione efficace, $c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	20.0
Resistenza al taglio non drenata, $c_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	150
Modulo di Young, $E'$ (N/mm <sup>2</sup> )	75

*Parametri geotecnici caratteristici UG2.*

Parametro	Valore caratteristico
Peso dell'unità di volume, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.0 ÷ 20.0
Angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ (°)	30.0 ÷ 34.0
Coesione efficace, $c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	0.0
Modulo di Young, $E'$ (N/mm <sup>2</sup> )	20 ÷ 30

*Parametri geotecnici caratteristici UG3*

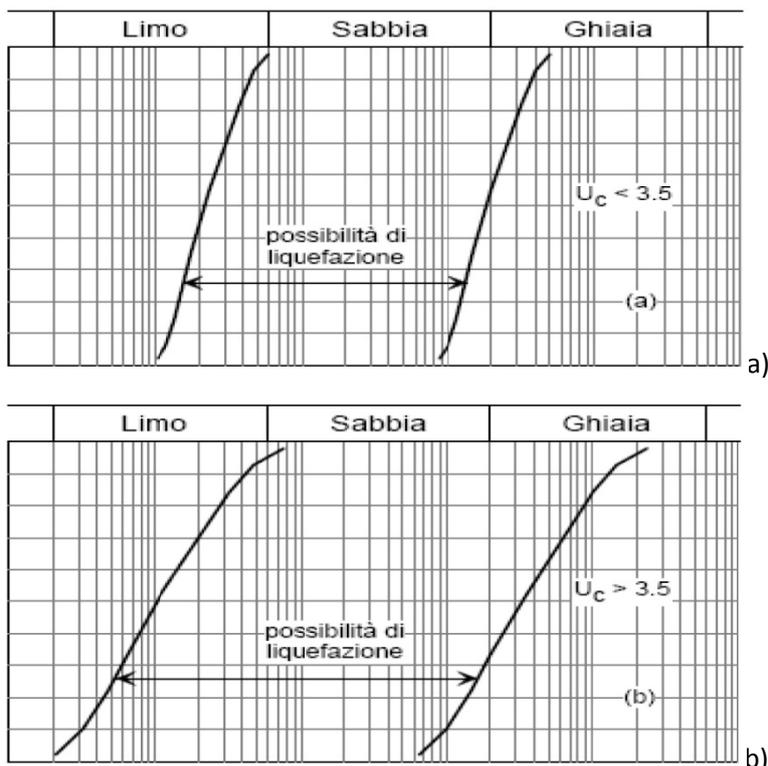
Parametro	Valore caratteristico
Peso dell'unità di volume, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21.0 ÷ 23.0
Angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ (°)	30.0 ÷ 35.0
Coesione efficace, $c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	60.0 ÷ 150.0
Modulo di Young, $E'$ (N/mm <sup>2</sup> )	100 ÷ 150

*Parametri geotecnici caratteristici UG4*

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geotecnica e al Profilo Geotecnico del Progetto Definitivo.

## 9 Valutazione Della Suscettibilità A Liquefazione Dei Terreni

Analizzando le curve granulometriche dei campioni prelevati dai sondaggi geognostici si evince che questi presentano una distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



Fusi granulometrici per terreni suscettibili di liquefazione (a -  $U_c < 3.5$ ; b -  $U_c > 3.5$ ).

In particolare i campioni sono caratterizzati da una percentuale di fini (FC) sempre molto maggiori del 15%, con elevati tenori di argilla, come si osserva dalle tabelle seguenti, dove sono riassunte le caratteristiche granulometriche dei campioni (distinti per unità geotecniche 1 e 2).

Sondaggio	Campione	Prof. da	Prof. a	Prof.	G	S	L	A	FC
		(m)	(m)	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S23	C2	13,00	13,30	13,20	18,00	30,00	20,00	32,00	52,00
S25	C1	5,00	5,30	5,20	0,00	18,00	48,00	34,00	82,00
S26	C1	5,00	5,30	5,20	4,00	14,00	46,00	36,00	82,00
S27	C1	5,00	5,30	5,20	0,00	28,00	28,00	44,00	72,00
S29	C1	4,00	4,30	4,20	2,00	16,00	28,00	54,00	82,00
S29	C2	9,50	9,80	9,70	0,00	14,00	44,00	42,00	86,00
S30	C1	5,00	5,50	5,20	2,00	18,00	28,00	52,00	80,00
S31	C1	7,00	7,30	7,20	0,00	10,00	32,00	58,00	90,00
S31	C2	13,70	14,00	13,90	0,00	16,00	40,00	44,00	84,00

S32	C2	12,50	12,80	12,70	0,00	12,00	36,00	52,00	88,00
S33	C2	12,50	12,80	12,70	2,00	6,00	40,00	52,00	92,00
S45i	C1	3,00	3,40	3,20	0,00	30,00	26,00	44,00	70,00
S46i	C1	3,30	3,70	3,50	0,00	28,00	26,00	46,00	72,00
S47i	C1	3,00	3,50	3,30	0,00	22,00	32,00	46,00	78,00
S49i	C1	1,70	2,00	1,90	0,00	18,00	46,00	36,00	82,00
S50i	C1	3,00	3,50	3,30	0,00	24,00	42,00	34,00	76,00
S52i	C1	2,50	4,00	3,30	0,00	18,00	34,00	48,00	82,00
S52i	C2	4,50	4,90	4,70	0,00	18,00	48,00	34,00	82,00
S54i	C1	4,50	5,00	4,80	0,00	20,00	28,00	52,00	80,00
S57i	C1	3,00	3,50	3,30	0,00	18,00	26,00	56,00	82,00
S58i	C1	3,00	3,40	3,20	2,00	22,00	28,00	48,00	76,00
S58i	C2	8,50	9,00	8,80	0,00	28,00	28,00	44,00	72,00
S59i	C1	2,50	3,00	2,80	10,00	14,00	30,00	46,00	76,00
S65i	C1	3,50	4,00	3,80	0,00	16,00	40,00	44,00	84,00
S66i	C1	4,50	5,00	4,80	0,00	12,00	44,00	44,00	88,00
S67i	C1	3,00	3,50	3,30	2,00	22,00	36,00	40,00	76,00
S69i	C1	3,00	3,50	3,30	0,00	14,00	44,00	42,00	86,00
S70i	C1	3,00	3,50	3,30	0,00	18,00	36,00	46,00	82,00
S71i	C1	1,00	1,50	1,30	0,00	22,00	34,00	44,00	78,00
S72i	C1	4,00	4,50	4,30	0,00	16,00	38,00	46,00	84,00
S74i	C1	1,30	1,70	1,50	0,00	12,00	44,00	44,00	88,00
S75i	C1	2,70	3,20	3,00	0,00	14,00	36,00	50,00	86,00
S79i	C1	1,20	1,70	1,50	0,00	16,00	40,00	44,00	84,00
S80i	C1	3,00	3,50	3,30	0,00	16,00	42,00	42,00	84,00
S81i	C1	4,00	4,50	4,30	0,00	22,00	28,00	50,00	78,00
S88i	C1	4,00	4,50	4,30	6,00	26,00	26,00	42,00	68,00
S89i	C1	4,00	4,50	4,30	2,00	24,00	24,00	50,00	74,00
S90i	C1	4,50	5,00	4,80	4,00	30,00	24,00	42,00	66,00
S91i	C1	6,50	7,00	6,80	2,00	24,00	38,00	40,00	78,00
S92i	C1	5,50	6,00	5,80	6,00	22,00	34,00	38,00	72,00
S93i	C1	5,50	6,00	5,80	0,00	16,00	36,00	48,00	84,00
S93i	C2	11,50	12,00	11,80	0,00	10,00	58,00	32,00	90,00
S21	C2	7,00	7,30	7,20	4,00	26,00	20,00	50,00	70,00
S22	C2	9,00	9,30	9,20	0,00	12,00	58,00	30,00	88,00
S31i	C1	4,00	4,50	4,30	2,00	26,00	32,00	40,00	72,00
S32i	C1	3,70	4,20	4,00	0,00	28,00	30,00	42,00	72,00
S38i	C1	2,60	3,00	2,80	2,00	12,00	48,00	38,00	86,00
S39i	C1	2,00	2,50	2,30	4,00	24,00	40,00	32,00	72,00

S41i	C1	4,00	4,50	4,30	0,00	32,00	24,00	44,00	68,00
S42i	C1	3,00	3,50	3,30	0,00	16,00	30,00	54,00	84,00
S4	C1	4,00	4,30	4,10	0,00	64,00	28,00	8,00	36,00
S5	C1	8,00	8,30	8,20	0,00	48,00	34,00	18,00	52,00
S6	C2	8,00	8,30	8,20	0,00	32,00	34,00	34,00	68,00
S7	C2	12,00	12,30	12,20	0,00	14,00	40,00	46,00	86,00
S8	C2	11,50	11,80	11,70	0,00	26,00	28,00	46,00	74,00
S11	C1	4,00	4,30	4,20	0,00	16,00	32,00	52,00	84,00
S12	C1	3,00	3,30	3,20	30,00	30,00	24,00	16,00	40,00
S13	C1	4,00	4,30	4,20	2,00	8,00	46,00	44,00	90,00
S29i	C1	2,50	3,00	2,80	0,00	16,00	32,00	52,00	84,00
S30i	C1	3,20	3,70	3,50	2,00	18,00	28,00	52,00	80,00
S1i	C1	3,20	3,70	3,50	0,00	20,00	58,00	22,00	80,00
S7i	C1	5,00	5,50	5,30	0,00	14,00	44,00	42,00	86,00
S12i	C1	3,30	3,80	3,60	6,00	40,00	22,00	32,00	54,00
S3	C2	5,00	5,50	5,20	2,00	24,00	26,00	48,00	74,00
S16i	C1	3,00	3,40	3,20	14,00	36,00	22,00	28,00	50,00
S17i	C1	2,80	3,30	3,10	0,00	10,00	38,00	52,00	90,00
S18i	C1	2,70	3,20	3,00	0,00	10,00	38,00	52,00	90,00
S96i	C2	11,50	12,00	11,80	0,00	24,00	36,00	40,00	76,00

**Frazioni granulometriche UG1**

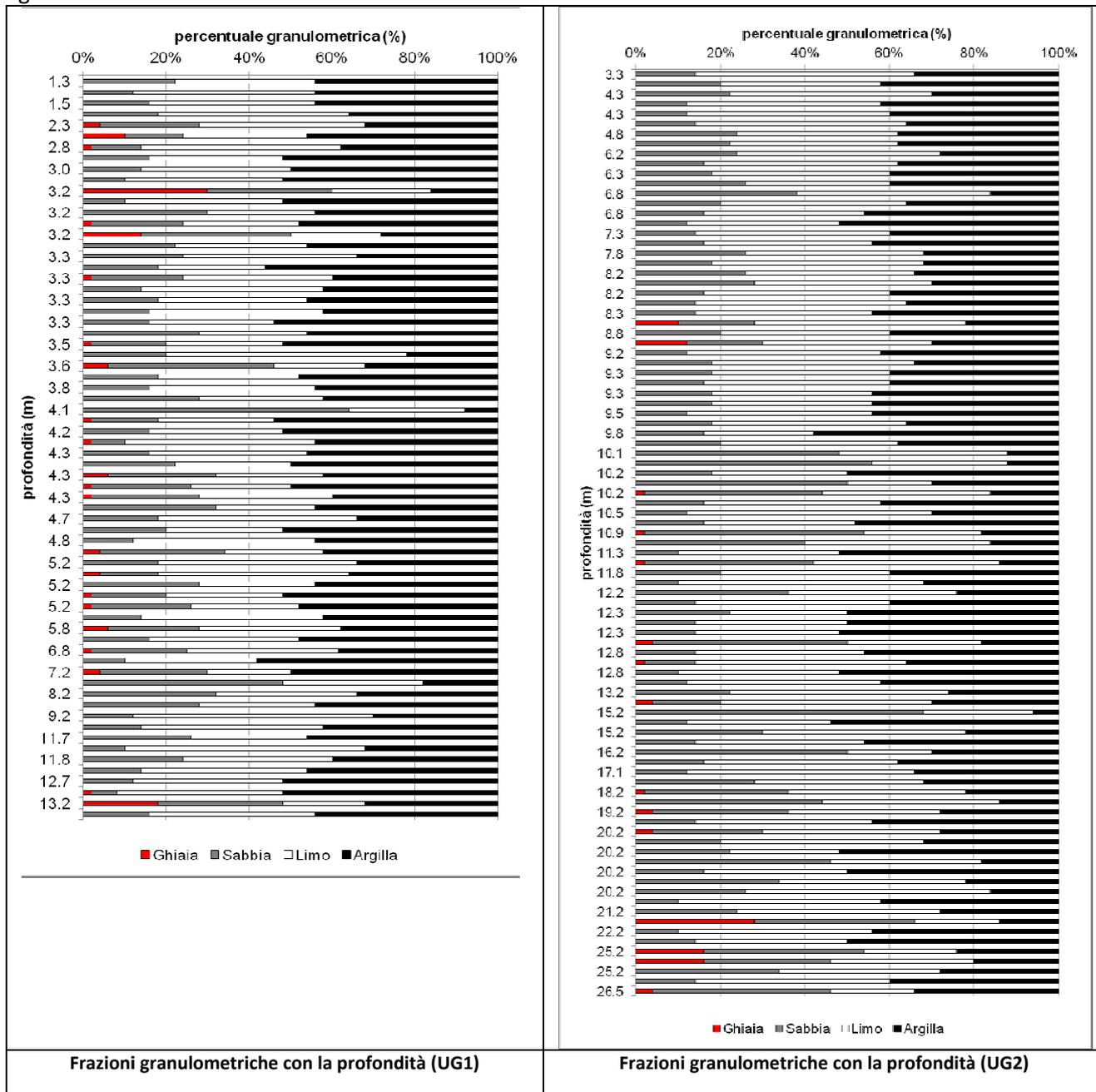
Sondaggio	Campione	Prof. da	Prof. a	Prof.	G	S	L	A	FC
		(m)	(m)	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S87i	C1	3,00	3,50	3,30	0,00	14,00	52,00	34,00	86,00
S51i	C1	4,00	4,50	4,30	0,00	22,00	48,00	30,00	78,00
S73i	C1	4,00	4,50	4,30	0,00	12,00	46,00	42,00	88,00
S82i	C1	4,00	4,50	4,30	0,00	12,00	48,00	40,00	88,00
S53i	C1	4,50	5,00	4,80	0,00	14,00	50,00	36,00	86,00
S59i	C2	6,00	6,40	6,20	0,00	22,00	40,00	38,00	78,00
S71i	C2	6,00	6,40	6,20	0,00	24,00	48,00	28,00	76,00
S72i	C2	6,00	6,40	6,20	0,00	16,00	46,00	38,00	84,00
S86i	C1	6,00	6,50	6,30	0,00	18,00	42,00	40,00	82,00
S57i	C2	6,50	7,00	6,80	0,00	38,00	46,00	16,00	62,00
S84i	C2	6,50	7,00	6,80	0,00	20,00	44,00	36,00	80,00
S76i	C1	7,00	7,50	7,30	0,00	12,00	36,00	52,00	88,00
S85i	C2	7,00	7,50	7,30	0,00	14,00	46,00	40,00	86,00
S87i	C2	7,50	8,00	7,80	0,00	26,00	42,00	32,00	74,00
S60i	C2	8,00	8,40	8,20	0,00	26,00	40,00	34,00	74,00
S65i	C2	8,00	8,50	8,30	0,00	14,00	50,00	36,00	86,00

S67i	C2	13,00	3,50	8,30	0,00	14,00	42,00	44,00	86,00
S45i	C2	8,50	8,80	8,70	10,00	18,00	50,00	22,00	72,00
S50i	C2	8,50	9,00	8,80	0,00	20,00	40,00	40,00	80,00
S54i	C2	9,00	9,30	9,20	12,00	18,00	40,00	30,00	70,00
S47i	C2	9,00	9,50	9,30	0,00	18,00	48,00	34,00	82,00
S63i	C2	9,00	9,50	9,30	0,00	18,00	42,00	40,00	82,00
S82i	C2	9,00	9,50	9,30	0,00	16,00	44,00	40,00	84,00
S66i	C2	9,30	9,70	9,50	0,00	12,00	44,00	44,00	88,00
S78i	C2	9,50	10,00	9,80	0,00	16,00	26,00	58,00	84,00
S89i	C2	9,50	10,00	9,80	0,00	20,00	42,00	38,00	80,00
S25	C2	10,00	10,20	10,10	0,00	48,00	40,00	12,00	52,00
S27	C2	10,70	11,00	10,90	2,00	52,00	28,00	18,00	46,00
S90i	C2	11,00	11,50	11,30	0,00	10,00	38,00	52,00	90,00
S76i	C2	11,50	12,00	11,80	0,00	20,00	40,00	40,00	80,00
S93i	C2	11,50	12,00	11,80	0,00	10,00	58,00	32,00	90,00
S52i	C3	12,00	12,50	12,30	0,00	14,00	46,00	40,00	86,00
S68i	C2	12,00	12,50	12,30	0,00	22,00	28,00	50,00	78,00
S69i	C2	12,00	12,50	12,30	0,00	14,00	36,00	50,00	86,00
S91i	C2	12,00	12,50	12,30	0,00	14,00	34,00	52,00	86,00
S70i	C2	12,50	13,00	12,80	0,00	14,00	40,00	46,00	86,00
S24	C2	13,00	13,30	13,20	0,00	22,00	52,00	26,00	78,00
S26	C2	13,70	14,00	13,90	4,00	16,00	50,00	30,00	80,00
S58i	C3	15,00	15,40	15,20	0,00	30,00	48,00	22,00	70,00
S92i	C2	15,00	15,50	15,30	0,00	14,00	40,00	46,00	86,00
S26	C3	17,50	18,00	17,80	0,00	28,00	40,00	32,00	72,00
S28	C3	19,00	19,30	19,20	4,00	32,00	36,00	28,00	64,00
S31	C3	19,00	19,30	19,20	0,00	14,00	42,00	44,00	86,00
S24	C3	20,00	20,30	20,20	4,00	26,00	42,00	28,00	70,00
S23	C3	20,00	20,40	20,20	0,00	26,00	58,00	16,00	74,00
S29	C3	21,00	21,30	21,20	0,00	24,00	48,00	28,00	76,00
S32	C3	24,00	24,30	24,20	0,00	14,00	36,00	50,00	86,00
S25	C3	25,00	25,30	25,20	16,00	38,00	22,00	24,00	46,00
S27	C3	25,00	25,30	25,20	16,00	30,00	34,00	20,00	54,00
S33	C3	25,00	25,30	25,20	0,00	34,00	38,00	28,00	66,00
S43i	C1	4,50	5,00	4,80	0,00	24,00	38,00	38,00	76,00
S34i	C2	6,00	6,50	6,30	0,00	26,00	34,00	40,00	74,00
S38i	C2	6,50	7,00	6,80	0,00	16,00	38,00	46,00	84,00
S31i	C2	8,00	8,40	8,20	0,00	28,00	42,00	30,00	72,00
S36i	C2	9,00	9,50	9,30	0,00	18,00	38,00	44,00	82,00

S41i	C2	10,30	10,70	10,50	0,00	12,00	58,00	30,00	88,00
S19	C3	15,00	15,30	15,20	0,00	68,00	26,00	6,00	32,00
S20	C2	16,40	16,70	16,60	0,00	16,00	46,00	38,00	84,00
S22	C3	20,00	20,30	20,20	0,00	20,00	48,00	32,00	80,00
S21	C3	20,50	20,80	20,70	0,00	10,00	48,00	42,00	90,00
S20	C3	26,30	26,60	26,50	4,00	42,00	20,00	34,00	54,00
S28i	C1	4,00	4,40	4,20	0,00	20,00	38,00	42,00	80,00
S29i	C2	7,50	8,00	7,80	0,00	18,00	50,00	32,00	82,00
S13	C2	9,00	9,30	9,20	0,00	12,00	46,00	42,00	88,00
S30i	C2	9,30	9,70	9,50	0,00	18,00	46,00	36,00	82,00
S10	C3	10,00	10,30	10,20	0,00	56,00	32,00	12,00	44,00
S11	C2	10,00	10,30	10,20	0,00	18,00	32,00	50,00	82,00
S12	C2	10,00	10,30	10,20	0,00	50,00	20,00	30,00	50,00
S5	C2	10,00	10,30	10,20	2,00	42,00	40,00	16,00	56,00
S6	C3	11,00	11,30	11,20	0,00	40,00	44,00	16,00	60,00
S4	C2	11,20	11,50	11,40	2,00	40,00	44,00	14,00	58,00
S9	C3	12,50	12,80	12,70	4,00	46,00	32,00	18,00	50,00
S13	C3	15,00	15,30	15,20	0,00	12,00	34,00	54,00	88,00
S12	C3	16,00	16,30	16,20	0,00	50,00	20,00	30,00	50,00
S7	C3	17,00	17,20	17,10	0,00	12,00	54,00	34,00	88,00
S5	C3	18,00	18,30	18,20	2,00	34,00	42,00	22,00	64,00
S4	C3	18,80	19,00	18,90	0,00	44,00	42,00	14,00	56,00
S11	C3	20,00	20,30	20,20	0,00	22,00	26,00	52,00	78,00
S6	C4	20,00	20,30	20,20	0,00	46,00	36,00	18,00	54,00
S8	C3	20,00	20,30	20,20	0,00	16,00	34,00	50,00	84,00
S9	C4	21,00	21,30	21,20	28,00	38,00	20,00	14,00	34,00
S7	C4	22,00	22,30	22,20	0,00	10,00	46,00	44,00	90,00
S8	C4	25,00	25,30	25,20	0,00	14,00	46,00	40,00	86,00
S6i	C1	7,00	7,50	7,30	0,00	16,00	40,00	44,00	84,00
S6i	C2	12,50	13,00	12,80	2,00	12,00	50,00	36,00	86,00
S7i	C2	10,50	11,00	10,80	0,00	16,00	36,00	48,00	84,00
S12i	C2	10,00	10,50	10,30	0,00	16,00	42,00	42,00	84,00
S3	C3	12,00	12,30	12,20	0,00	36,00	40,00	24,00	64,00
S3	C4	20,00	20,30	20,20	0,00	34,00	44,00	22,00	66,00
S17i	C2	8,00	8,40	8,20	0,00	16,00	44,00	40,00	84,00
S18i	C2	9,00	9,50	9,30	0,00	18,00	38,00	44,00	82,00
S97i	C2	12,50	13,00	12,80	0,00	10,00	38,00	52,00	90,00
S98i	C3	12,50	13,00	12,80	0,00	12,00	46,00	42,00	88,00

Frazioni granulometriche UG2

Nella figura sottostante si riporta l'andamento con la profondità delle frazioni granulometriche per le unità geotecniche 1 e 2.



In base a tali considerazioni possiamo escludere che vi sia il rischio di liquefazione.