

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## LINEA CATANIA - SIRACUSA

### DIREZIONE TECNICA

S.O. Geologia Tecnica, dell'Ambiente e del Territorio

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

Collegamento ferroviario con il Porto di Augusta

### RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS62 00 R 69 RG GE0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ARES	Novembre 2022	M. Scarpelli <i>Mario Scarpelli</i>	Novembre 2022	P. Carlesimo <i>Carlesimo</i>	Novembre 2022	M. COMEDINI Novembre 2020
								 <i>Massimo Comedini</i>

## INDICE

1	PREMESSA .....	7
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	8
2.1	NORMATIVA NAZIONALE E TECNICA.....	8
2.2	NORMATIVA COMUNITARIA.....	8
2.3	NORMATIVA REGIONALE .....	8
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	9
4	DATI DI BASE .....	10
4.1	ALLEGATI.....	10
4.2	DOCUMENTAZIONE PREGRESSA .....	10
5	SINTESI DELLE PECULIARITÀ GEOLOGICHE EMERSE DALLO STUDIO .....	12
5.1	PECULIARITÀ GEOLOGICO-TECNICHE.....	12
5.2	PECULIARITÀ GEOMORFOLOGICHE .....	13
5.3	PECULIARITÀ IDROGEOLOGICHE.....	13
5.4	DIFFERENZE RISPETTO ALLE CARTOGRAFIE ESISTENTI.....	15
6	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	16
6.1	ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE REGIONALE.....	16
6.1.1	<i>Evoluzione geologica</i> .....	19
6.1.2	<i>Caratteristiche stratigrafiche</i> .....	22
6.1.3	<i>Caratteristiche strutturali</i> .....	25
6.2	ASSETTO GEOLOGICO LOCALE .....	28
6.2.1	<i>Assetto stratigrafico</i> .....	28
6.2.1.1	Supersistema degli Iblei Settentrionali .....	28
6.2.1.2	Depositi marini e transizionali quaternari .....	30
6.2.1.3	Depositi continentali quaternari .....	30

6.2.2	<i>Assetto strutturale</i> .....	32
7	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO</b> .....	33
7.1	<b>ASSETTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE</b> .....	33
7.1.1	<i>Morfologia e sedimentologia della zona costiera</i> .....	34
7.1.2	<i>Depositi marini terrazzati e spianate di abrasione</i> .....	34
7.2	<b>ASSETTO GEOMORFOLOGICO LOCALE</b> .....	36
7.2.1	<i>Elementi idrografici</i> .....	36
7.2.2	<i>Elementi strutturali e tettonici</i> .....	36
7.2.3	<i>Forme, processi e depositi gravitativi di versante</i> .....	36
7.2.3.1	Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico Regione Sicilia .....	37
7.2.3.2	Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI).....	39
7.2.4	<i>Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali</i> .....	39
7.2.5	<i>Forme, processi e depositi di origine marina</i> .....	40
7.2.6	<i>Forme poligeniche</i> .....	40
7.2.7	<i>Forme antropiche e manufatti</i> .....	40
7.2.8	<i>Cavità sotterranee naturali e antropiche</i> .....	42
7.3	<b>ANALISI INTERFEROMETRICA</b> .....	42
8	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO</b> .....	45
8.1	<b>IDROGRAFIA</b> .....	45
8.2	<b>ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE</b> .....	45
8.2.1	<i>Complessi idrogeologici</i> .....	46
8.2.2	<i>Strutture idrogeologiche e idrodinamica degli acquiferi</i> .....	47
8.2.3	<i>Opere di captazione</i> .....	47
8.2.4	<i>Chimismo delle acque</i> .....	48
8.2.5	<i>Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento</i> .....	48

8.3	ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE .....	48
8.3.1	<i>Complessi idrogeologici</i> .....	49
8.3.1.1	Complessi delle unità di substrato.....	49
8.3.1.2	Complessi dei depositi di copertura .....	50
8.3.2	<i>Permeabilità dei complessi idrogeologici</i> .....	51
8.3.3	<i>Opere di captazione ed emergenze sorgentizie</i> .....	55
8.3.4	<i>Schema di circolazione idrica superficiale</i> .....	58
8.3.5	<i>Schema di circolazione idrica profonda</i> .....	58
9	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	60
9.1	CAMPAGNA DI INDAGINI ATTUALE .....	61
9.1.1	<i>Sondaggi</i> .....	61
9.1.2	<i>Prove di permeabilità</i> .....	62
9.1.3	<i>Indagini geofisiche</i> .....	63
9.1.4	<i>Prove di laboratorio</i> .....	64
9.2	INDAGINI PREGRESSE .....	64
9.2.1	<i>Sondaggi</i> .....	65
9.2.2	<i>Prove di permeabilità</i> .....	65
9.2.3	<i>Prove di laboratorio</i> .....	65
10	MONITORAGGI.....	67
10.1	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO .....	67
11	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....	68
11.1	PROFILO GEOLOGICO .....	68
11.1.1	<i>Binario I porto</i> .....	68
11.1.1.1	Tratta da pk 0+000 a 0+540 .....	68
11.1.1.2	Tratta da pk 0+540 a 1+388 .....	69

11.1.2	<i>Binario di presa e consegna</i> .....	70
11.1.2.1	Tratta da pk 0+000 a 0+380 .....	71
11.1.2.2	Tratta da pk 0+380 a 0+903 .....	72
11.1.3	<i>Binario banchina</i> .....	73
11.2	PROFILO IDROGEOLOGICO .....	74
11.2.1	<i>Binario I porto</i> .....	74
11.2.1.1	Tratta da pk 0+000 a 0+540 .....	74
11.2.1.2	Tratta da pk 0+540 a 1+388 .....	75
11.2.2	<i>Binario di presa e consegna</i> .....	76
11.2.2.1	Tratta da pk 0+000 a 0+380 .....	76
11.2.2.2	Tratta da pk 0+380 a 0+903 .....	77
11.2.3	<i>Binario banchina</i> .....	78
12	SISMICITÀ DELL'AREA .....	79
12.1	SISMICITÀ REGIONALE .....	79
12.2	CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE .....	81
12.3	SISMICITÀ STORICA .....	84
12.4	SORGENTI SISMOGENETICHE .....	87
12.5	MAGNITUDO DI RIFERIMENTO .....	91
12.6	FAGLIE CAPACI .....	91
12.7	PARAMETRI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....	97
12.7.1	<i>Categoria di sottosuolo</i> .....	97
12.7.2	<i>Condizioni topografiche</i> .....	98
12.8	CONSIDERAZIONI PRELIMINARI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE .....	98
12.8.1	<i>Analisi qualitative</i> .....	99
12.8.2	<i>Analisi semi-quantitative</i> .....	101

12.9	FENOMENI CONSEGUENTI A SISMI DI INTENSITÀ RILEVANTE .....	104
13	BIBLIOGRAFIA .....	107

**APPENDICE**

Appendice	Descrizione
<b>Indagini pregresse</b>	“Progetto definitivo velocizzazione linea Catania Siracusa tratta Bicocca - Targia - I lotto funzionale - Bicocca-Augusta” PROGETTO DEFINITIVO – 2011
	“Progetto preliminare velocizzazione linea Catania Siracusa tratta Bicocca - Targia tra i km 236+800 e km 301+890” PROGETTO PRELIMINARE – 2003

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

## 1 PREMESSA

Nell'ambito dell'esecuzione dello studio geologico per il Progetto di Fattibilità Tecnica Economica del "Collegamento ferroviario con il porto di Augusta" (SR), sono stati effettuati i rilievi e gli approfondimenti propedeutici alla redazione degli elaborati di sintesi previsti dal progetto stesso. La tratta in oggetto è relativa al collegamento ferroviario della linea Catania-Siracusa con il porto commerciale di Augusta.

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

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

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

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

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

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Di seguito si riporta una sintesi della normativa nazionale e comunitaria di riferimento per il presente studio.

### 2.1 Normativa nazionale e tecnica

- A.G.I. 1977 - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- A.G.I. 1994 - Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 02/10/2003. Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 03/05/2005. Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274.
- D.lgs. n. 152 del 03/04/2006 "Norme in materia ambientale" e ss.mm.ii.;
- D.M. Infrastrutture del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Circolare n. 7 del 21/01/2019 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;

### 2.2 Normativa comunitaria

- UNI ENV 1997-1 (2005) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali;
- UNI ENV 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI ENV 1997-3 (2002) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito";
- UNI ENV 1998-5 (2005) - Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture e contenimento ed aspetti geotecnici.

### 2.3 Normativa regionale

- Decreto del Dirigente Generale (2022) - D.D.G. n. 64 del 11/03/2022 "Aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale della Sicilia. Applicazione dei criteri dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519. Deliberazione della Giunta Regionale 24 febbraio 2022, n. 81. Decreto di adozione della nuova classificazione sismica".

### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio si colloca a ridosso della costa sud-orientale ionica della Sicilia in corrispondenza del nuovo binario I del porto di Augusta che si sviluppa per una lunghezza di circa 1.4 km nella tratta Catania-Siracusa. Il tracciato di progetto interessa il territorio del comune di Augusta, in provincia di Siracusa (SR).



**Figura 1 – Corografia in scala 1:50000 dell'area di studio geologico con individuazione delle opere in progetto (binario I porto in blu, binario banchina in magenta e binario di presa e consegna in verde).**

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.), l'area oggetto di studi è individuabile all'interno del Foglio 274 (Siracusa) in scala 1:100000, nelle Tavole 274-IV-SE (Melilli) e 274-I-SO (Augusta) in scala 1:25000 e, con riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Sicilia, nella sezione 641150 in scala 1:10000.

Dal punto di vista orografico il binario I porto impegna settori di territorio posti a quote comprese tra 5 m s.l.m. e 14 m s.l.m. circa, il binario di presa e consegna tra 3 m s.l.m. e 22 m s.l.m. e il binario banchina tra 0 m s.l.m. e 13 m s.l.m.. Dal punto di vista morfologico, l'area di studio si caratterizza per la presenza di ampi settori pianeggianti o sub-pianeggianti riconducibili alla fascia costiera ionica caratterizzata da pianure costiere.

#### 4 DATI DI BASE

Di seguito si riportano gli elaborati prodotti per la presente fase progettuale e i dati raccolti per la redazione delle presenti note di sintesi e degli elaborati cartografici allegati.

##### 4.1 Allegati

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

● CI2022		
“Linea Catania-Siracusa - Collegamento ferroviario con il Porto di Augusta” PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA - 2022		
codifica elaborato	descrizione elaborato	scala
RS6200R69L5GE0001001 A	Carta geologica con elementi di geomorfologia e profili geologici Tav. 1 di 1	1:5000/500
RS6200R69L5GE0002001 A	Carta idrogeologica e profili idrogeologici Tav. 1 di 1	1:5000/500
RS6200R69SGGE0000001A	Indagini geognostiche - Sondaggi	-
RS6200R69PRGE0000001A	Indagini geognostiche - Laboratorio	-
RS6200R69IGGE0000001A	Indagini geognostiche - Indagini Geofisiche	-

##### 4.2 Documentazione pregressa

Nella presente relazione si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

● CI2011		
“Progetto definitivo velocizzazione linea Catania Siracusa tratta Bicocca - Targia - I lotto funzionale - Bicocca-Augusta” PROGETTO DEFINITIVO - 2011		
codifica elaborato	descrizione elaborato	scala
L70100D79RHGE0001001B	Relazione geologica	-
L70100D79P5GE0001001A	Carta geologico-geomorfologica	1:5000
L70100D79P5GE0002001A	Carta idrogeologica	1:5000
L70100D79F5GE0002001A	Profilo geologico	1:5000



LINEA CATANIA-SIRACUSA  
BYPASS DI AUGUSTA  
ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED  
IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R69RG	GE 00 01 001	A	11 di 132

● CI2003

“Progetto preliminare velocizzazione linea Catania Siracusa tratta Bicocca - Targia tra i km 236+800 e km 301+890”  
PROGETTO PRELIMINARE - 2003

codifica elaborato	descrizione elaborato	scala
-	Relazione sulle indagini eseguite	-
-	Certificati prove geotecniche di laboratorio	-

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

## 5 SINTESI DELLE PECULIARITÀ GEOLOGICHE EMERSE DALLO STUDIO

Nel seguito vengono sintetizzati gli elementi geologici, geomorfologici, idrogeologici e geologico-tecnici più caratteristici dell'area di studio, direttamente interferenti con le opere in progetto. Inoltre, vengono descritte le principali differenze riscontrabili tra gli elaborati prodotti e le cartografie ufficiali esistenti. Per una trattazione più dettagliata dei vari aspetti si rimanda a quanto contenuto nei diversi paragrafi delle presenti note di sintesi.

### 5.1 Peculiarità geologico-tecniche

Dal punto di vista geologico, i principali elementi di criticità per le opere in progetto sono connessi con il locale assetto stratigrafico-strutturale dell'area e con la sismicità attuale del settore ibleo. Per questo secondo aspetto, in particolare, si rimanda a quanto riportato nel cap. 12 "Sismicità dell'area", dove sono descritte in maniera dettagliate le caratteristiche sismogenetiche dell'area ed i principali elementi di pericolosità dal punto di vista sismico.

Per quanto concerne l'assetto litostratigrafico locale, i principali elementi di criticità geologica sono connessi con la presenza di depositi continentali fortemente eterogenei, sia dal punto di vista delle caratteristiche fisiche che meccaniche. Nei settori di fondovalle e costieri, in particolare nel settore nord-orientale e sud-occidentale dell'area di studio, sono presenti diversi orizzonti di depositi rispettivamente fluviali e marini con caratteristiche geotecniche mediocri o addirittura scadenti.

Si tratta di terreni prevalentemente granulari che presentano una discreta resistenza al taglio ed una modesta compressibilità elastica, anche se possono essere suscettibili di locali fenomeni di liquefazione in concomitanza con eventi sismici di particolare intensità. Tale condizione, essenzialmente connessa con la forte sismicità dell'intero settore ibleo (magnitudo di riferimento  $M_{max}$  pari a 7.29 come da catalogo ZS9 per la zona sismogenetica n. 935 "Iblei"), è confermata dalle numerose notizie storiche a disposizione per le città di Catania e Augusta, che riportano evidenze di fenomeni di liquefazione in concomitanza con gli eventi sismici del 1542, 1693 e del 1990.

Più raramente è possibile constatare la presenza di orizzonti di terreni coesivi meno competenti e caratterizzati da una resistenza al taglio variabile, ma generalmente modesta, e da una elevata compressibilità, sia elastica che edometrica. Di tali caratteristiche, ampiamente descritte nelle pagine successive, si dovrà tenere conto per lo sviluppo delle specifiche analisi geotecniche volte alla definizione della capacità portante dei materiali e, soprattutto, alla quantificazione dei cedimenti indotti dall'applicazione dei carichi di esercizio delle opere in progetto.

Inoltre, è opportuno segnalare la diffusa presenza di coltri di copertura di genesi pedologica e detritico-colluviale, spesso posti a copertura di depositi marini terrazzati con spessore di alcuni metri. Tali terreni, infatti, presentano un comportamento meccanico generalmente scadente, fortemente eterogeneo e di certa inaffidabilità geotecnica, tale da consigliarne la bonifica preventiva ai fini dell'individuazione del piano di posa delle strutture fondali e dei rilevati ferroviari, se impegnati in maniera diretta.

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

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

## 5.2 Peculiarità geomorfologiche

In questo paragrafo vengono descritti i principali elementi geomorfologici di potenziale criticità per le opere in progetto. Per una trattazione puntuale dei singoli fenomeni erosivi e/o di dissesto, oltre che delle specifiche condizioni geologiche e geomorfologiche dei vari settori, si rimanda a quanto riportato nella descrizione del tracciato (Paragrafo 11.1 “Profilo geologico”).

Dal punto di vista geomorfologico, la morfogenesi ha portato allo sviluppo di forme morbide e poco marcate in corrispondenza dei depositi quaternari affioranti, con rilievi generalmente poco acclivi intervallati da blandi impluvi di genesi fluviale. In generale, l'intera area di studio è caratterizzata dalla presenza di un bassissimo numero di movimenti di versante (frane *s.s.* e soliflusso/*creep*), mentre più frequenti sono i fenomeni di erosione connessi al deflusso delle acque correnti superficiali, sia lungo i versanti che in corrispondenza dei principali assi di drenaggio.

Nello specifico, il settore centrale della tratta in esame è posto alla base di un modesto rilievo degradante in direzione del litorale ionico. Tale rilievo è caratterizzato dalla presenza di dissesti riconducibili a fenomeni di deformazione viscosa delle coltri (*creep* e/o soliflusso) che lambiscono il tracciato ferroviario in progetto (Binario di presa e consegna) nel settore nord-orientale dell'area di studio. Si tratta di deformazioni estremamente lente e con ridotta capacità morfoevolutiva, che interessano prevalentemente le coltri eluvio-colluviali per spessori non superiori a 2.0-2.5 m.

Tra il km 0+550 e il km 0+860 della tratta Binario di presa e consegna e nel settore iniziale della tratta Binario I porto, invece, è presente un areale a franosità diffusa con stato attivo che interessa direttamente le opere in progetto. Tale areale è caratterizzato da movimenti franosi superficiali con stato attivo e distribuzione prevalentemente costante, che interessano le coltri di copertura e la parte più superficiale del substrato pelitico. I movimenti sono prevalentemente rotazionali e a cinematica estremamente lenta.

Infine, i versanti presenti nella parte centrale dell'area di studio, esposti prevalentemente a SSW, sono interessati da alcune forme riconducibili a fenomeni erosivi dovuti al deflusso delle acque correnti superficiali. Tali fenomeni sono rappresentati prevalentemente da solchi di erosione concentrata e areali con ruscellamento diffuso, che interessano le coltri eluvio-colluviali che ricoprono la parte bassa del versante. I fenomeni erosivi interessano il Binario I porto, tra le km 0+100-0+350 e tra le km 0+550-1+00.

Per quanto riguarda gli studi del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia il settore di intervento non presenta interferenza con alcuna area di pericolosità geomorfologica censita. Allo stesso modo, nell'inventario frane IFFI non sono presenti fenomeni di frana *s.s.* nei pressi delle opere in progetto.

## 5.3 Peculiarità idrogeologiche

Per quanto concerne gli aspetti connessi con la circolazione delle acque nel sottosuolo, si evidenzia la presenza di diverse falde idriche di importanza variabile all'interno dei differenti acquiferi individuati lungo il tracciato ferroviario in esame, relativi ai complessi idrogeologici sabbioso-calcarenitici (**SSC**), (**DLA**), sabbioso-limosi (**DSL**), ghiaioso-sabbiosi (**DGS**) e dei terreni di copertura (**TRC**). Tali acquiferi risultano sostenuti da depositi pelitici pleistocenici (**SAL**), che nel contesto di riferimento svolgono il ruolo di *aquiclude*.

I depositi di copertura più recenti, di genesi antropica e detritico-colluviale, frequenti nell'area di studio, sono caratterizzati da una permeabilità estremamente variabile, ma generalmente compresa tra molto bassa e alta. A causa del ridotto spessore, questi terreni sono in genere privi di falde e corpi idrici sotterranei di una certa

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

rilevanza. Localmente, ove sussistono le adeguate condizioni idrogeologiche ed è presente un livello meno permeabile alla base, è possibile che si formino piccole falde a carattere stagionale, direttamente influenzate dal regime delle precipitazioni meteoriche.

I depositi marini a composizione sabbioso-calcarenitica presenti sulla sommità dei rilievi sono caratterizzati da una permeabilità, per porosità e fessurazione, variabile da bassa a media e costituiscono acquiferi di ridotta trasmissività a causa del ridotto spessore, fortemente eterogenei ed anisotropi. Questi depositi sono sede di falde idriche sotterranee di scarsa rilevanza, a deflusso unitario, che presentano interscambi con i corpi idrici superficiali e/o sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. Quasi ovunque, il deflusso idrico sotterraneo è condizionato dall'andamento morfologico del substrato poco permeabile, che tampona i suddetti acquiferi alla base.

I terreni di copertura a composizione ghiaioso-sabbiosa e sabbioso-limosa di origine fluviale e marina affiorano localmente nella porzione meridionale dell'area di studio in corrispondenza di alcuni corsi d'acqua minori e della piana costiera. In generale, questi depositi presentano una permeabilità variabile da bassa ad alta e costituiscono acquiferi porosi di medio-bassa trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi. Questi depositi sono sede di falde idriche sotterranee di scarsa o modesta rilevanza, generalmente a deflusso unitario, che presentano interscambi con i corpi idrici superficiali e/o sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. Quasi ovunque, il deflusso idrico sotterraneo è condizionato dall'andamento morfologico del substrato poco permeabile, che tampona i suddetti acquiferi sia alla base che lateralmente.

Mentre, i termini argilloso-limosi dei terreni di copertura si rinvengono al di sotto delle coltri eluvio-colluviali nel settore meridionale dell'area di studio. Questi terreni presentano una permeabilità, esclusivamente per porosità, variabile da molto bassa a bassa e costituiscono acquiferi porosi di discreta trasmissività fortemente eterogenei ed anisotropi. Tali terreni sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, generalmente a deflusso unitario, che presentano interscambi con i corpi idrici superficiali e con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe.

Infine, i termini argilloso-limosi del substrato pliocenico si rinvengono in tutta l'area di studio al di sotto delle coperture sedimentarie più recenti e in affioramenti di media estensione lungo i rilievi. Questi materiali sono caratterizzati da una permeabilità esclusivamente per porosità, variabile da molto bassa a bassa, e rappresentano degli *aquiclude* di notevole importanza per tutti i corpi idrogeologici limitrofi. Non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza, a meno di piccole falde confinate all'interno degli orizzonti più grossolani e permeabili presenti all'interno del complesso. Il substrato argilloso-limoso sostiene tutti i principali corpi idrici sotterranei condizionandone sia il deflusso a grande scala che l'andamento locale.

Allo scopo di indagare l'effettiva presenza di falde idriche sotterranee ed il relativo andamento della superficie piezometrica, nel corso dello studio è stata eseguita un'apposita campagna di monitoraggio consistente nella misura del livello di falda nei tubi piezometrici precedentemente installati nei fori di sondaggio. In particolare, durante l'attuale campagna indagine sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto n. 2 fori di sondaggio. Il monitoraggio è iniziato a settembre 2022 ed è tuttora in corso.

Le misure disponibili, realizzate da settembre a novembre 2022, hanno evidenziato che, nonostante la ridotta permeabilità, il substrato pelitico è generalmente saturo, talora anche a pochi metri di profondità dal p.c.. Nei settori di affioramento dei depositi sabbioso-calcarenitici e delle coperture quaternarie, invece, è possibile ipotizzare la presenza di una falda relativamente superficiale, sostenuta dal substrato pelitico pleistocenico e defluente in direzione della costa ionica.

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

#### 5.4 Differenze rispetto alle cartografie esistenti

Le analisi condotte e le ricostruzioni degli assetti geologico-strutturali riportati in carta hanno permesso di definire il contesto geologico di riferimento e tutti gli elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. I risultati ottenuti hanno permesso di constatare un grado di correlazione medio-alto con la cartografia bibliografica esistente. Al fine di produrre la carta e il profilo geologico, la Carta geologica d'Italia in scala 1:50000 - foglio CARG n. 641 Augusta ha costituito un'importante base bibliografica. Ne consegue un'elevata congruenza tra la cartografia geologica prodotta nella presente fase di lavoro e il Foglio CARG 641 Augusta.

Le differenze sostanziali sono riferibili alla differente scala di lavoro che determina, nella presente fase progettuale, una migliore precisione nel cartografare le unità di copertura come le coltri eluvio-colluviali, i depositi alluvionali e i riporti antropici. Allo stesso modo, l'analisi delle indagini geognostiche pregresse e appositamente realizzate ha permesso di meglio definire gli spessori e i limiti stratigrafici delle unità affioranti. Inoltre, basandosi sulle fonti storiche disponibili, sono state cartografate con maggior dettaglio le saline di Augusta.

Dal punto di vista geologico, la principale variazione rispetto alle cartografie del CARG è la presenza di una faglia capace censita nel progetto ITHACA. Tale faglia, denominata Augusta Graben (*FaultCode*: 10524), intercetta la tratta "Binario I Porto" tra la pk 1+000 e la pk 1+388 ed è stata opportunamente inserita nella carta geologica appositamente redatta. Gli studi geologici condotti non hanno permesso di individuare con precisione questo elemento tettonico che, pertanto, è stato cartografato così come riportato nel database del progetto ITHACA.

Dal punto di vista geomorfologico, la cartografia prodotta nel presente studio presenta anche un buon grado di correlazione con la cartografia del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico Regione Sicilia *UoM ITR191* e l'Inventario dei Fenomeni Franosi (Progetto IFFI), denotando una presenza limitata di forme di erosione e fenomeni gravitativi. Anche in questo caso, alcune differenze possono essere legate alla scala di lavoro di maggior dettaglio del presente lavoro.

## 6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio ricade nel settore orientale della Sicilia, lungo il margine NE dei Monti Iblei. La zona di interesse si colloca a breve distanza dal litorale ionico e presenta una morfologia tipicamente basso-collinare, con ampie superficie terrazzate blandamente degradanti verso la costa. L'assetto geologico è caratterizzato dalla presenza di una spessa successione pelitica pleistocenica, su cui poggiano depositi di panchina tardo-pleistocenici e sedimenti marini, continentali e transizionali quaternari.

### 6.1 Assetto geologico-strutturale regionale

Il territorio siciliano presenta una conformazione geologica *s.l.* piuttosto articolata e complessa, strettamente legata ai differenti processi geodinamici e morfoevolutivi che si sono verificati nell'area durante il Quaternario (Lentini et al. 1991; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000, 2002; Carbone 2011), quali l'attività vulcano-tettonica, le variazioni del livello marino e l'attività antropica.

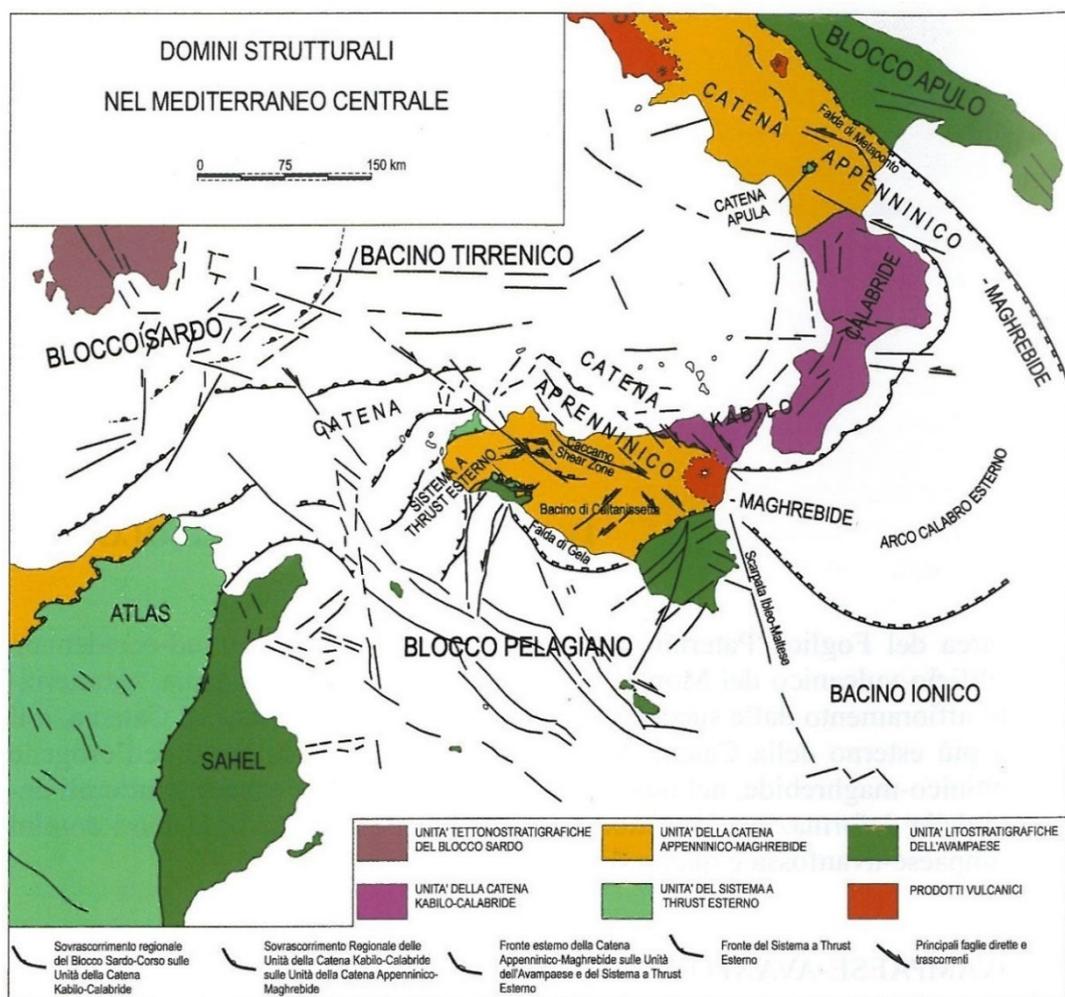


Figura 2 – Domini strutturali ed elementi tettonici nel Mediterraneo centrale (da Lentini et al. 1995, modificato).

Dal punto di vista geologico (Figura 2), le principali strutture che caratterizzano il complesso collisionale della Sicilia e il suo prolungamento *offshore* (Amodio-Morelli et al. 1976; Lentini et al. 1995; Catalano et al. 1996; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000; Carbone 2011) sono:

- **L'Avampaese Ibleo**, affiorante nei settori sud-orientali dell'isola e caratterizzato da una potente successione carbonatica meso-cenozoica, con ripetute intercalazioni di vulcaniti basiche (Patacca et al. 1979; Lentini et al. 1984; Carbone 2011);
- **L'Avanfossa Gela-Catania**, affiorante nella porzione orientale della Sicilia e costituita da una spessa successione sedimentaria tardo-cenozoica, parzialmente sepolta sotto le coltri alloctone del sistema frontale della catena (Ogniben 1969; Di Geronimo et al. 1978; Lentini 1982; Torelli et al. 1998);
- **la Catena Appenninico-Maghrebide**, affiorante nella porzione settentrionale dell'isola e costituita da sequenze meso-cenozoiche sia di piattaforma sia di bacino, con le relative coperture flyschoidi mioceniche (Ogniben 1969; Amodio-Morelli et al. 1976; Mostardini & Merlini 1986; Cello et al. 1989; Catalano et al. 1996; Monaco et al. 1998);
- **la Catena Kabilo-Calabride**, affiorante nei settori Nord-orientali della Sicilia e caratterizzata da un basamento metamorfico di vario grado con le relative coperture sedimentarie meso-cenozoiche, cui si associano le unità ofiolitifere del Complesso Liguride (Ogniben 1969; Amodio-Morelli et al. 1976; Bonardi et al. 1982; Tansi et al. 2007).

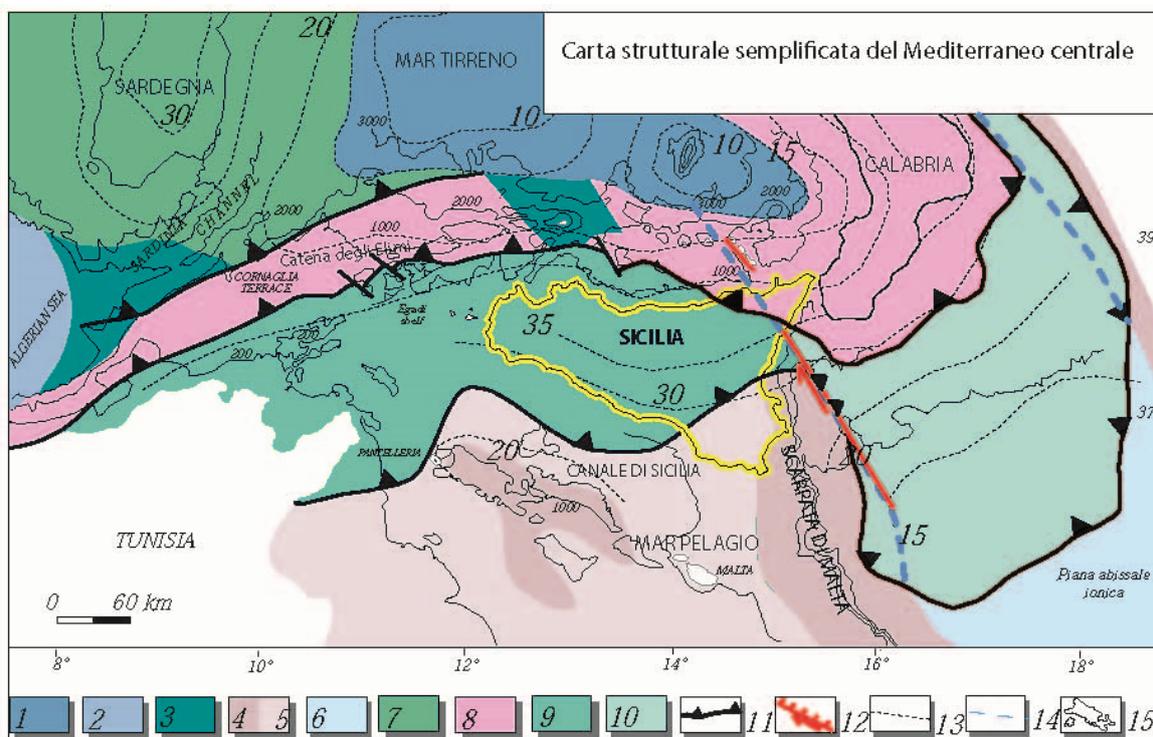


Figura 3 – Carta dei settori crostali del Mediterraneo centrale e della Sicilia (Catalano et al. 2011): 1) crosta oceanica del Mar Tirreno; 2) crosta oceanica del Bacino Algerino; 3) crosta continentale assottigliata kabilo e sarda; 4) crosta continentale africana; 5) crosta continentale assottigliata africana 6) crosta oceanica del Mar Ionio; 7) unità tettoniche sarde; 8) unità kabilo-calabridi; 9) unità siciliane-maghrebidi; 10) prisma di accrezione ionico; 11) fronti di sovrascorrimento; 12) faglia con probabile componente transtensiva; 13) isobate (in km) della Moho; 14) limite margine passivo-oceanico ionico; 15) batimetria.

Nella sua complessità, il paesaggio fisico della Sicilia è quindi il risultato di una complessa interazione di diversi fattori geologici, tettonici, geomorfologici e climatici che, nel corso del tempo, hanno interessato l'area in esame in maniera differente (Lentini et al. 1995; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000). Nello specifico, l'area di studio ricade nel settore orientale della Sicilia, all'interno del dominio strutturale dell'Avampaese Ibleo (Lentini et al. 1995; Catalano et al. 1996; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000; Monaco & De Guidi 2006; Carbone 2011).

L'Avampaese Ibleo costituisce una porzione emersa del Blocco Pelagiano (Buroillet et al. 1978), il promontorio più settentrionale della crosta continentale africana (Figura 3), a cui esso è fisicamente collegato mediante il Canale di Sicilia (Boccaletti et al. 1987). Il Blocco Pelagiano presenta uno spessore di circa 25-30 km (Carbone et al. 2009) ed è delimitato verso est dalla Scarpata Maltese, generata da un sistema di faglie trastensive di età mesozoica che delimita il Bacino Ionico a crosta assottigliata (Makris et al. 1986; Carbone 2011). Verso nord e NW, invece, l'Avampaese Ibleo si flette al di sotto della catena formando la depressione strutturale dell'Avanfossa Gela-Catania (Di Geronimo et al. 1978; Lentini 1982; Cogan et al. 1989; Torelli et al. 1998; Carbone 2011).

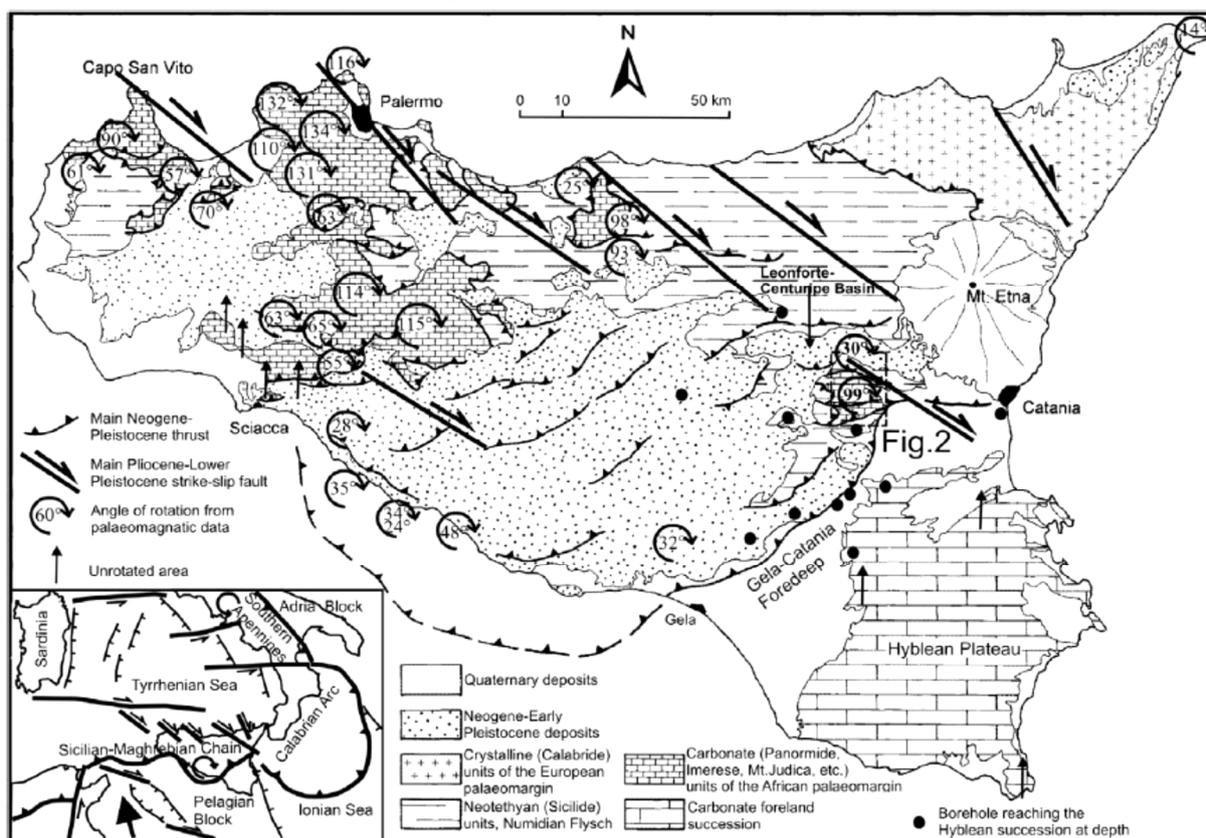


Figura 4 – Carta geologico-strutturale della Sicilia, con evidenze delle rotazioni neogeniche connesse allo sviluppo dell'orogene (da Monaco & De Guidi 2006).

Verso nord, in prossimità della Piana di Catania, il Plateau Ibleo è delimitato dal sistema di faglie normali neogenico-quadernarie Pedagaggi-Lentini-Agnone, che ne ha accomodato la flessurazione durante le diverse fasi deformative (Carbone 2011). Attraverso questo sistema di faglie, il blocco carbonatico passa all'avanfossa vera e propria, che comprende sia il Graben di Scordia-Lentini (Carbone et al. 1982) che l'Horst di San Demetrio (Carbone et al. 1982; Torelli et al. 1998).

L'Avanfossa Gela-Catania, subsidente durante la migrazione plio-pleistocenica della catena, è stata sede della deposizione di sedimenti clastici provenienti sia dalle aree di avampaese che dal fronte della catena stessa (Carbone 2011). Una parte della sequenza plio-pleistocenica dell'avanfossa è sepolta, quindi, al di sotto delle coltri alloctone del sistema frontale della catena (Figura 4), denominato "Falda di Gela" (Beneo 1958; Ogniben 1969; Di Geronimo et al. 1978; Lickorish et al. 1999). Un'altra parte della successione si è depositata al tetto dell'alloctono durante le ultime fasi della migrazione verso sud, suturandone la porzione più avanzata (Carbone 2011).

I dati derivanti da perforazioni petrolifere hanno evidenziato che, nel depocentro del bacino, la successione di avanfossa raggiunge spessori di circa 1000 m (Torelli et al. 1998). Tale sequenza tende ad assottigliarsi sia verso nord, dove è coinvolta nei *thrust* frontali della catena, che verso sud, dove poggia in onlap progressivo sui blocchi del Plateau Ibleo ribassati per faglia normale (Torelli et al. 1998; Carbone 2011). Al di sotto della catena, il tetto dei carbonati neogenici iblei è stato raggiunto a profondità di oltre 3000 m (Bianchi et al. 1987; Lickorish et al. 1999; Bello et al. 2000), mentre sotto l'edificio vulcanico etneo si suppone che possa raggiungere una profondità di circa 5000 m (Cristofolini et al. 1979).

### 6.1.1 Evoluzione geologica

Nella zona dell'Avampaese Ibleo, tutte le fasi tettoniche più importanti sono associate a manifestazioni vulcaniche di tipo basaltico e a rapidi cambiamenti del regime sedimentario (Carbone 2011). A seguito del *rifting* hettangiano, si individuano due importanti domini paleogeografici, siracusano e ragusano, riferibili rispettivamente ad un alto strutturale e ad un bacino profondo con forti tassi di sedimentazione (Patacca et al. 1979).

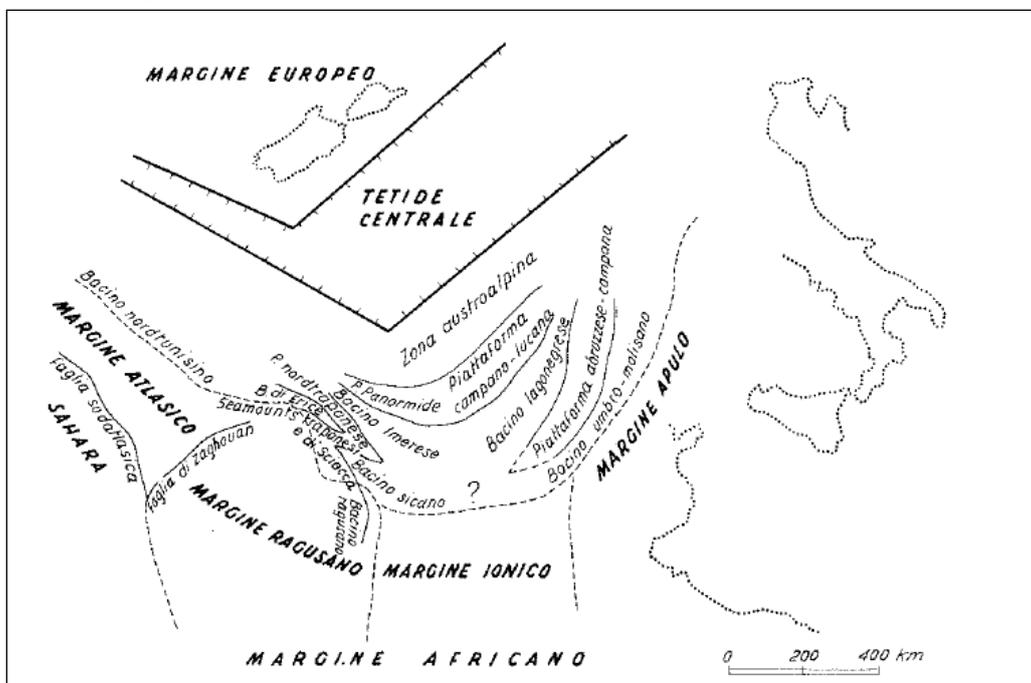


Figura 5 – Ricostruzione palinspastica della Tetide centrale nel Giurassico (da Scandone et al. 1974, modificato).

Tale assetto paleogeografico si mantiene immutato fino al Pliensbachiano superiore (Figura 5), quando la tettonica sinsedimentaria porta ad un progressivo annegamento dell'alto siracusano e ad una omogeneizzazione delle caratteristiche deposizionali su tutta l'area (Carbone 2011). Verso la fine del Giurassico medio si verifica la ripresa

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

dell'attività eruttiva sottomarina in condizioni pelagiche (*seamount* di Scicli), a cui segue un ulteriore periodo di quiescenza che perdura fino al Cretacico superiore. Proprio in questo periodo di sviluppano i sistemi di faglie NE-SW e WNW-ESE, a cui si associano vulcaniti in parte affioranti (Carbone 2011).

Nella zona siracusana le vulcaniti tardo-mesozoiche sono distribuite secondo un trend sub-meridiano, grossomodo corrispondente all'attuale andamento della Scarpata Maltese, mentre i dicchi adduttori sono allineati su direzioni N140-150 (Carbone 2011). La presenza di vulcaniti cretache lungo la Scarpata Maltese antistante a questo tratto di costa è stata accertata da numerosi studi geologici (Cita et al. 1980; Scandone et al. 1981; Casero et al. 1984; Grasso & Ben-Avraham 1992), mentre non sono presenti dati certi sulla loro presenza più a largo nello Ionio (Carbone 2011).

Nel sottosuolo delle zone centrali del *plateau*, le vulcaniti cretache diminuiscono progressivamente di spessore fino a scomparire del tutto (Bianchi et al. 1987). La scomparsa di tali litotipi è marcata da una importante fascia di megabrecce carbonatiche ad elementi vulcanici, intercalate fino ai livelli di età paleogenica lungo una zona di cerniera posta tra un alto strutturale parallelo all'attuale linea di costa e le aree bacinali più occidentali (Grasso & Lentini 1982; Montanari 1982).

Tra il Cretacico e l'Eocene superiore, l'assetto paleografico è caratterizzato da una vasta area di *seamounts* vulcanici, che costituivano il supporto di scogliere e sedimenti carbonatici di mare basso (Carbone 2011). Il passaggio tra questo settore e le aree bacinali è caratterizzato, durante tutto l'intervallo Cretacico – Eocene, da megabrecce a faune cretache e da sedimenti a nummuliti e alveoline (Pedley 1981; Carbone et al. 1982). Tali depositi risultano connessi all'attività tettonica della Linea Melilli-Sortino-Siracusa, i cui effetti sono registrati in strutture da scivolamento e canali di erosione ben sviluppati nelle coeve *facies* di bacino (Carbone 2011).

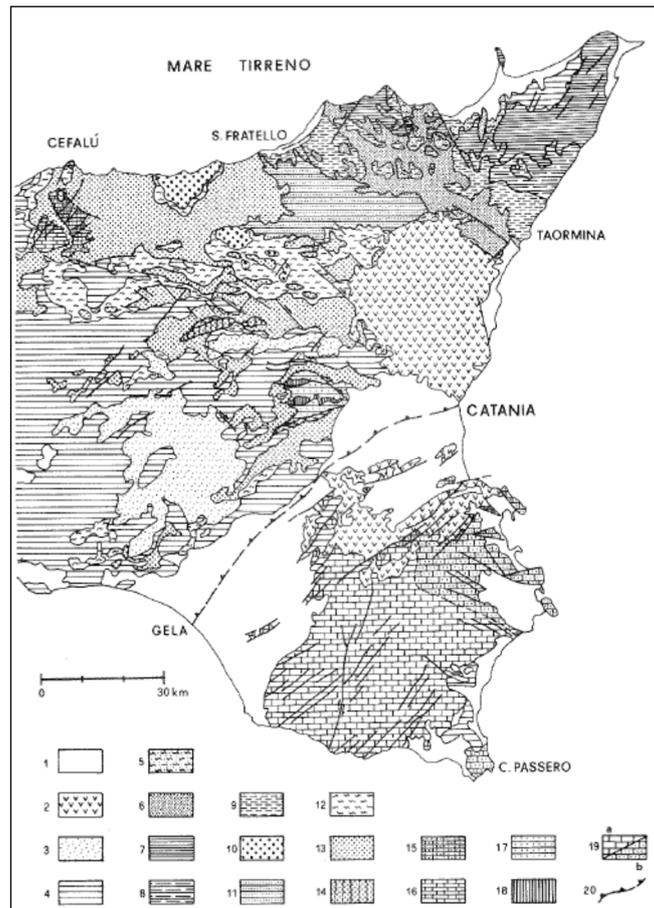
I depositi oligo-miocenici, discordanti sulle sequenze sedimentarie più antiche, mascherano completamente tutte le discontinuità morfologiche e strutturali determinatesi durante gli eventi tettonici cretaco-eocenici (Carbone 2011). La loro continuità suggerisce condizioni di relativa stasi tettonica, nonché una moderata subsidenza che ha permesso la deposizione della spessa successione della Formazione Monti Climiti. Lo spessore delle sequenze oligo-mioceniche evidenzia, inoltre, la presenza di numerose ondulazioni del bacino di sedimentazione della Formazione Tellaro, connesse ad un trend NE-SW già chiaramente delineato (Pedley & Grasso 1992). La presenza di strutture sinsedimentarie nelle calciclastiti evidenzia, inoltre, la presenza di un blando pendio costituente la zona di transizione al mare aperto verso Ovest (Carbone 2011).

L'assetto paleogeografico del Messiniano inferiore (Grasso et al. 1982) risulta ereditato, almeno in parte, da quello del Tortoniano (Carbone & Lentini 1981). La distribuzione spaziale delle *facies* sedimentarie suggerisce la presenza di una importante area emersa in corrispondenza dell'attuale tratto costiero tra Agnone e Monte Tauro, che si estendeva verso l'attuale margine ibleo settentrionale fino alla zona di avanfossa (Lentini et al. 1987; Butler et al. 1997; Torelli et al. 1998).

Nel Messiniano superiore il generale abbassamento del livello marino (*lowstand*) porta all'emersione della parte di *plateau* occupata dai sedimenti lagunari e/o di transizione della Formazione Monte Carrubba, mentre nelle aree ancora sommerse iniziava la deposizione delle evaporiti (Lentini et al. 1991; Carbone 2011). Tale emersione marca una profonda modifica del quadro paleogeografico dell'area, in quanto termina la configurazione strutturale che si era protratta per tutto l'intervallo Cretacico – Miocene (Carbone 2011).

Nel Pliocene inferiore si instaurano nuovamente condizioni marine normali, come testimoniato dalla sedimentazione dei Trubi e di spesse sequenze di breccie o calcareniti (Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991). A seguito dell'emersione messiniana, si è verificata una moderata ingressione marina che non ha modificato in

maniera sostanziale la distribuzione delle aree emerse. Infatti, la presenza di depositi pliocenici nelle zone più depresse, come quella di Ispica-Capo Passero, lascia ipotizzare che queste strutture fossero già individuate (Carbone 2011).



**Figura 6 – Schema geologico-strutturale della Sicilia orientale (da Bianchi et al. 1987).** 1) Depositi continentali e marini del Quaternario; 2) Vulcaniti basiche dell’Etna e degli Iblei; 3) Depositi clastici (Pliocene medio-superiore); 4) Formazione Terravecchia, Serie Evaporitica e Trubi (Miocene superiore – Pliocene inferiore); 5) Unità Antisicilide (Cretaceo) e Calcareniti di Floresta (Miocene medio); 6) Flysch di Capo d’Orlando (Miocene inferiore); 7) Unità dell’Aspromonte; 8) Unità di Mandanici; 9) Unità cristalline di basso grado e relative coperture sedimentarie mesozoiche; 10) Flysch di Reitano (Miocene inferiore-medio); 11) Flysch di Monte Soro (Cretaceo?); 12) Argille Scagliose sicilidi e Formazione di Polizzi s.s., Flysch Numidico (Unità di Nicosia) e Flysch di Troina-Tusa (Cretaceo – Miocene inferiore); 13) Flysch Numidico sovrapposto ai termini imeresi e panormidi (Oligocene – Miocene medio); 14) Flysch Numidico: Unità Serra del Bosco, ad “affinità sicana” (Oligocene – Miocene medio-superiore); 15) Unità mesozoiche di piattaforma carbonatica del Complesso Panoramide; 16) Unità mesozoiche di bacino del Complesso Imerese; 17) Copertura oligo-miocenica dell’Unità di M. Judica; 18) Successione mesozoica dell’Unità di M. Judica; 19) Avampese Ibleo: a) successione occidentale (Cretaceo – Miocene superiore), b) successione orientale (Cretaceo superiore – Miocene superiore); 20) Fronte sepolto della Falda di Gela.

Durante tutto il Pliocene, l’area nord-orientale compresa il bordo dell’avanfossa e Siracusa rimase emersa come la zona centrale del *plateau*. La fase tettonica del Pliocene medio-superiore ha prodotto, infatti, notevoli rigetti nelle strutture NE-SW, che nell’insieme costituiscono il sistema Comiso-Agnone (Ghissetti & Vezzani 1984; Carbone

2011). Le dislocazioni che hanno interessato il bordo nord-orientale dell’altopiano calcareo, invece, sono ascrivibili al limite Pliocene – Pleistocene (Carbone 2011).

In questo periodo (Figura 6), i depositi quaternari riempivano *graben* costieri già individuati nel Pliocene (Carbone 1985), che continuarono ad essere subsidenti nel corso della sedimentazione della sequenza pelitica del Pleistocene inferiore. Il sistema NW-SE, che produce l’allineamento degli *horst* di Monte Tauro, di Magnisi e della Maddalena, determina inoltre una serie di strutture tettoniche sepolte attualmente mascherate da estese coperture quaternarie (Carbone 2011; Bonforte et al. 2015). Nei settori di transizione all’Avanfossa Gela-Catania, la tettonica quaternaria crea *horst* (dorsale di S. Demetrio) e *graben* (depressione di Lentini) orientati circa NE-SW (Carbone 2011). Lo stesso margine dell’avanfossa taglia i depositi quaternari recenti e i rigetti calcolati, insieme agli elevati spessori delle argille azzurre, testimoniano un’intensa attività tettonica sinsedimentaria durante tutto il Pleistocene.

### 6.1.2 Caratteristiche stratigrafiche

Il settore nord-occidentale del *Plateau* Ibleo è caratterizzato da una spessa sequenza sedimentaria di ambiente marino poco profondo, fortemente condizionata dallo sviluppo di vulcaniti basiche (Patacca et al. 1979; Lentini et al. 1987). Su tali terreni poggiano, in discordanza, spessi ed estesi depositi quaternari di ambiente continentale, marino e transizionale, particolarmente importanti nei settori centrali della Piana di Catania e lungo la costa ionica (Carbone 2011).



Figura 7 – Stralcio del foglio CARG n. 641 “Augusta” in scala 1:50000 (ISPRA 2011) con indicazione delle opere in progetto (binario I porto in blu, binario banchina in magenta e binario di presa e consegna in verde).

Con diretto riferimento a quanto riportato nella Carta Geologica d'Italia in scala 1:50000 n. 641 "Augusta" (Carbone 2011), le successioni stratigrafiche presenti nell'area di interesse (Figura 7) possono essere distinte, dal basso verso l'alto, in:

- **Successione vulcano-sedimentaria del Cretacico superiore:** è costituita da spessi prodotti ignei di ambiente subacqueo, su cui giacciono calcari a rudiste e coralli di mare poco profondo (Carbone 2011).
  - **Vulcaniti di Capo Passero** (Cretacico superiore): vulcanoclastiti di colore bruno giallastro a grana fine, breccie e lave a *pillows*, intruse da filoni basaltici massivi nerastri (Lentini et al. 1984, 1987; Carbone 2011). Localmente si rinvencono ialoclastiti a grana fine con rari frammenti di *pillow*, nelle quali sono incassati dicchi adduttori afirici a composizione alcali-basaltica (con tendenza ad hawaiiite). Lave, vulcanoclastiti e dicchi basici sono di serie alcalino-sodica, spesso profondamente alterati, con abbondanti fenocristalli di olivina, subordinato clinopirosseno e con pasta di fondo costituita da microcristalli di plagioclasio, augite titanifera, olivina e Ti-magnetite. Limite inferiore dell'unità non affiorante. Prodotti di ambiente subacqueo, con uno spessore affiorante fino a 100 m.
- **Successione vulcano-sedimentaria del Miocene-Pleistocene inferiore – Gruppo di Sortino:** è formata da una successione vulcano-sedimentaria di ambiente marino poco profondo, intervallato da locali fenomeni di emersione (Pedley 1981; Grasso et al. 1982; Tomassetti et al. 2022).
  - **Formazione Monti Climiti** (Burdigaliano – Serravalliano): formazione costituita da due membri eteropici nella parte medio-bassa: Membro di Melilli alla base e Membro dei calcari di Siracusa in alto (Carbone 2011). L'ambiente è di piattaforma carbonatica da prossimale a margine di scarpata. L'età è Oligocene superiore – Tortoniano, anche se nell'area di studio affiorano solo i livelli del Burdigaliano – Serravalliano.
    - **Membro dei calcari di Siracusa** (Burdigaliano – Serravalliano): calcareniti e calciruditi di colore bianco-grigiastro, a litotamni e briozoi, irregolarmente stratificate e notevolmente carsificate, a volte passanti biolititi algali (Carbone 2011). Nei livelli inferiori si rinvencono *facies* biocalciruditiche a frammenti di briozoi, echinodermi, alghe e bivalvi, discretamente cementate, sovente a stratificazione incrociata. A Nord di Augusta la base dell'unità è caratterizzata da circa 15 m di biocalcareni con associazioni ad *Amphistegina* sp. e *Miogypsina* spp., indicative del Burdigaliano. Calcari fini a *Ditrupa* sp. sono presenti nei livelli apicali presso Mass. Spinacia, mentre calcareniti friabili ricche di *Heterostegina* sp. si rinvencono in quasi tutti gli affioramenti. Spessore massimo fino a 100 m.
- **Depositi pleistocenici – Supersintema Iblei Settentrionali:** sono costituiti da terreni prevalentemente marini di ambiente da circolitorale a spiaggia, depositati al di sopra di una superficie di discontinuità di importanza regionale (Lentini et al. 1984; Grasso et al. 2004; Carbone 2011).
  - **Sintema di Lentini** (Pleistocene inferiore): comprende sedimenti francamente marini di varia tessitura e ambiente deposizionale, in rapporto di eteropia latero-verticale (Carbone 1985, 2011). L'unità è delimitata verso il basso da una discordanza angolare su un substrato calcareo e vulcanico del Cretacico superiore-Pleistocene inferiore. La superficie limite superiore rappresenta, invece, l'inviluppo di più superfici erosive interessate da terrazzamenti e da lenti e/o sacche di paleosuolo, talora con fauna a vertebrati.
    - **Subsintema di Villasmundo** (Santerniano – Siciliano): calcareniti e sabbie giallastre fossilifere, massive o a stratificazione piano parallela (Carbone 2011). Alla base dell'unità microfauna a planctonici: *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides elongatus*, *Globigerinita glutinata*, *Orbulina universa*, *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistrorsa) e bentonici: *Bulimia marginata*, indicative del Santerniano. Nella parte medio-alta dell'unità macrofauna a *Aequipecten opercularis* e *Pecten jacobaeus*, localmente a *Cladocora coespitosa*, e ad *Arctica islandica*. Microfauna ad ostracodi a guscio liscio, a dominanti foraminiferi bentonici di acque poco profonde (*Ammonia beccari*, *Elphidium crispum*) insieme a *Brizalina alata*, *Cibicidoides* sp., *Hyalinea balthica*, e a planctonici tra

cui *Globorotalia inflata*, *Globigerinoides ruber*, *G. elongatus*, *Globigerina calida calida*, *Globigerina cf. cariacensis*, ascrivibile al Pleistocene inferiore (Emiliano). L'unità è discordante con geometria *onlap* su diversi termini del substrato. Il passaggio alle argille LEI2 è latero-verticale. Spessore da pochi metri a 150 m in corrispondenza di paleofalesie. Ambiente da infra a circalitorale.

- **Subsistema di Scordia** (Emiliano – Siciliano): argille e argille limoso-marnose di colore grigio-azzurro, giallastre all'alterazione, massive o debolmente stratificate per la presenza di livelli limoso-sabbiosi (Pedley et al. 2001; Grasso et al. 2004; Carbone 2011). Alla base sono localmente presenti lenti spesse fino a 2 m di sabbie e calcareniti ricche di molluschi, tra cui *Arctica islandica*, *Nucula placentina* e *Dentalium rectum*. Nelle argille si rinvencono associazioni batiali tra cui *Dentalium agile*, *Entalina tetragona*, *Abra longicallus*, *Delectopecten vitreus*, *Nucula sulcata* e coralli (*Lophelia pertusa*), oppure associazioni di mare meno profondo tra cui *Dentalium rectum*, *Schizaster* sp., *Turritella tricarinata pliorecens*. Tra la microfauna sono presenti associazioni riferibili rispettivamente alle biozone a foraminiferi e nannofossili Zona *Globigerina cariacensis* / Zona a *Globorotalia truncatulinoidea excelsa* e *Gephyrocapsa*. Depositi di ambiente circalitorale, con spessore affiorante fino a 60 m, fino a 300 nel sottosuolo della baia di Augusta.
- **Sistema Augusta** (Pleistocene medio – Pleistocene superiore): sabbie e calcareniti grossolane organogene di colore giallastro, debolmente cementate, a stratificazione incrociata e/o ondulata (Accordi 1963; Di Grande 1972; Grasso et al. 2004; Carbone 2011). Localmente alla base dell'unità sono presenti lenti di spessore metrico di conglomerati ad elementi vulcanici e calcarei arrotondati di 5-20 cm di diametro, in matrice arenitica bruno-giallastra. Contenuto faunistico rappresentato da resti fossili, mal conservati ed incrostati, di faune "banali" ad *Ostrea* sp., *Glycimeris* sp. e pettinidi, e da associazioni di ambiente temperato-caldo. L'unità è delimitata inferiormente da una superficie limite fortemente erosiva sia sui depositi del Sistema Lentini che sul substrato pre-quaternario. La superficie superiore è erosiva ed è marcata da spianate e/o terrazzi di abrasione marina, da sottili e discontinui lembi di terre rosse, mentre più spesso coincide col profilo topografico intensamente pedogenizzato. Depositi di ambiente infralitorale, con spessore da qualche centimetro a 5 m. La formazione costituisce fino a sei ordini di terrazzi distribuiti tra quota 210 e 20 m s.l.m..
- **Depositi continentali e transizionali del Pleistocene superiore-Olocene**: sono formati da sedimenti alluvionali, costieri e di versante, depositati in discordanza stratigrafica su tutte le unità geologiche più antiche (Carbone 2011).
  - **Deposito alluvionale recente** (Olocene): limi argillosi, più raramente limi sabbiosi di colore bruno (Carbone 2011); sabbie a grana da fine a grossolana, silt e argille con lenti di ghiaie (deposito di piana inondabile). Il deposito fa transizione ad argille e silt lagunari e a sabbie di spiaggia. Spessore affiorante non determinabile; in sottosuolo fino a 10 m. Lungo il fiume Marcellino il deposito è costituito da abbondante frazione eterometrica lavica e/o carbonatica, le tessiture prevalenti sono limoso-ghiaiosa e sabbiosa. Spessore fino a qualche metro in prossimità della foce del fiume Marcellino.
  - **Coltre eluvio-colluviale** (Olocene): detriti a clasti angolosi lavici e/o calcarei eterometrici, in matrice pelitica e/o sabbiosa, terre rosse, limi sabbiosi nerastri, derivanti da alterazione in "situ" e mobilizzati da processi di versante (Carbone 2011). Il litotipo prevalente riflette la natura del substrato. Spessore da qualche decimetro al metro.
  - **Deposito di versante** (Olocene): deposito incoerente e caotico costituito da materiale eterometrico lavico e calcareo (Carbone 2011), da spigoloso a sub-arrotondato, in scarsa matrice sabbioso-limosa.
  - **Deposito di spiaggia** (Olocene): sabbie medie e grossolane ben classate di colore giallo-biancastro, a granuli di quarzo, minore calcite e minerali pesanti, in strati da molto sottili a medi, generalmente amalgamati, localmente alternate a sabbie fini e limi (Carbone 2011). Diffusi e discontinui lag conchigliari con abbondanti bioclasti e biosomi a prevalenti *Tellina* sp., *Cardidae* e rari gasteropodi. Le

strutture sedimentari sono effimere e poco evidenti. Il deposito passa lateralmente verso terra a quello dunare e verso mare ai sedimenti della spiaggia sommersa. Nel litorale a costa alta, isolate insenature e/o baie sono costituite da sottili fasce di spiaggia con sabbie ghiaiose calcaree e scarsa frazione vulcanica.

- **Deposito alluvionale attuale** (Olocene): limi, limi sabbiosi e ghiaie eterometriche a prevalenti clasti calcarei arrotondati e subordinatamente lavici smussati, in formazione in alveo (Carbone 2011). Il deposito è privo di copertura vegetale, ad eccezione di qualche arbusto. Spessore da decimetrico al metro allo sbocco dei valloni principali.
- **Depositi antropici** (Attuale): saline e vasche di salificazione per la produzione industriale con ritmo stagionale di sali minerali (NaCl) (Carbone 2011).

### 6.1.3 Caratteristiche strutturali

Nel loro complesso, i Monti Iblei formano un *horst* di importanza regionale, allungato in direzione NE-SW e controllato da lineamenti tettonici ad alto angolo con carattere prevalentemente estensionale (Carbone 2011). Dal punto di vista strutturale, il *Plateau* Ibleo (Figura 8) risulta delimitato verso nord e nord-ovest dall'Avanfossa di Gela-Catania e verso est dalla Scarpata Maltese, che rappresenta il bordo occidentale dell'intero Bacino Ionico (Makris et al. 1986; Carbone 2011). Il *Plateau* Ibleo è formato da due importanti elementi morfo-strutturali, rappresentati dall'Altopiano Ragusano e dal Settore Ionico (Carbone et al. 1982). Tali elementi risultano separati trasversalmente dalla Linea del Tellaro, una importante struttura tettonica con cinematica transtensiva sinistra (Catalano et al. 2008).

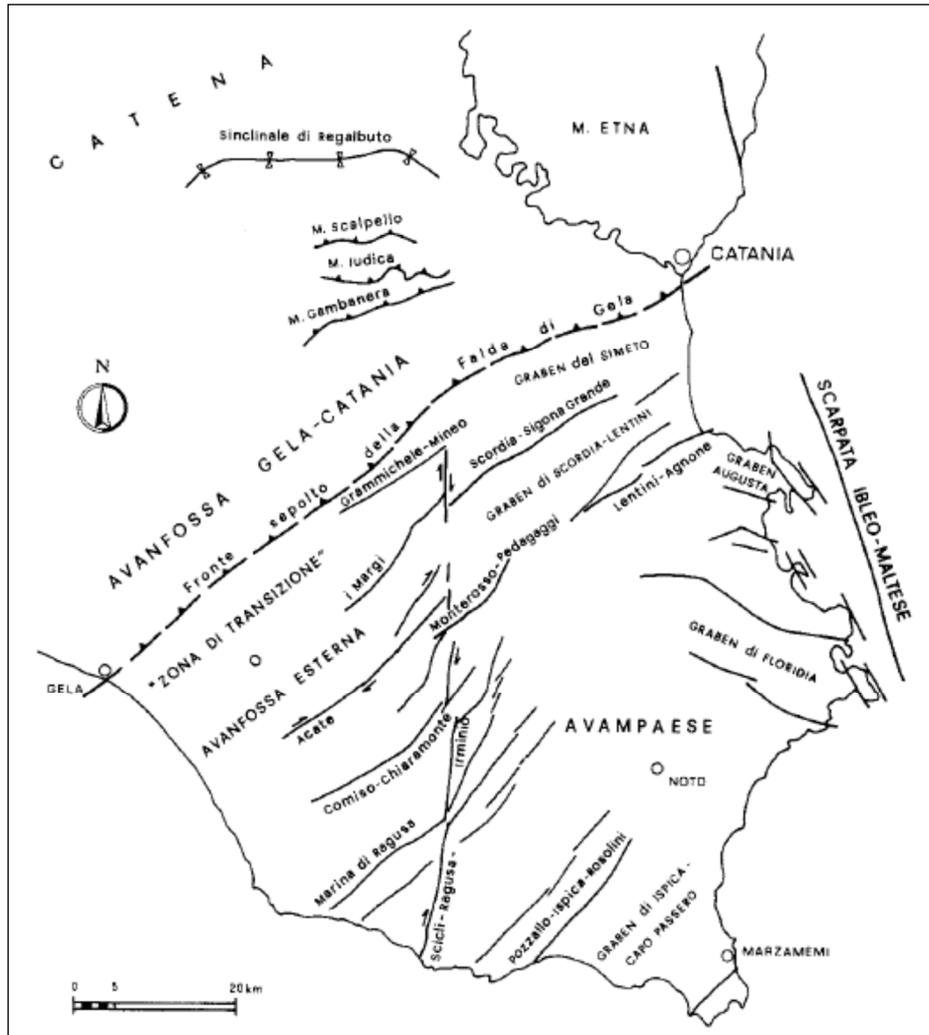
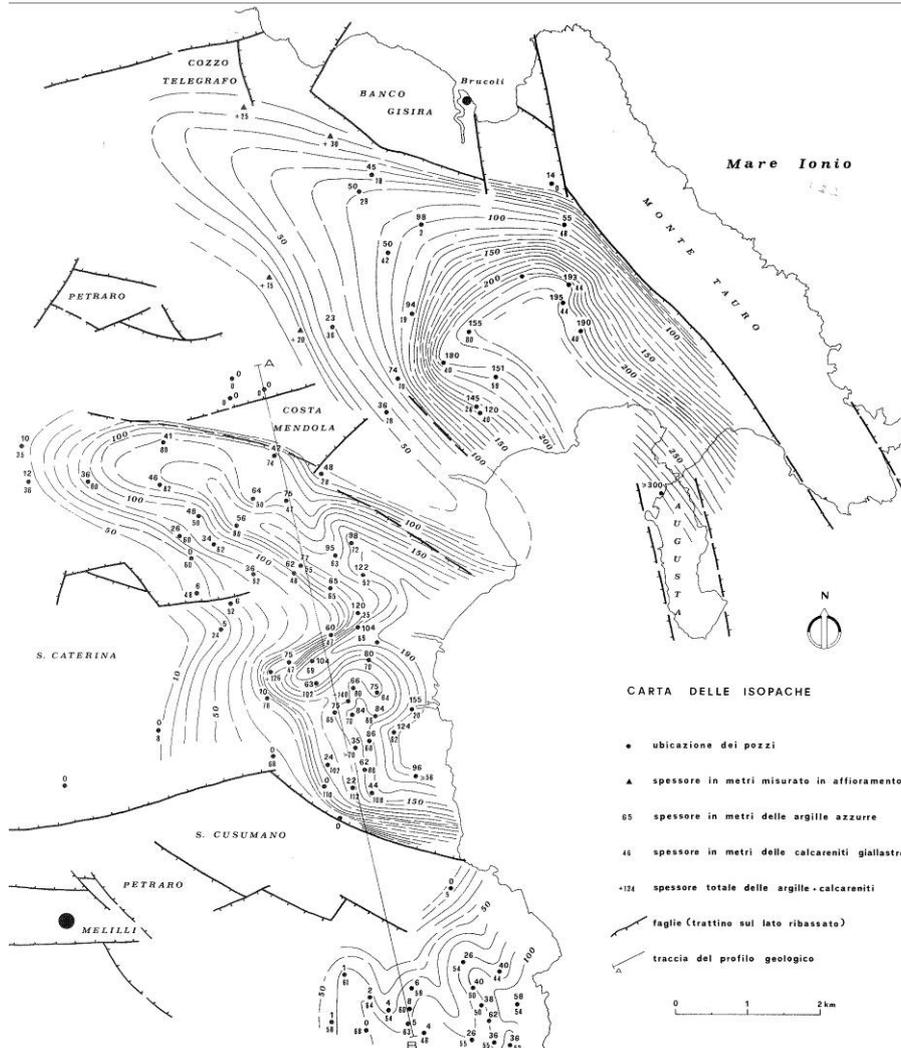


Figura 8 – Schema tettonico delle principali strutture del Plateau Ibleo, dell'Avanfossa Gela-Catania e dei thrusts dell'area di M. Judica (da Bianchi et al. 1987).

L'Altopiano Ragusano rappresenta la porzione più elevata del dominio calcareo (Figura 9) e risulta delimitato, strutturalmente, dai sistemi di Comiso-Chiaramonte ad ovest e di Pozzallo-Ispica-Rosolini ad est (Lentini et al. 1984). Nella zona centrale, tale dominio è attraversato dalla zona di taglio destra di Scicli-Ragusa-Irminio, di età pleistocenica (Ghisetti & Vezzani 1980; Carbone 2011). Fatta eccezione per le zone più esterne, come il Graben di Scicli, l'altopiano calcareo non presenta coperture di sedimenti quaternari e l'assenza di evaporiti messiniane risulta connessa ad un'emersione relativa al post-Messiniano inferiore (Grasso & Lentini 1982).

Il Settore Ionico ha seguito la stessa evoluzione tettono-sedimentaria dell'altopiano ragusano almeno fino al Pliocene (Carbone 2011), come evidenziato dall'assenza di depositi pliocenici in tutta l'area. Tale dominio è interessato da due importanti depressioni strutturali controllate da faglie normali: il Graben di Augusta, posto lungo la terminazione settentrionale dei Monti Climiti e delimitato verso mare dalle penisole di Monte Tauro e di

Magnisi, e il *Graben* dell'Anapo, posto tra i Monti Climiti orientali ed i promontori di Belvedere e della Penisola della Maddalena (Carbone 2011).



**Figura 9 – Carta delle isopache delle formazioni del Pleistocene inferiore e medio (da Carbone 1985).**

Per quanto concerne il Settore Ionico, la transizione all'adiacente Avana fossa Gela-Catania è controllata da fasci di faglie normali a gradinata orientate circa NE-SW, a cui sono connesse le strutture del Graben di Lentini e dell'*Horst* di S. Demetrio (Carbone et al. 1982; Carbone 2011). In prossimità del margine ionico di tale settore, invece, i sistemi di faglie a direzione NW-SE, NNW-SSE e ENE-WSW definiscono le principali strutture tettoniche presenti lungo la costa siracusana (Carbone 2011).

Tra i principali sistemi tettonici del bordo ionico, quello orientato NW-SE non interessa generalmente i depositi quaternari, mentre forma delle scarpate modellate dall'erosione, talora sepolte. Tali scarpate sono prodotte da faglie attive durante il Pliocene e sono da interpretare, quindi, come paleofalesie alla cui base si depositavano i sedimenti sabbioso-calcarei pleistocenici (Carbone 2011). Nelle aree depocentrali delle depressioni strutturali, distanti dagli

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

apporti grossolani, avveniva invece la deposizione di sedimenti pelitici in regime di basso idrodinamismo (Carbone 1985).

Il sistema ENE-WSW, particolarmente evidente nella zona tra Agnone e l'avanfossa, disloca i depositi del Pleistocene inferiore ma non i terreni del Sintema Augusta, che si sono depositati in discordanza su un substrato già parzialmente spianato dall'erosione (Carbone 2011). In relazione a quanto esposto, risulta evidente che le faglie di tale sistema sono state attive prevalentemente durante il Pleistocene inferiore-medio, come chiaramente evidenziato dalla distribuzione estremamente regolare dei depositi terrazzati (Carbone et al. 1982; Carbone 1985).

Le strutture come il *Graben* di Augusta, l'*Horst* di Monte Tauro e l'*Horst* di S. Demetrio sono caratterizzate da evidenti sollevamenti differenziali (Carbone 2011). Lungo l'allineamento di Lentini-Agnone il sistema di faglie normali orientate ENE-WSW disloca i sistemi orientati NE-SW e NW-SE, prevalenti sul bordo dell'Avanfossa Gela-Catania. Infine, a nord della faglia di Agnone, i depositi del Sintema Augusta risultano sensibilmente ribassati, a dimostrazione di un'attivazione recente del sistema ENE-WSW (Carbone 2011).

Il terzo sistema di faglie, orientato circa NNW-SSE, causa la depressione strutturale della Baia di Brucoli nonché l'allungamento in senso meridiano della penisola di Augusta. Tale sistema risulta meno sviluppato dei precedenti ma, nonostante ciò, esercita un importante controllo sull'assetto morfologico del territorio, dislocando le faglie NW-SE che delimitano l'*Horst* di Monte Tauro (Carbone 2011).

## 6.2 Assetto geologico locale

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere e cartografare differenti unità geologiche, relative sia a sequenze sedimentarie di substrato che a successioni clastiche di copertura. In particolare, le perimetrazioni e le descrizioni geologico-strutturali delle unità individuate nell'area derivano da un'integrazione tra le informazioni riportate in letteratura ed i dati raccolti attraverso il rilevamento geologico di superficie e le numerose indagini geognostiche a disposizione.

### 6.2.1 Assetto stratigrafico

Nei settori di stretto interesse progettuale sono state individuate e perimetrare numerose unità geologiche, di seguito descritte dal basso verso l'alto stratigrafico. Si sottolinea che, seguendo i criteri definiti dal Servizio Geologico (Pasquaré et al. 1992), le successioni sono state suddivise utilizzando unità stratigrafiche convenzionali, talora ulteriormente suddivise in membri e litofacies caratterizzate da peculiari caratteristiche litologiche, sedimentologiche e stratigrafiche.

#### 6.2.1.1 Supersintema degli Iblei Settentrionali

I depositi di questo gruppo costituiscono il substrato geologico dell'intera area di studio e sono suddivisibili in due unità, il Sintema Lentini e il Sintema Augusta. Si tratta di successioni marine di piattaforma continentale e spiaggia, ampiamente affioranti in tutto il settore di intervento.

##### 6.2.1.1.1 Sintema Lentini

Questo sintema si rinviene in tutto il settore di intervento e rappresenta il substrato geologico dell'intera area di studio. Si tratta di depositi marini di piattaforma continentale, costituiti da una singola litofacies a composizione argilloso-limosa, genericamente denominati come Subsintema di Scordia. Poggiano in contatto stratigrafico

discordante su unità non affioranti nell'area e presentano uno spessore massimo di circa 300 m. Dal punto di vista cronostratigrafico, i litotipi di questa unità sono riferibili al Pleistocene inferiore (Emiliano – Siciliano).



Figura 10 – Terreni prevalentemente pelitici del Sintema Lentini (LEI2) nel foro di sondaggio BH12\_PZ, tra 25.0 m ed 30.0 m di profondità dal p.c..

La successione in esame (Figura 10) è formata da argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio e grigio-azzurro, giallastre per alterazione (LEI2), massive o debolmente stratificate, con diffusi residui carboniosi, locali resti fossili e sottili livelli di sabbie e sabbie limose di colore giallastro; alla base dell'unità sono presenti lenti, spesse fino a 2 m, di sabbie e calcareniti ricche di molluschi, tra cui *Arctica islandica*; in superficie è localmente presente un paleosuolo bruno con rari resti di vertebrati.

#### 6.2.1.1.2 Sintema Augusta

Il sintema in questione si rinviene nei settori occidentali e settentrionali dell'area di studio, prevalentemente lungo superfici terrazzate blandamente degradanti verso il Porto di Augusta. Stratigraficamente si tratta di depositi marini di piattaforma continentale e spiaggia, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-calcarenitica. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Sintema Lentini e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 6 m. Sotto il profilo cronologico, tali depositi sono ascrivibili all'intervallo Pleistocene medio – Pleistocene superiore.

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

Questa unità è composta da sabbie fini e sabbie limose di colore avana e giallastro (**AUG**), in strati mal definiti di spessore centimetrico e decimetrico, con abbondanti resti fossili mal conservati rappresentati da faune “banali” ad *Ostrea* sp., *Glycimeris* sp. e pettinidi; si rinvengono frequenti intercalazioni di calcareniti e arenarie grossolane di colore giallastro, da mediamente a ben cementate, localmente vacuolari e con diffusi resti fossili, a stratificazione incrociata e/o ondulata; localmente sono presenti lenti di conglomerati ad elementi vulcanici e calcarei arrotondati di 5-20 cm di diametro, in matrice arenitica bruno-giallastra.

#### 6.2.1.2 Depositi marini e transizionali quaternari

I litotipi del presente gruppo sono rappresentati da due unità geologiche, i Depositi marini terrazzati e i Depositi di spiaggia attuali. Si tratta di depositi marini di spiaggia, laguna e cordone litoraneo, affioranti in prossimità della costa ionica nella zona del Porto di Augusta.

##### 6.2.1.2.1 Depositi marini terrazzati

Tali depositi si rinvengono al di sotto delle coltri eluvio colluviali. Si tratta di depositi marini di spiaggia, laguna e cordone litoraneo, costituiti da due differenti litofacies a composizione sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Sintema Lentini e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 7 m. Dal punto di vista cronostatigrafico, i terreni in esame sono riferibili al Pleistocene superiore - Olocene.

La litofacies sabbioso-limosa è costituita da sabbie e sabbie limose di colore nocciola e grigio (**gn2**), massive o in strati da molto sottili a medi, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; si rinvengono intercalazioni di sabbie limoso-argillose e argille limose di colore nocciola e giallastro, a struttura indistinta, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.

La litofacies argilloso-limosa è costituita da argille limose e argille sabbiose di colore nocciola e giallastro (**gn3**), a struttura indistinta, con locali ghiaie e ciottoli poligenici da sub-angolosi ad arrotondati; si rinvengono intercalazioni di sabbie, sabbie limose e sabbie limoso-argillose di colore nocciola e grigio, massive o sottilmente stratificate, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.

##### 6.2.1.2.2 Depositi di spiaggia attuali

Tali depositi si rinvengono in lembi di limitata estensione nel settore centrale e nord-orientale dell'area di studio, in prossimità del litorale ionico. Si tratta di depositi marini di spiaggia e cordone litoraneo, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Sintema Lentini e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 8 m. Dal punto di vista cronostatigrafico, i terreni in esame sono riferibili all'Olocene – Attuale.

L'unità è formata da sabbie medie e grossolane ben classate di colore giallo-biancastro (**g2**), in strati da molto sottili a medi, generalmente amalgamati, con locali intercalazioni di limi e sabbie fini; si rinvengono diffusi e discontinui lag conchigliari con abbondanti resti di *Tellina* sp., *Cardidae* e rari gasteropodi; talora sono presenti lenti e/o livelli di sabbie ghiaiose di colore biancastro.

#### 6.2.1.3 Depositi continentali quaternari

I depositi di questo gruppo si rinvengono in tutta l'area di studio, come copertura dei termini litologici più antichi. Si tratta di depositi continentali di genesi alluvionale, antropica e detritico-colluviale, rappresentati da quattro

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

differenti unità geologiche, ovvero i depositi alluvionali recenti, i depositi alluvionali attuali, le coltri eluvio-colluviali e i riporti antropici.

#### 6.2.1.3.1 Depositi alluvionali recenti

I presenti litotipi si rinvencono, in lembi di limitata estensione, in corrispondenza di piccoli corsi d'acqua presenti nelle porzioni occidentale e nord-orientale dell'area di studio. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e piana inondabile, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Sintema Lentini e mostrano uno spessore massimo di circa 4 m. Dal punto di vista cronologico, l'unità è riferibile al periodo Olocene.

L'unità è composta prevalentemente da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro (**bb2**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; si rinvencono intercalazioni di argille limose grigie con abbondante materiale organico e lenti di ghiaie poligeniche in scarsa matrice sabbioso-limosa grigiastrea.

#### 6.2.1.3.2 Depositi alluvionali attuali

I depositi in esame affiorano unicamente in corrispondenza degli alvei attuali di un piccolo corso d'acqua presente nella porzione nord-occidentale della zona di intervento e degli alvei attuali di due piccoli corsi d'acqua presenti nella porzione nord-orientale dell'area di studio. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale e argine, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 1 m. Sotto il profilo cronostratigrafico, l'unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

Dal punto di vista litologico, l'unità è composta da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**ba1**), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; si rinvencono frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e marrone, a struttura indistinta, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

#### 6.2.1.3.3 Coltri eluvio-colluviali

Tali terreni si rinvencono diffusamente come copertura delle unità geologiche di substrato, sia alla base dei rilievi presenti in prossimità della costa che all'interno delle principali depressioni impluviali. Si tratta di depositi continentali di versante, dilavamento e di alterazione del substrato, costituiti da una singola litofacies a composizione limoso-argilloso. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 4 m. Anche questa unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

L'unità è formata essenzialmente da limi argillosi e argille limoso-sabbiose di colore marrone, grigio e brunastro (**b2**), a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi sabbiosi e sabbie limose di colore marrone e giallastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

#### 6.2.1.3.4 Riporti antropici

I presenti depositi si rinvencono diffusamente in corrispondenza delle principali strutture e infrastrutture antropiche, oltre che in tutta la zona del Porto di Augusta. Si tratta di depositi continentali di genesi antropica, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 9 m. L'unità è interamente riferibile al periodo Attuale.

In generale, i riporti sono composti da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**h**), da angolose a sub-angolose, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e avana, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie e sabbie limose grigie, marroni e giallastre, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

### 6.2.2 *Assetto strutturale*

L'area di studio presenta un assetto strutturale estremamente semplice e regolare, in quanto connesso a successioni marine e continentali piuttosto recenti. I termini pelitici del substrato, riferibili al Subsistema di Scordia (**LEI2**) mostrano un assetto prevalentemente sub-orizzontale o debolmente inclinato verso la costa. Solo nei settori esterni del Bacino di Augusta è possibile osservare un assetto blandamente immergente verso il depocentro, con angoli che comunque non superano quasi mai i 5-10° circa.

I depositi terrazzati del Sintema di Augusta (**AUG**) poggiano con una superficie fortemente erosiva sui depositi pelitici più antichi e presentano un assetto generalmente immergente verso la costa. Solo localmente è possibile osservare una debole inclinazione verso la zona centrale del Bacino di Augusta, con angoli generalmente inferiori a quelli del Subsistema di Scordia (**LEI2**).

In tutta l'area di interesse progettuale non sono stati osservati elementi tettonici quali faglie, *thrust* e pieghe. L'assenza di questi elementi è connessa sia alla presenza di diffuse coperture oloceniche, che tendono a mascherare le strutture più antiche, che all'età relativamente recente dei termini di substrato e alla natura prevalentemente pelitica degli stessi. L'unica faglia riportata nella carta geologica prodotta è quella derivante dal database delle faglie capaci ITHACA, di cui però non si hanno evidenze dirette al suolo o da analisi fotointerpretative.

## 7 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'evoluzione geomorfologica del settore di studio è legata ad un insieme di fattori geologici *s.l.* e geologico-strutturali che hanno agito, in maniera concomitante, nello sviluppo del paesaggio attuale. In particolare, l'assetto geomorfologico del settore di Augusta è fortemente condizionato dall'azione marina lungo la costa e delle acque correnti superficiali lungo i versanti. Spesso, sia nei settori interni che lungo il litorale, l'azione antropica risulta essere il principale fattore morfogenetico del territorio.

### 7.1 Assetto geomorfologico regionale

La morfologia superficiale del territorio in esame (Figura 11) risulta profondamente connessa all'evoluzione geodinamica dell'Avanfossa Gela-Catania e dell'Avampaese Ibleo (Lentini et al. 1995; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000), particolarmente intensa soprattutto nel Pleistocene medio-superiore e nell'Olocene (Carbone 2011). Ad essa si aggiungono inoltre gli effetti geomorfologici dovuti alle acque superficiali, sia continentali che marine, e alla intensa antropizzazione dell'area, soprattutto in corrispondenza dei principali centri urbani e delle maggiori opere di comunicazione.

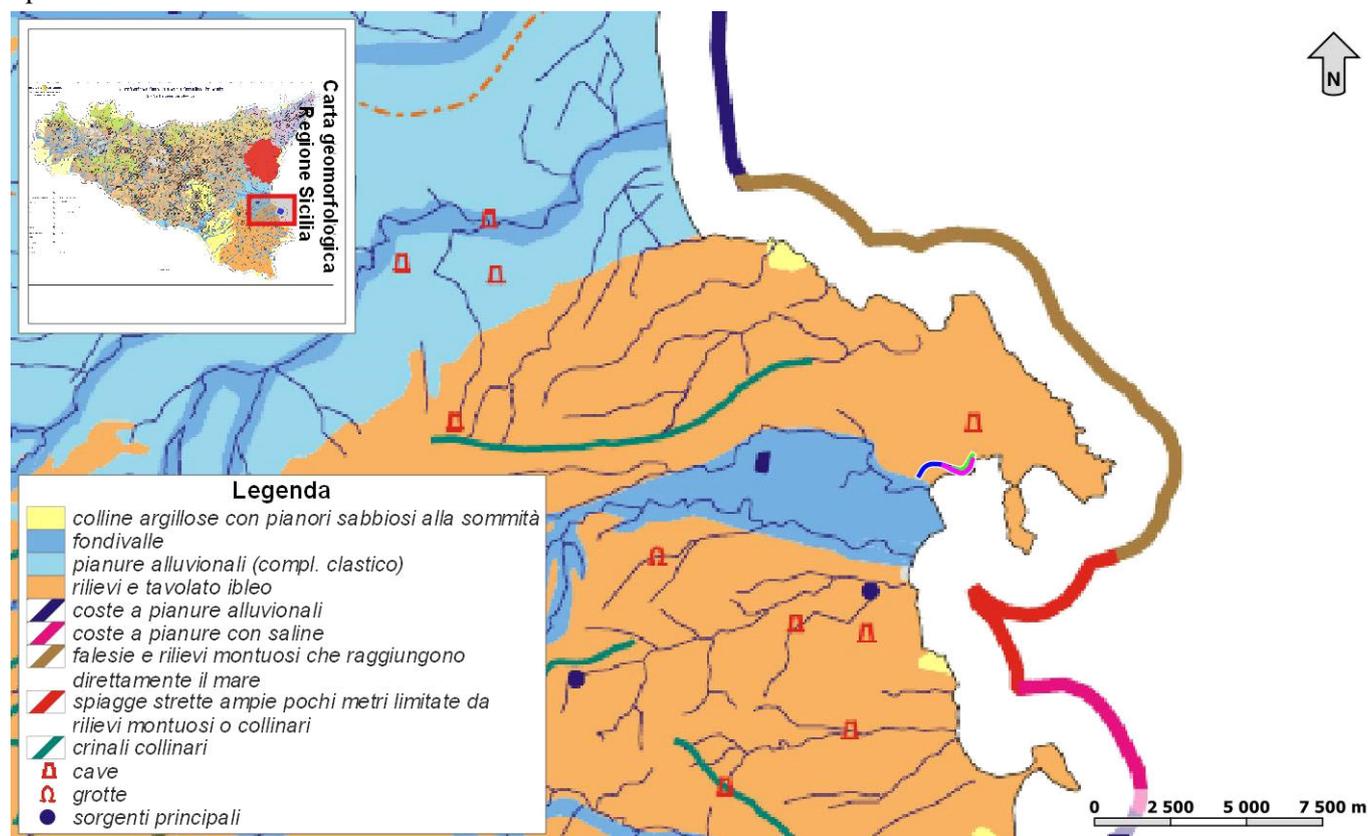


Figura 11 – Stralcio della Carta Geomorfologica, scala originale 1:500000 riprodotta in scala 1:250000, (da Regione Siciliana 2002) con indicazione dell'opera in progetto (in blu).

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

### 7.1.1 *Morfologia e sedimentologia della zona costiera*

La fascia costiera dell'area di studio risulta piuttosto complessa ed articolata, essendo costituita sia da segmenti di litorale bassi e sabbiosi che da costoni alti e rocciosi, localmente caratterizzati dalla presenza di piccole insenature e *pocket beach* (Carbone 2011). Tale variabilità morfologica è certamente dovuta alla particolare posizione geologica che il litorale occupa all'interno del quadro geologico regionale, a cavallo tra settori con caratteristiche geologiche estremamente differenti (Longhitano & Zanini 2006).

In generale, il litorale del settore nord-orientale del *Plateau* Ibleo può essere suddiviso in due sub-settori costieri (Carbone 2011), ognuno con precise caratteristiche morfologiche e morfoevolutive:

- **sub-settore orientale**, formato da un articolato litorale roccioso a costa alta, esteso per alcune decine di chilometri tra il Promontorio di Agnone e Punta Izzo; è contraddistinto dalla presenza di rocce sia vulcaniche che sedimentarie, localmente interrotte da rari corsi d'acqua e limitate *pocket beach*;
- **sub-settore meridionale**, composto da un esteso litorale a costa bassa, compreso tra Punta Izzo e Punta Giannalena; comprende una fascia costiera originariamente caratterizzata dalla presenza di estesi laghi e pantani peri-costieri, attualmente quasi del tutto obliterati dall'intensa copertura antropica.

Il sub-settore orientale presenta un profilo di tipo riflessivo (Orton & Reading 1993), caratterizzato quindi da una morfologia di spiaggia sommersa che rapidamente degrada al di sotto della zona di azione del moto ondoso, escludendo qualsiasi dissipamento di energia dei frangenti. Fatta eccezione per le aree morfologicamente protette, questo settore presenta quindi degli alti valori di energia, che provocano vistose azioni di sgretolamento meccanico delle rocce che formano le falesie. Localmente, possono essere presenti relitti di falesia abbandonata a breve distanza dalla costa (*mesa*), oltre che limitate spianate di abrasione marina (Carbone 2011).

Gli accumuli detritici derivanti dai crolli delle falesie vanno localmente a formare delle *pocket beach* poco estese (Carbone 2011), che interrompono la continuità della costa alta insieme a sporadici corsi d'acqua a carattere prevalentemente stagionale. Alcune aree di questo tratto costiero sono caratterizzate, inoltre, dalla presenza di superfici terrazzate a ridosso della costa, con successioni sedimentarie pleistoceniche che riproducono cicli di oscillazione eustatica di alta frequenza (Carbone 2011).

Il sub-settore meridionale, infine, è rappresentato *pro parte* dal litorale del Golfo di Augusta, un esteso settore costiero formato da due insenature naturali corrispondenti a Porto Xifonio e Porto Megarese. È costituito quindi da un litorale sabbioso di tipo dissipativo (Orton & Reading 1993), caratterizzato da un'ampia fascia interna a carattere lacustre e/o palustre. In seguito alle opere di bonifica iniziate negli anni '50, all'interno di tale zona è stato impiantato un importante sistema di saline, ubicato in corrispondenza della foce del T. Mulinello (Carbone 2011). La caratterizzazione attuale di tale settore risulta piuttosto difficoltosa e complessa, essenzialmente a causa dell'intensa copertura urbana che ha portato alla progressiva scomparsa dei caratteri morfologici e sedimentologici originari (Carbone 2011).

### 7.1.2 *Depositi marini terrazzati e spianate di abrasione*

Lungo la costa ionica del *Plateau* Ibleo, sono presenti estesi depositi e superfici terrazzate del Pleistocene medio-superiore (Figura 12), distribuiti tra i 210 ed i 20 m circa s.l.m. (Carbone 2011). Il limite di monte è generalmente segnato dalla presenza di scarpate calcaree e costoni lavici, che si sviluppano quasi ininterrottamente dai dintorni di Villasmundo fino alla terminazione meridionale dei Monti Climiti. Tali scarpate, impostate in corrispondenza di sistemi di faglie, molto probabilmente non sono mai state oltrepassate dall'ingressione marina del Pleistocene medio (Carbone 2011).

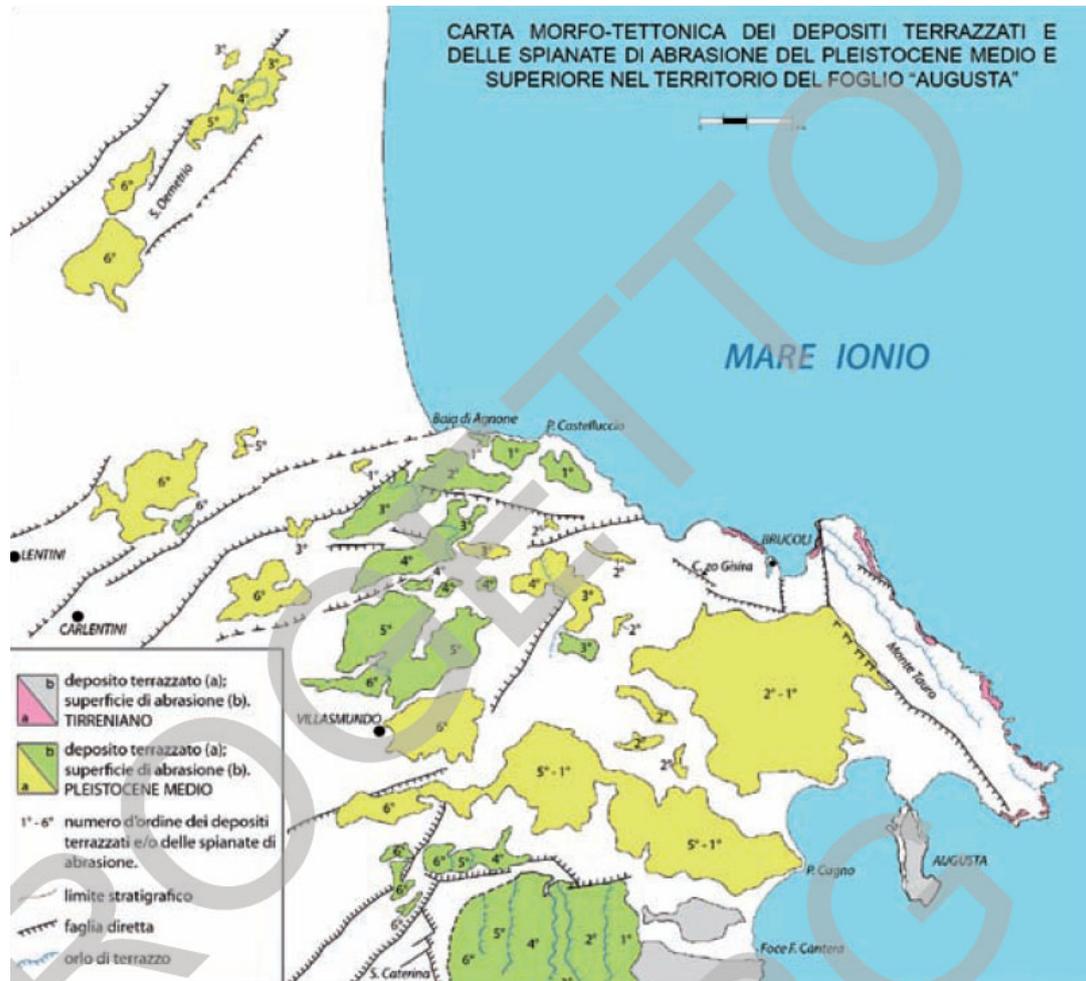


Figura 12 – Carta morfo-tettonica dei depositi terrazzati e delle spianate di abrasione marina del Pleistocene medio-superiore (da Carbone 2011).

I terrazzi di questo intervallo cronologico sono rappresentati sia da spianate di abrasione che da depositi clastici, costituiti essenzialmente da conglomerati poligenici o da calcareniti di “panchina” del Sintema Augusta (Carbone 2011). L’area più tipica è quella di Villasmundo, dove la copertura del Pleistocene medio-inferiore si estende in debole discordanza angolare oltre i depositi del Sintema Lentini, fino a ricoprire i termini del substrato pre-quadernario. Infatti, a sud di Villasmundo i depositi del Sintema Augusta sono rappresentati da pochi metri di conglomerati debolmente cementati, in appoggio sulle lave del Pliocene inferiore. Più ad est, invece, i depositi terrazzati sono rappresentati da calcareniti e calciruditi organogene ben cementate, a stratificazione incrociata e/o ondulata, sempre riferibili al Sintema Augusta.

In generale, la linea di massima ingressione marina del Pleistocene medio è marcata da grotte, sifoni e solchi di battente con fori di litofagi, posti sempre in corrispondenza di una scarpata più o meno accentuata che corrisponde alla paleofalesia (Carbone 2011). Nel *Graben* di Agnone-Lentini, la panchina si mantiene a circa 140 m s.l.m. e si attesta, generalmente, contro le scarpate di faglia che limitano la depressione strutturale verso sud. Nell’area dell’*Horst* di S. Demetrio, invece, è possibile che la linea di massima ingressione si trovasse in posizione più

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

arretrate e non sia attualmente visibile per l'erosione operata dal Fiume S. Leonardo (Carbone 2011). Infine, verso Villasmundo la linea di massima ingressione risulta dislocata dalle faglie del Sistema Lentini-Agnone e si rinviene ad una quota di circa 200 m s.l.m..

## 7.2 Assetto geomorfologico locale

L'area di studio, in relazione alla complessa evoluzione geologica subita, risulta fortemente influenzata dal locale assetto stratigrafico-strutturale, oltre che dai fenomeni di modellamento superficiale che l'hanno interessata durante il Quaternario e dalle importanti variazioni eustatiche succedutesi nel tempo. Di seguito vengono descritti nel dettaglio i principali elementi geomorfologici presenti nell'area ed i relativi fattori morfoevolutivi, con esplicito riferimento a quanto riportato nelle cartografie geomorfologiche allegate alle presenti note.

### 7.2.1 Elementi idrografici

La struttura della rete idrografica locale è, in generale, fortemente influenzata sia dalle caratteristiche morfologiche del territorio che dalla natura litologica dei litotipi affioranti. Nelle aree collinari meridionali, infatti, il reticolo idrografico locale presenta uno sviluppo poco ramificato ed un *pattern* sub-angolare che segue in buona sostanza i principali allineamenti strutturali dell'area. Nei settori delle principali aree alluvionali e costiere, invece, la rete idrografica superficiale risulta piuttosto sviluppata ed articolata, anche se profondamente modificata dalle numerose opere di bonifica e regimazione idraulica realizzate nel corso degli ultimi secoli.

### 7.2.2 Elementi strutturali e tettonici

Un importante ruolo nell'evoluzione morfologica del territorio è svolto, ovviamente, dall'assetto strutturale dei litotipi affioranti e dal loro differente grado di erodibilità. Minore importanza hanno invece gli elementi connessi alla complessa tettonica estensionale e trascorrente che ha interessato il settore orientale del *Plateau* Ibleo a partire dal Mesozoico.

La morfogenesi selettiva ha portato, infatti, allo sviluppo di forme morbide e poco marcate in corrispondenza dei settori di affioramento di termini litologici prevalentemente pelitici del substrato, che presentano pendii poco acclivi blandamente degradanti verso la zona costiera. Nelle zone di affioramento dei depositi terrazzati e di banchina, al contrario, la morfogenesi selettiva ha portato allo sviluppo di forme più aspre e marcate, caratterizzate da versanti più acclivi spesso interrotti da bruschi stacchi morfologici.

Nell'area di studio non sono visibili elementi strutturali connessi con la tettonica distensiva e trascorrente meso-cenozoica. L'assenza di tali elementi in superficie potrebbe essere dovuta alla presenza di spesse successioni pleistoceniche e diffuse coperture quaternarie, che hanno mascherato o completamente obliterato le forme strutturali più antiche.

### 7.2.3 Forme, processi e depositi gravitativi di versante

I fenomeni gravitativi di versante, nell'attuale contesto morfo-climatico dell'area, rappresentano un fattore morfoevolutivo di secondaria importanza in quanto scarsamente influenti sul modellamento dei rilievi e sull'evoluzione geomorfologica dell'intero territorio in esame. La loro presenza è limitata ai settori di affioramento del substrato pelitico pleistocenico in prossimità della costa ionica, poco a sud della galleria ferroviaria esistente.

Nell'area di studio sono presenti, infatti, solo sporadici dissesti riconducibili sia a fenomeni di deformazione viscosa delle coltri (*creep* e/o soliflusso) che a movimenti franosi s.s.. Si tratta, in buona sostanza, di fenomeni

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b></p>					
	<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA</p>	<p>COMMESSA RS60</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA R69RG</p>	<p>DOCUMENTO GE 00 01 001</p>	<p>REV. A</p>

poco estesi e piuttosto superficiali, che coinvolgono unicamente le coltri di copertura eluvio-colluviali o le porzioni più superficiali ed alterate del substrato geologico locale.

A valle della linea ferroviaria esistente, in corrispondenza del versante che degrada in direzione del litorale ionico all'altezza del molo commerciale di Augusta, è presente un esteso settore interessato da franosità diffusa. Si tratta di movimenti superficiali con stato attivo e distribuzione prevalentemente costante, che interessano le coltri di copertura e la parte più superficiale del substrato pelitico. I movimenti sono prevalentemente rotazionali e a cinematica estremamente lenta.

I settori nord-orientali dell'area di studio, a monte della linea ferroviaria esistente, sono invece interessati da fenomeni di *creep* e/o soliflusso. Si tratta di deformazioni estremamente lente e con ridotta capacità morfoevolutiva, che interessano prevalentemente le coltri di copertura di genesi eluvio-colluviale. I processi deformativi sono strettamente connessi alle precipitazioni meteoriche e interessano tutto il versante a monte della strada di accesso all'area portuale, fino ai settori di affioramento dei termini calcarenitici pleistocenici.

### 7.2.3.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico Regione Sicilia

Le cartografie tematiche del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia (PAI 2005 aggiornamento 2021) non riportano areali di pericolosità geomorfologica connessi con la stabilità di versante nell'area di studio.

In particolare, il settore di intervento non presenta interferenza con alcuna area di pericolosità geomorfologica censita nelle cartografie del PAI (Figura 13, Figura 14 e Figura 15).

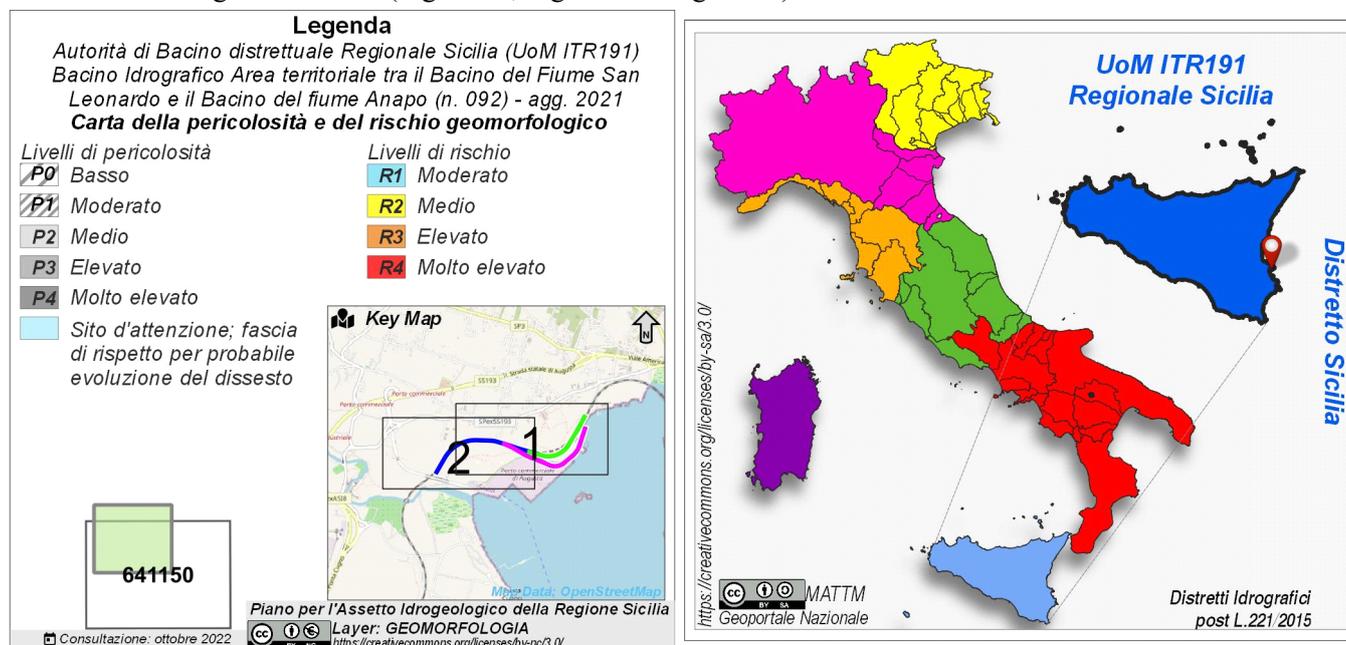


Figura 13 – Legenda delle cartografie del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia (PAI 2005 aggiornamento 2021 – 092 Bacino Idrografico dell'Area territoriale tra il Bacino del Fiume San Leonardo e il Bacino del Fiume Anapo) con tavola di inquadramento delle figure seguenti.

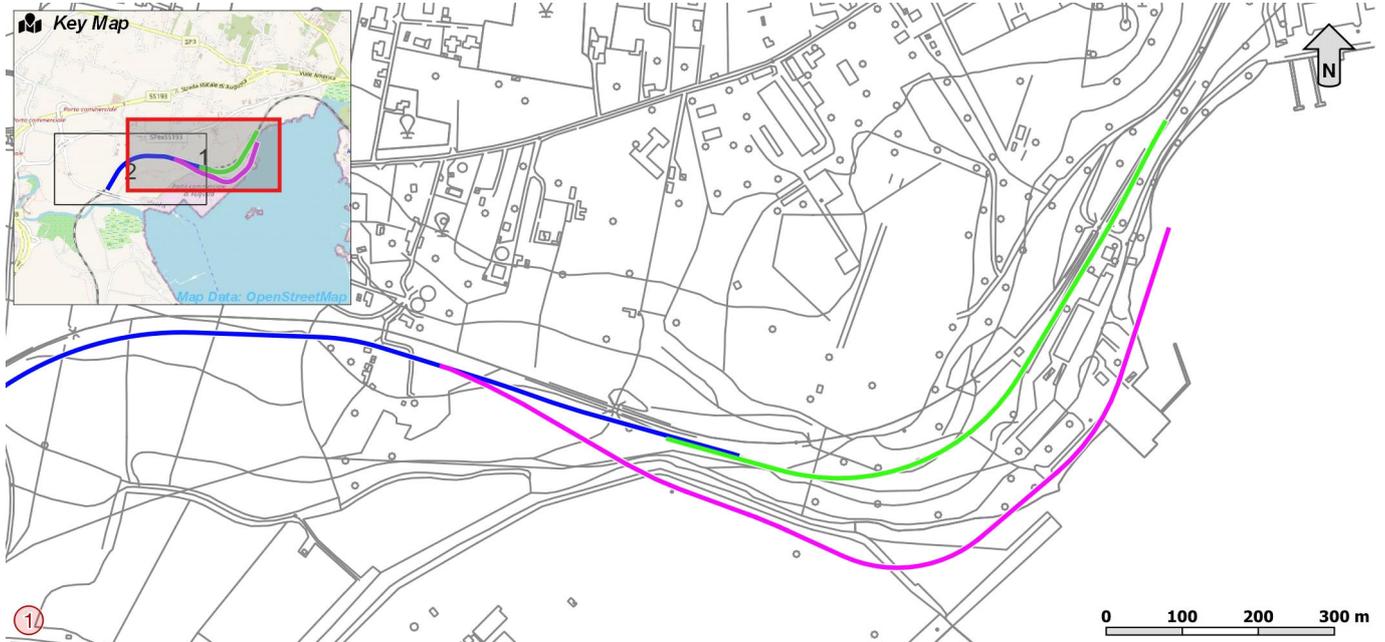


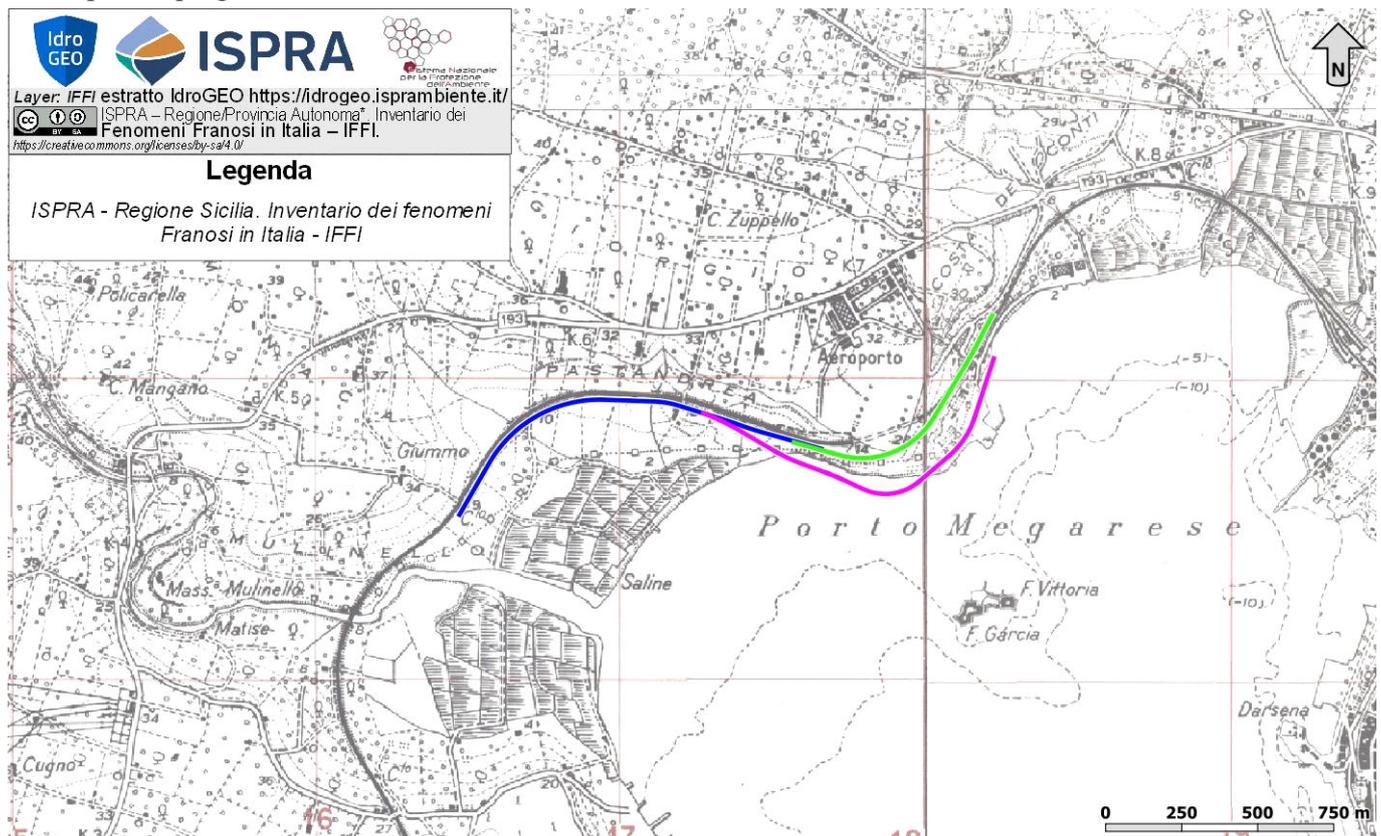
Figura 14 – Stralcio della carta della pericolosità e del rischio geomorfologico del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia (PAI 2005 aggiornamento 2021 – 092 Bacino Idrografico dell’Area territoriale tra il Bacino del Fiume San Leonardo e il Bacino del Fiume Anapo), con individuazione del tracciato ferroviario in progetto in blu (legenda: Figura 13).



Figura 15 – Stralcio della carta della pericolosità e del rischio geomorfologico del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia (PAI 2005 aggiornamento 2021 – 092 Bacino Idrografico dell’Area territoriale tra il Bacino del Fiume San Leonardo e il Bacino del Fiume Anapo), con individuazione del tracciato ferroviario in progetto in blu (legenda: Figura 13).

### 7.2.3.2 Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI)

Dalla consultazione dell'inventario frane IFFI (Figura 16) non sono evidenziati fenomeni di frana s.s. nei pressi delle opere in progetto.



**Figura 16 - Stralcio della carta dell'“Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia” progetto IFFI (Regione Sicilia 2016), con individuazione del tracciato ferroviario in progetto.**

Pertanto, le opere in progetto impegnano settori di territorio caratterizzati da generale stabilità geomorfologica, come confermato dagli studi geologici e geomorfologici appositamente condotti per il presente studio, basati sia sul rilevamento di campo che su analisi fotointerpretative di dettaglio, integrati con indagini dirette ed indirette.

Ad ogni modo, il livello di criticità specifica dei fenomeni di dissesto è relativo all'attuale contesto antropico e morfo-climatico dell'area. Pertanto, la possibile influenza dei fenomeni di dissesto sulle opere in progetto, dove segnalato, andrà puntualmente valutata ed analizzata in funzione delle specifiche scelte progettuali e delle indicazioni fornite nel presente studio specialistico.

### 7.2.4 *Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali*

Nell'intera area esaminata, le forme di accumulo connesse al deflusso idrico superficiale risultano essere poco diffuse, in quanto non sono presenti corsi d'acqua dalla portata, regime e dimensioni importanti. Ciononostante, nei settori nord-orientale e sud-occidentale dell'area di studio sono presenti aste fluviali minori che nel corso del tempo

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

e, specialmente in corrispondenza di eventi meteorici particolarmente intensi, hanno trasportato e depositato sedimenti caratterizzati da vistose variazioni granulometriche e tessiturali.

Le forme più diffuse e rappresentative dall'azione delle acque correnti superficiali sono presenti in corrispondenza dei versanti e dei rilievi più acclivi e generate da chiari fenomeni erosivi, sia areali che lineari. È quindi possibile osservare, soprattutto nel settore centrale e meridionale, forme caratteristiche quali solchi di erosione concentrata e aree caratterizzate da ruscellamento areale diffuso.

Nel settore centro-meridionale è inoltre presente una conoide alluvionale con stato attivo in corrispondenza delle saline a ovest del porto commerciale.

### 7.2.5 *Forme, processi e depositi di origine marina*

Gli elementi connessi con l'azione delle acque marine sono localmente presenti nel settore centrale-meridionale dell'area di studio, in corrispondenza della parte interna del porto commerciale di Augusta. Le spiagge sono essenzialmente sabbiose e ghiaioso-sabbiose; quelle nel settore nord-orientale sono maggiormente caratterizzate da prevalenti fenomeni erosivi, dovuti in buona sostanza all'azione del moto ondoso rispetto a quelle nel settore centrale, che risultano protette nei confronti del moto ondoso dalle infrastrutture collegate all'attività portuale.

Verso l'interno sono invece presenti ampie superfici terrazzate, sia deposizionali che di abrasione, distribuite su sei ordini di differente età ed importanza. In particolare, i terrazzi sono costituiti da superfici di erosione blandamente immergenti verso il mare o, in alternativa, da corpi sedimentari di natura conglomeratica e calcarenitica, di spessore variabile tra pochi centimetri ed i 5-6 m circa.

Le scarpate di erosione marina, infine, presentano una modesta estensione areale e risultano generalmente localizzate in corrispondenza delle successioni sabbioso-calcarenitiche presenti nella parte alta dei versanti. Questi elementi sono quindi la testimonianza di antiche linee di costa sollevate, ognuna delle quali corrispondenza a delle fasi di alto stazionamento eustatico.

### 7.2.6 *Forme poligeniche*

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

Da questo complesso quadro geomorfologico derivano, quindi, alcune forme poligeniche originate dalla sovrapposizione dei differenti fattori morfogenetici agenti sul territorio. Tali elementi sono rappresentati, fondamentalmente, da scarpate morfologiche di origine fluviale e/o marina, attualmente in evoluzione per fenomeni di dilavamento e alterazione. Spesso, inoltre, i suddetti elementi risultano ulteriormente rielaborati dall'attività antropica, che tende a riprendere e riadattare le forme geomorfologiche più importanti già presenti sul territorio.

### 7.2.7 *Forme antropiche e manufatti*

I principali elementi connessi con l'attività antropica sul territorio sono rappresentati dai manufatti realizzati in corrispondenza delle maggiori aree urbanizzate e da tutti gli elementi connessi con la costruzione delle infrastrutture a rete più importanti. Nei settori più antropizzati si rinvengono, inoltre, estesi materiali di riporto provenienti da cavature e sbancamenti, realizzati sia nei termini litologici del substrato che nei depositi di copertura

quaternari. La maggior parte delle zone di riporto corrispondono, ovviamente, ai rilevati delle principali infrastrutture a rete ed ai terreni accumulati in corrispondenza delle aree urbane più estese.

Ai suddetti elementi si aggiungono, ovviamente, numerosi tagli, sbancamenti e scarpate antropiche realizzate sia lungo le principali arterie stradali e ferroviarie che in corrispondenza di fabbricati ed abitazioni. Tali elementi presentano in genere altezze contenute, raramente superiori a 3 m, e molto frequentemente sono posti in corrispondenza di scarpate naturali preesistenti, come ad esempio quelle che bordano le principali superfici terrazzate presenti nell'area di studio.

Lungo gli alvei e i fossi di corrivazione sono localmente presenti opere di regimazione idraulica, quali briglie, argini artificiali e interventi per la mitigazione dei processi erosivi. Lungo la costa, invece, si rinvencono importanti opere antropiche connesse allo sviluppo del porto di Augusta, quali moli, banchine e scogliere.

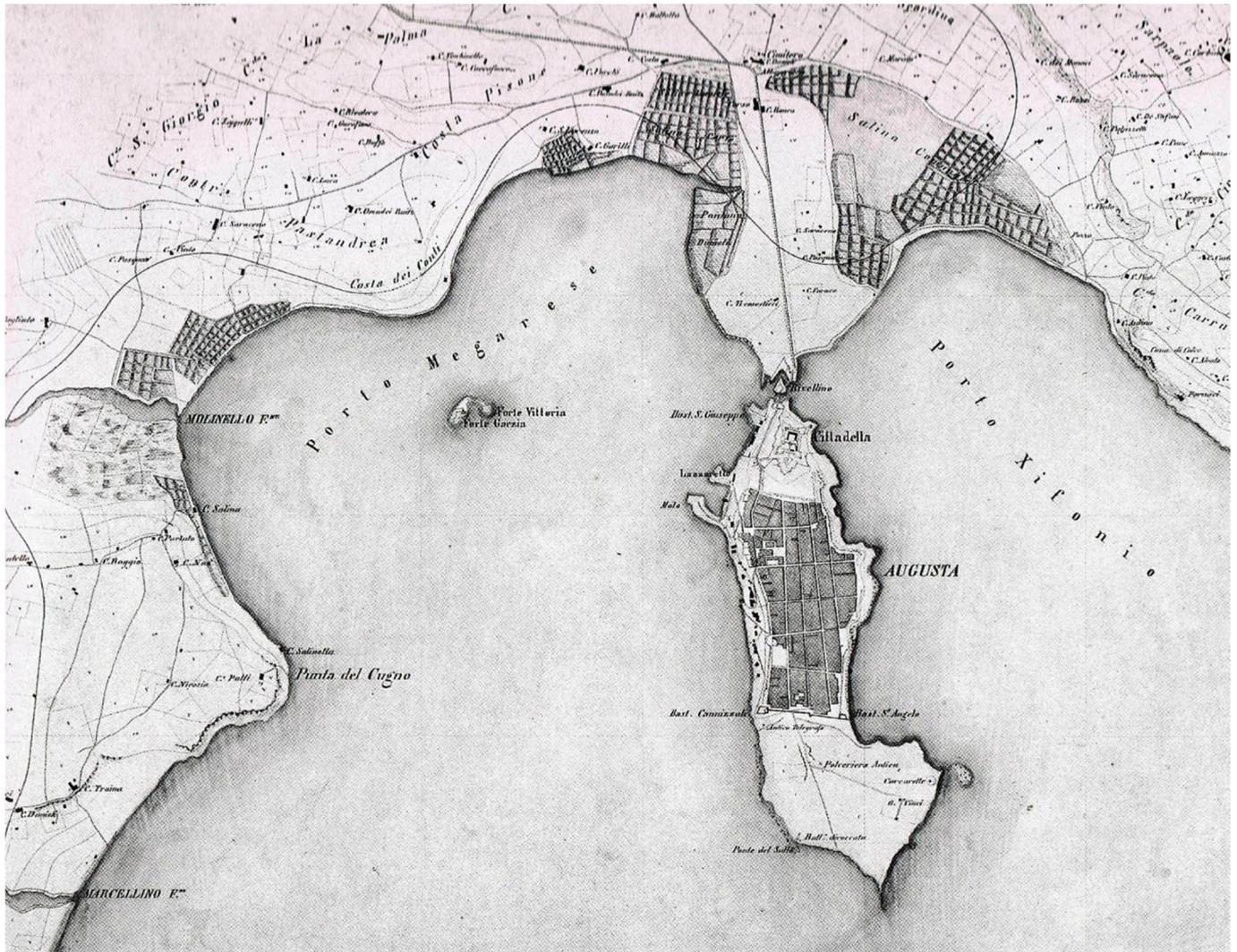


Figura 17 – Mappa di ubicazione delle principali saline nella zona di Augusta.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

Gli elementi antropici più caratteristici della zona di Augusta sono le numerose “saline” presenti all’interno della baia, tra il Porto Xifonio e il Porto Megarese (Figura 17). Si tratta di una serie di vasche e bacini artificiali utilizzati per l’estrazione del sale dalle acque del mare, essenzialmente attraverso processi di evaporazione. Le saline risalgono almeno al XVI secolo e per centinaia di anni hanno rappresentato una delle principali risorse economiche di quest’area. Verso la fine del 19860, le saline furono divise in due parti a seguito della realizzazione della ferrovia Catania-Siracusa, aperta al traffico nel gennaio del 1871.

Nel 1979 le saline di Augusta sono state definitivamente chiuse a causa della vicinanza con impianti industriali e petrolchimici costruiti nell’immediato dopoguerra. Attualmente il sito non è stato ancora bonificato, ma è stato comunque inserito tra i nominativi dell’Ufficio Speciale per le Aree ad Elevato Rischio di Crisi Ambientale della Sicilia (istituito con la delibera n° 306 del 29 giugno 2005).

### 7.2.8 Cavità sotterranee naturali e antropiche

Il Database Nazionale Sinkhole dell’ISPRA, consultabile al sito (<http://sgi.isprambiente.it/sinkholeweb/viewer/index.html>) non riporta la presenza di sinkhole nell’area in esame.

Il Portale del Catasto Nazionale delle Grotte d’Italia, consultabile al sito <http://speleo.it/catastogrotte/ricerche/>, riporta nel Comune di Augusta la presenza della Grotta del Monaco (7170SI-SR, Tabella 1). Essa si trova a oltre 4.4 km a ESE della tratta ferroviaria, lungo la costa nei pressi di Punta Sant’Elia.

Nome	Codice	Provincia	Comune	Quota	Dislivello totale	Profondità	Sviluppo planimetrico	Sviluppo spaziale
Grotta del Monaco	7170SI-SR	Siracusa	Augusta	20 m	6 m	positiva 2 m – negativa 4 m	148 m	150 m

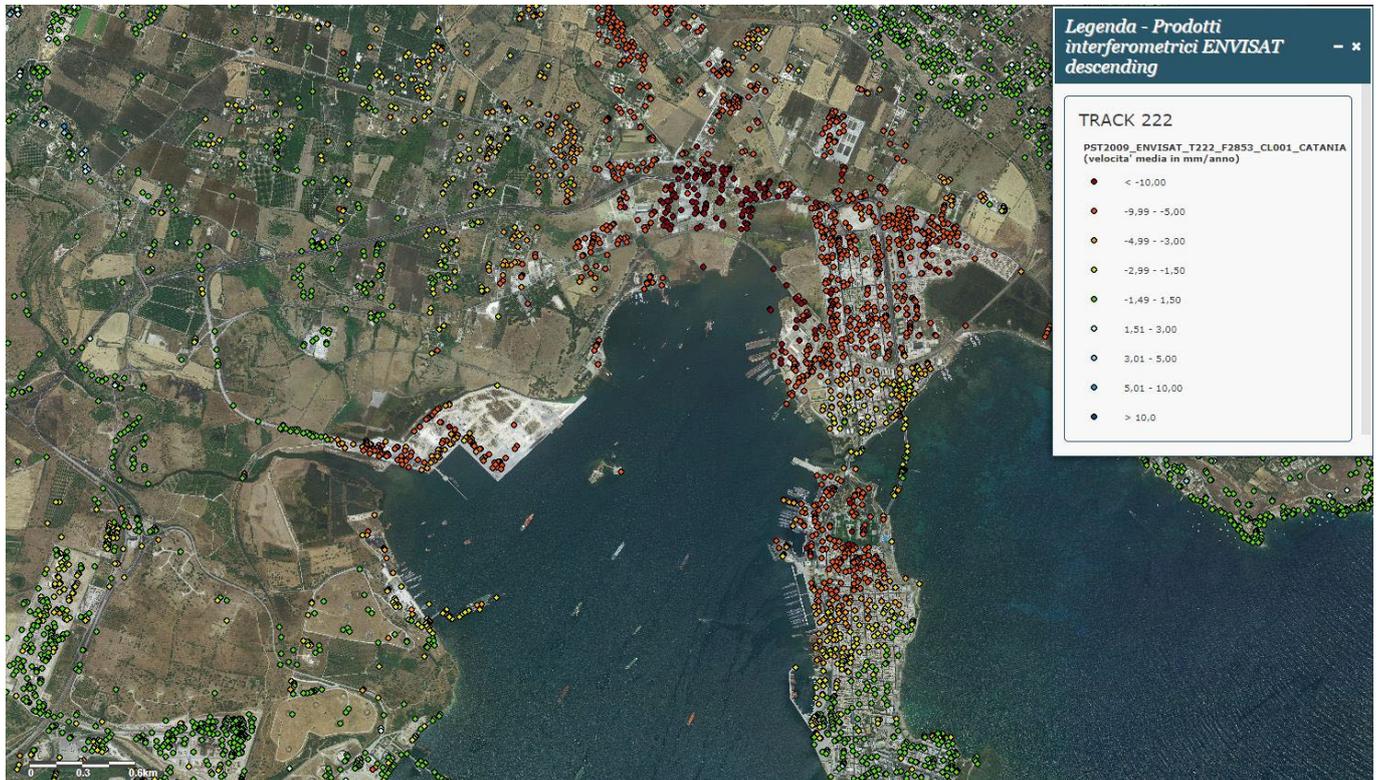
**Tabella 1 – Principali dati delle grotte tratte dal Portale del Catasto Nazionale delle Grotte d’Italia (<http://speleo.it/catastogrotte/ricerche/>) nei pressi dell’opera in progetto.**

Inoltre, il CARG riporta la presenza di ulteriori numerose grotte lungo la costa orientale e settentrionale, in corrispondenza delle unità MUC (Formazione Monte Carrubba) e FNL2 (Formazione Monti Climiti – Membro dei Calcari di Siracusa).

### 7.3 Analisi interferometrica

Nel presente paragrafo sono riportati i dati interferometrici disponibili per l’area in esame, consultabili on line sul Geoportale Nazionale (MATTM - Geoportale Nazionale - <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>). I dati sono disponibili in entrambe le orbite di acquisizione di ENVISAT (ENVironmental SATellite) e in entrambe le orbite di ERS-1 (European Remote-Sensing satellite).

Tali informazioni presentano limitazioni connesse all’angolo di visuale rispetto agli eventuali vettori movimento, alla risoluzione e alla presenza di riflettori riferiti principalmente a opere antropiche. Considerando tali limiti, le analisi interferometriche evidenziano movimenti medio-elevati in corrispondenza della zona di studio (Figura 18 e Figura 19), compresi tra < -10.00 mm/a e 1.50 mm/a. Gli spostamenti dei punti sono dovuti alla subsidenza dell’area di Augusta, così come confermato anche da Canova et al. (2012) e Anzidei et al. (2021).



**Figura 18 - Esempio di dati interferometrici dell'area interessata dalla tratta in progetto - ENVISAT (descending) dal Geoportale Nazionale (consultazione novembre 2022).**

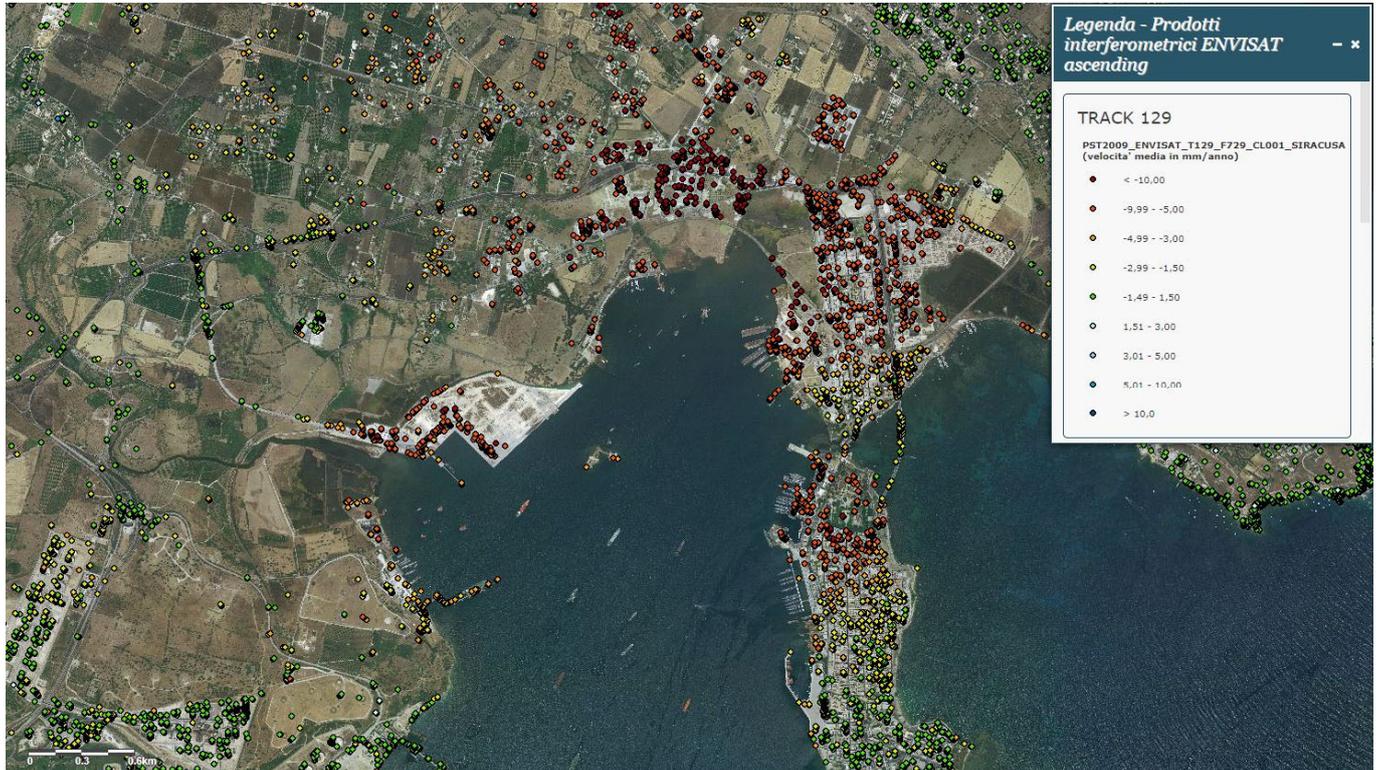


Figura 19 - Esempio di dati interferometrici dell'area interessata dalla tratta in progetto - ENVISAT (ascending) dal Geoportale Nazionale (consultazione novembre 2022).

## 8 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

I paragrafi di seguito riportati descrivono gli aspetti idrogeologici dell'area di studio, a carattere sia regionale che locale, focalizzando l'attenzione sui complessi idrogeologici individuati nei settori di stretto interesse progettuale e sullo schema di circolazione idrica superficiale e profonda.

### 8.1 Idrografia

Il principale corso d'acqua dell'area è rappresentato dal Fiume Mulinello. Esso scorre in direzione circa WNW-ESE fino a sfociare nel Porto Megarese in corrispondenza delle Saline. Il reticolo idrografico secondario risulta caratterizzato da elementi idrici a carattere stagionale.

La tratta dell'opera in esame non risulta essere attraversata direttamente da elementi idrici. Nel settore più a sud-ovest, a una distanza di oltre 185 m a sud dall'opera, si trova il Fiume Mulinello.

### 8.2 Assetto idrogeologico regionale

I dati geologici di superficie, unitamente alle informazioni stratigrafiche derivanti da perforazioni geognostiche e pozzi profondi, permettono di individuare nell'area in esame litotipi con differente comportamento dal punto di vista idrogeologico (Carbone 2011). Sulla base delle caratteristiche di permeabilità e dei rapporti stratigrafico-strutturali tra i litotipi presenti si possono distinguere acquiferi (Figura 20), sede di corpi idrici produttivi, e terreni a permeabilità bassa o molto bassa, privi di corpi idrici significativi che localmente determinano effetti di confinamento sugli acquiferi limitrofi (Ferrara 1999; Carbone 2011).

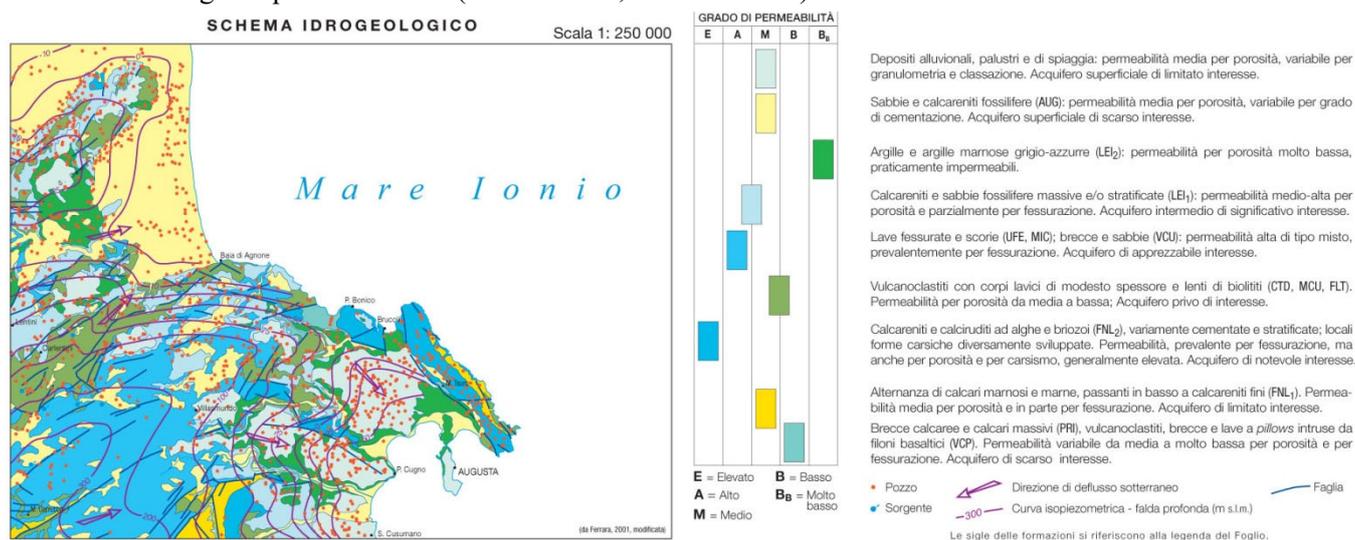


Figura 20 – Carta idrogeologica del Plateau Ibleo settentrionale, con relativa legenda (da Carbone 2011).

Nel settore nord-orientale del Plateau Ibleo, al di sotto del substrato pelitico pleistocenico, è presente un acquifero confinato costituito da calcareniti e vulcaniti pleistoceniche, sede di una falda acquifera sotterranea di discreto interesse. Tale falda è sfruttata mediante pozzi utilizzati prevalentemente per scopi irrigui, localizzati generalmente lungo il margine occidentale della pianura e, soprattutto, in corrispondenza dell'Horst di S. Demetrio dove l'acquifero è affiorante (Carbone 2011). Gli eccessivi prelievi all'interno dell'acquifero comportano, tuttavia,

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

condizioni di depressione della superficie piezometrica di diversi metri al di sotto del livello marino, con conseguente richiamo del cuneo salino nell'entroterra (Ferrara et al. 2007).

Gli acquiferi di maggior interesse idrogeologico, utilizzati per scopi civili, agricoli e industriali, sono presenti nei settori centrali e occidentali dell'area di studio e sono rappresentati dai terreni calcarenitico-sabbiosi del substrato miocenico e pleistocenico (Carbone 2011). Si tratta di acquiferi di notevole importanza ed estensione, generalmente confinati dai depositi argillosi pleistocenici e/o dai prodotti vulcanoclastici del Miocene superiore, in relazione alle particolari condizioni strutturali dell'area (Carbone 2011). Le risorse idriche di tali acquiferi sono oggetto di un intenso sfruttamento antropico, prevalentemente in corrispondenza della fascia costiera dove si concentra il maggior numero di pozzi.

### 8.2.1 *Complessi idrogeologici*

In relazione alle caratteristiche litologiche e stratigrafiche delle successioni vulcano-sedimentarie affioranti nell'area di studio, è possibile distinguere differenti complessi idrogeologici con diverso significato ai fini della distribuzione delle risorse idriche sotterranee (Carbone 2011):

- Breccie calcaree e calcari massivi (Formazione Priolo), vulcanoclastiti, breccie e lave a *pillows* con intrusioni di filoni basaltici (Vulcaniti di Capo Passero). Permeabilità variabile da media a molto bassa per porosità e fessurazione ( $10^{-9} < k < 10^{-5}$  m/s). Acquifero di scarso interesse idrogeologico.
- Alternanza di calcari marnosi e marne, passanti in basso a calcareniti a granulometria prevalentemente fine (Membro di Melilli della Formazione Monti Climiti). Permeabilità media per porosità e in parte per fessurazione ( $10^{-5} < k < 10^{-3}$  m/s). Acquifero di limitato interesse idrogeologico.
- Calcareniti e calciruditi bianco-grigiastre ad alghe e briozoi variamente cementate e irregolarmente stratificate, con locale presenza di forme carsiche diversamente sviluppate; lo spessore complessivo varia da poche decine di metri ad alcune centinaia di metri (Membro dei calcari di Siracusa della Formazione Monti Climiti). Permeabilità prevalentemente per fessurazione, ma anche per porosità e localmente per carsismo generalmente elevata ( $10^{-2} < k < 10^{-1}$  m/s). Acquifero di notevole interesse idrogeologico, contenente una falda acquifera libera o semilibera nelle zone di affioramento per condizioni strutturali (*horst*) e confinata nelle zone in cui soggiace a depositi vulcanoclastici e a sedimenti argillosi impermeabili, in corrispondenza delle depressioni strutturali (*graben*).
- Vulcanoclastiti a granulometria variabile frammiste a frazione carbonatica, con livelli lavici di modesto spessore (Formazione Carlentini), sedimenti marnoso-calcarei (Formazione Monte Carrubba) e sottili corpi lavici (Formazione Catalicciardo). Permeabilità per porosità da media a bassa ( $10^{-7} < k < 10^{-5}$  m/s); determinano effetti di parziale confinamento degli acquiferi sottostanti. Acquifero privo di interesse idrogeologico.
- Prodotti effusivi subaerei costituiti da banchi lavici fessurati di spessore variabile, spesso associati a scorie (Formazione S. Febronia e Formazione Militello in Val di Catania; Breccie e sabbie di Valle Cupa). Permeabilità alta di tipo misto, prevalentemente per fessurazione ( $k = 10^{-2}$  m/s). Acquifero di apprezzabile interesse idrogeologico, sede di una falda sfruttata per scopi idropotabile e agricolo.
- Calcareniti, sabbie e calciruditi giallastre fossilifere, massive o a stratificazione incrociata (Subsistema di Villasmundo del Sistema Lentini), di spessore variabile da pochi metri ad alcune decine di metri. Permeabilità per porosità e parzialmente per fessurazione, con grado variabile da medio ad alto ( $10^{-3} < k < 10^{-2}$  m/s). Acquifero intermedio di significativo interesse idrogeologico nella zona collinare dove è sede di una falda libera, mentre nella zona costiera la falda è confinata dai sedimenti argillosi impermeabili.

- Argille e argille marnose grigio-azzurre (Subsistema di Scordia del Sistema Lentini) di spessore variabile, fino ad oltre un centinaio di metri, passanti in basso e lateralmente alle sottostanti calcareniti e sabbie del Subsistema di Villasmundo. Permeabilità per porosità molto bassa ( $10^{-11} < k < 10^{-9}$  m/s), praticamente impermeabili; nella zona costiera determinano spesso il confinamento degli acquiferi sottostanti.
- Sabbie e calcareniti grossolane organogene (Sistema Augusta) di spessore limitato a pochi metri. Permeabilità media prevalentemente per porosità ( $10^{-5} < k < 10^{-3}$  m/s), variabile in relazione al grado di cementazione. Acquifero superficiale di scarso interesse idrogeologico per il limitato spessore e la discontinuità degli affioramenti, sede di una modesta circolazione idrica a carattere stagionale.
- Depositi alluvionali attuali, recenti e terrazzati, depositi palustri e di spiaggia. Permeabilità media per porosità ( $10^{-4} < k < 10^{-2}$  m/s), variabile in relazione alla granulometria e alla classazione. Acquifero superficiale di limitato interesse idrogeologico, principalmente nei settori della Piana di Catania.

### 8.2.2 Strutture idrogeologiche e idrodinamica degli acquiferi

La principale idrostruttura dell'area in esame è rappresentata, senza dubbio, da *Graben* di Augusta (Carbone 2011). I diversi acquiferi presenti possono essere separati da terreni a bassa permeabilità, oppure in continuità idraulica per assenza di detti terreni o per effetto di discontinuità tettoniche che ne determinano il contatto laterale (Carbone 2011). In quest'ultimo caso, si verificano condizioni assimilabili ad un unico sistema acquifero, il cui livello piezometrico è espressione di una falda unica, libera o confinata secondo le situazioni locali. Limiti e soglie di permeabilità sono rappresentati, essenzialmente, dai contatti tra l'acquifero carbonatico miocenico ed i depositi pelitici pleistocenici, per sovrapposizione o contatto laterale, o anche tra questi ultimi e le calcareniti del Pleistocene inferiore (Carbone 2011).

Detti rapporti determinano condizioni di locale confinamento dell'acquifero principale, come evidenziato dai marcati fenomeni di risalienza registrati in pozzi e piezometri che attraversano l'intero spessore dei terreni a bassa permeabilità. Condizioni di semiconfinamento si hanno anche nelle zone in cui l'acquifero carbonatico è affiorante (*horst*), per effetto di variazioni di permeabilità (Carbone 2011), mentre condizioni di acquifero libero si verificano nei depositi recenti e nei sedimenti calcarenitico-sabbiosi del Pleistocene inferiore, dove affioranti.

In tale idrostruttura, la direzione del deflusso idrico all'interno dell'acquifero carbonatico è orientata verso gli assi della depressione strutturale, dove si registra la massima potenzialità delle falde (Carbone 2011). I dati relativi al livello idrico evidenziano un andamento della superficie piezometrica piuttosto articolato, riferibile alla forte influenza dell'assetto stratigrafico-strutturale dell'area. In generale, è possibile identificare una direzione di deflusso media da ovest verso est, con assi di drenaggio coerenti con l'assetto tettonico ricostruito sulla base di prospezioni geoelettriche e dati stratigrafici di pozzi e piezometri (Carbone 2011).

### 8.2.3 Opere di captazione

I principali acquiferi della zona di Augusta-Villasmundo sono oggetto di sfruttamento antropico mediante numerosi pozzi, principalmente ad uso agricolo ed industriale, ma anche per approvvigionamento idropotabile. Si tratta essenzialmente di pozzi profondi oltre 400 m, che raggiungono l'acquifero fessurato del Membro dei calcari di Siracusa posto al di sotto della copertura dei sedimenti pleistocenici (Carbone 2011). Nelle zone di alto strutturale, dove tale acquifero è affiorante, i pozzi si approfondiscono direttamente nei litotipi carbonatici, raggiungendo la falda idrica in essi contenuta (Carbone 2011).

Anche nel settore collinare, esteso fino ai centri abitati di Carlentini e Lentini, sono presenti un elevato numero di pozzi di diversa profondità. Di questi solo una parte interessa l'acquifero carbonatico, mentre sono più frequenti i

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

pozzi che attingono direttamente alle risorse idriche delle calcareniti pleistoceniche e dei prodotti vulcanici pliocenici, principalmente per scopi agricoli (Carbone 2011). Condizioni analoghe si rinvennero nel settore di territorio compreso tra Agnone e S. Demetrio. Nella pianura alluvionale del Fiume S. Leonardo, invece, i pozzi sono per lo più poco profondi e interessano i depositi alluvionali recenti e di spiaggia che comunque contengono una falda superficiale di limitato interesse idrogeologico. A nord-ovest, nella Piana di Catania, invece, i depositi alluvionali costituiscono una falda di discreta produttività (Carbone 2011).

Nelle zone collinari sono presenti alcune sorgenti di modesta entità, che scaturiscono essenzialmente dalle vulcaniti e dalle calcareniti pleistoceniche, localmente captate per scopi agricoli o domestici. Un'unica sorgente sulfurea, a chimismo cloruro-sodico-magnesiaco, è presente nella zona della Baia di Brucoli (Carbone 2011).

#### 8.2.4 Chimismo delle acque

Gran parte delle acque sotterranee contenute nei principali acquiferi dell'area presentano un chimismo riferibile alla *facies* bicarbonato alcalino-terrosa, sia nel caso delle calcareniti pleistoceniche che nel caso dei calcari miocenici, soggiacenti alla copertura dei sedimenti pelitici pleistocenici (Carbone 2011). Caratteristiche leggermente differenti, dovute ad un maggior contenuto di cloro e sodio, si riscontrano nelle acque captate da pozzi o emergenti naturalmente in punti prossimi alla costa, essenzialmente per miscelazione con acque marine (Ferrara 1999; Carbone 2011).

Una *facies* decisamente diversa, di tipo cloruro-sodico-magnesiaco, contraddistingue le acque della sorgente sulfurea di Brucoli, che rappresenta l'unico esempio nell'area di studio (Carbone 2011). In aggiunta ai suddetti componenti, la presenza di Boro e Litio in quantità superiori a quelle connesse alla miscelazione con acque marine, lascia ipotizzare la risalita di fluidi profondi di tipo geotermico lungo una importante discontinuità tettonica (Dall'Aglio & Quattrocchi 1991).

#### 8.2.5 Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento

Nei settori collinari e in prossimità della Baia di Augusta la vulnerabilità degli acquiferi è fortemente influenzata dal particolare assetto stratigrafico-strutturale dell'area, oltre che dalla soggiacenza della falda e dalla permeabilità dei depositi (Carbone 2011). In generale, gli acquiferi presenti mostrano una vulnerabilità variabile da bassa a media, mentre solo i litotipi molto permeabili del Subsistema di Villasmundo e del Membro dei Calcari di Augusta presentano una vulnerabilità all'inquinamento alta o addirittura elevata (Carbone 2011).

Un importante fattore di pericolosità è rappresentato dal diffuso impiego di fertilizzanti, pesticidi e diserbanti nelle estese aree coltivate ad agrumi, nonché dalla presenza di allevamenti di bovini, ovini, equini e suini, cui spesso si associa la lavorazione di prodotti derivati (Ferrara 1999; Carbone 2011). Inoltre, una condizione di elevata criticità è presente in corrispondenza delle estese aree industriali che caratterizzano il settore di studio, essenzialmente a causa degli scarichi reflui parzialmente dispersi lungo i canali di smaltimento (Ferrara 1999).

### 8.3 Assetto idrogeologico locale

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

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

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

### 8.3.1 *Complessi idrogeologici*

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

Nello specifico, la definizione delle caratteristiche idrogeologiche dei vari complessi presenti nell'area è stata compiuta in considerazione delle prove di permeabilità realizzate nei fori di sondaggio nel corso dell'attuale campagna di indagine CI2022. Nel paragrafo "9.1.2 - Prove di permeabilità" si riporta una sintesi di tali prove, con indicazione dei valori di permeabilità determinati e dei relativi complessi idrogeologici di appartenenza. Mentre, nel paragrafo "8.3.2 - Permeabilità dei complessi idrogeologici" si riporta una sintesi delle prove di permeabilità distinte per complesso idrogeologico di appartenenza, con indicazione dei valori di permeabilità determinati e della campagna di indagine.

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

#### 8.3.1.1 Complessi delle unità di substrato

Questo gruppo è rappresentato da due differenti complessi idrogeologici, riferibili alle successioni pleistoceniche del Sintema Lentini e del Sintema Augusta.

##### 8.3.1.1.1 Substrato argilloso-limoso

Al presente complesso (SAL) sono associati i depositi prevalentemente pelitici dell'unità **LEI2**, costituenti il substrato geologico dell'intera area di studio. Dal punto di vista litologico, si tratta di argille limose e argille limoso-marnose massive o debolmente stratificate, con diffusi residui carboniosi, e sottili livelli di sabbie e sabbie limose; alla base dell'unità sono presenti lenti, spesse fino a 2 m, di sabbie e calcareniti, mentre in superficie è localmente presente un paleosuolo con rari resti di vertebrati.

I terreni in questione costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, nel contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano degli *aquiclude* di notevole importanza per tutti i corpi idrogeologici limitrofi; non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza, a meno di piccole falde confinate all'interno degli orizzonti più grossolani e permeabili presenti all'interno del complesso. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da molto bassa a bassa. A tale complesso si può pertanto attribuire un coefficiente di permeabilità  $k$  variabile tra  $1 \cdot 10^{-9}$  e  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s.

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

### 8.3.1.1.2 Substrato sabbioso-calcarenitico

A questo complesso (**SSC**) sono riferiti di litotipi psammitici e calcarenitici dell'unità **AUG**. Sotto il profilo litologico, il complesso è composto da sabbie fini e sabbie limose in strati mal definiti di spessore centimetrico e decimetrico, con frequenti intercalazioni di calcareniti e arenarie grossolane da mediamente a ben cementate, localmente vacuolari, a stratificazione incrociata e/o ondulata; localmente sono presenti lenti di conglomerati ad elementi vulcanici e calcarei arrotondati di 5-20 cm di diametro, in matrice arenitica.

Tali litotipi costituiscono acquiferi misti di ridotta trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di scarsa rilevanza, freatiche e a deflusso unitario, direttamente influenzate dal regime delle precipitazioni meteoriche. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da bassa a media. Al complesso in questione si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità  $k$  compreso  $1 \cdot 10^{-6}$  e  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s.

### 8.3.1.2 Complessi dei depositi di copertura

Questo gruppo è formato da quattro differenti complessi idrogeologici, riferibili alle successioni clastiche continentali, marine e transizionali che ricoprono i termini litologici del substrato.

#### 8.3.1.2.1 Depositi argilloso-limosi

A tale complesso (**DLA**) sono associati i depositi argilloso-limosi dell'unità **gn3**. Dal punto di vista litologico, si tratta di argille limose e argille sabbiose a struttura indistinta, con locali ghiaie e ciottoli poligenici da sub-angolosi ad arrotondati; si rinvencono intercalazioni di sabbie, sabbie limose e sabbie limoso-argillose, massive o sottilmente stratificate.

I terreni in questione costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, nel contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano degli *aquitard* di importanza variabile; non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza, a meno di piccole falde confinate all'interno degli orizzonti più grossolani e permeabili presenti all'interno del complesso. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da molto bassa a bassa. A tale complesso si può pertanto attribuire un coefficiente di permeabilità  $k$  variabile tra  $1 \cdot 10^{-8}$  e  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s.

#### 8.3.1.2.2 Depositi sabbioso-limosi

A tale complesso (**DSL**) sono associati i depositi sabbioso-limosi delle unità **bb2**, **g2** e **gn2**. Dal punto di vista litologico, si tratta di sabbie da medie a grossolane, sabbie limose e limi sabbiosi a struttura indistinta o debolmente laminata, talora in strati da molto sottili a medi, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; si rinvencono lenti e/o livelli di argille limose, limi, sabbie ghiaiose e ghiaie poligeniche.

I terreni in esame costituiscono acquiferi porosi di discreta trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, generalmente a deflusso unitario, che presentano interscambi con i corpi idrici superficiali e con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa a media. A questo complesso è possibile attribuire, pertanto, un coefficiente di permeabilità  $k$  variabile tra  $1 \cdot 10^{-7}$  e  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s.

#### 8.3.1.2.3 Depositi ghiaioso-sabbiosi

Al complesso in questione (**DGS**) sono riferiti i depositi grossolani dell'unità **ba1**. Il complesso è formato essenzialmente da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante; si rinvengono frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose a struttura indistinta, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

I depositi di questo complesso costituiscono acquiferi porosi di ridotta trasmissività a causa del ridotto spessore dei depositi, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di scarsa rilevanza, generalmente a deflusso unitario, che presentano interscambi con i corpi idrici superficiali e con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da media ad alta. Al complesso in esame si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità  $k$  compreso  $1 \cdot 10^{-4}$  e  $1 \cdot 10^{-1}$  m/s.

#### 8.3.1.2.4 Terreni di copertura

A tale complesso (TRC) sono associati i terreni di copertura delle unità **b2** e **h**. Dal punto di vista litologico il complesso è formato da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose a sub-angolose, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante; limi argillosi e argille limoso-sabbiose a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi.

I presenti depositi costituiscono acquiferi porosi di scarsa trasmissività a causa del ridotto spessore dei depositi, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono privi di corpi idrici sotterranei di importanza significativa, a meno di piccole falde a carattere stagionale, direttamente influenzate dal regime delle precipitazioni meteoriche. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da molto bassa ad alta. A questo complesso si può pertanto attribuire un coefficiente di permeabilità  $k$  compreso tra  $1 \cdot 10^{-8}$  e  $1 \cdot 10^{-2}$  m/s.

#### 8.3.2 Permeabilità dei complessi idrogeologici

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

sigla	prova	tipologia	profondità m	permeabilità m/s	identificativo CI
BH11_IN	LE1	Lefranc	2.0 - 3.0	9.39E-07	CI2022
BH12_PZ	LE1	Lefranc	1.5 - 3.0	8.19E-07	CI2022

**Tabella 2 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per i Depositi limoso-argillosi (DLA).**

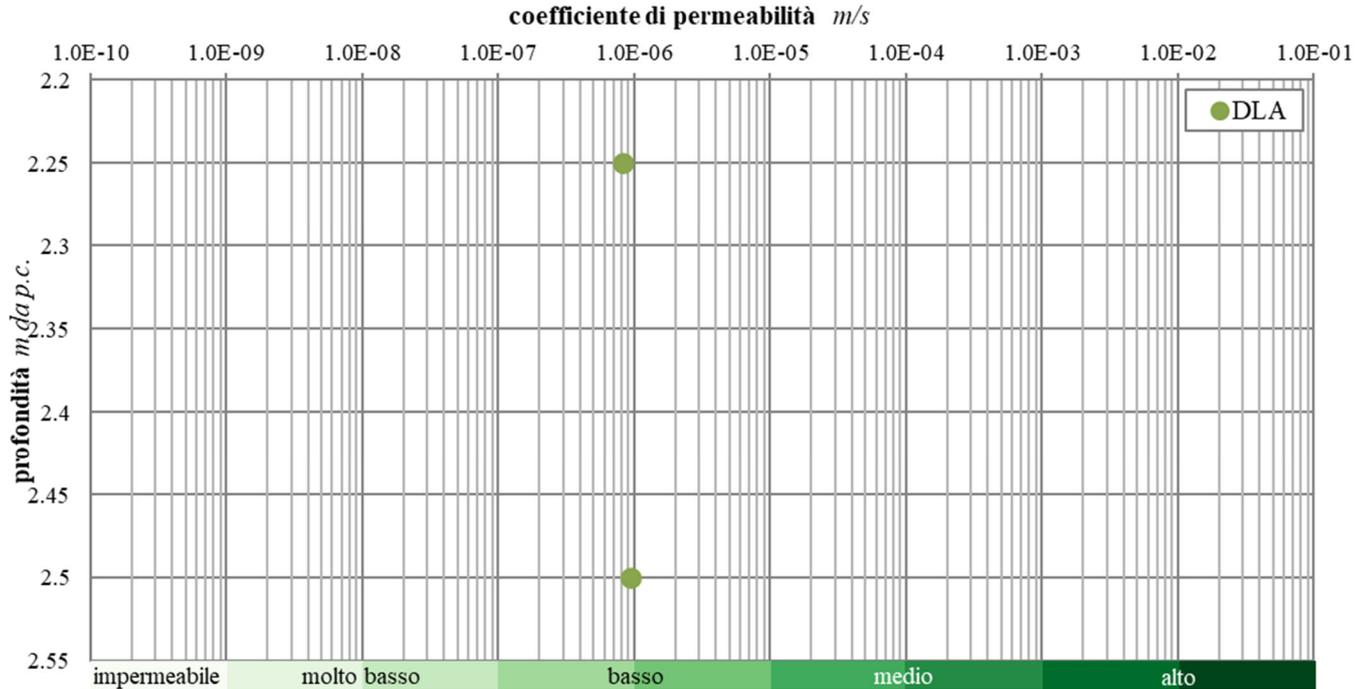
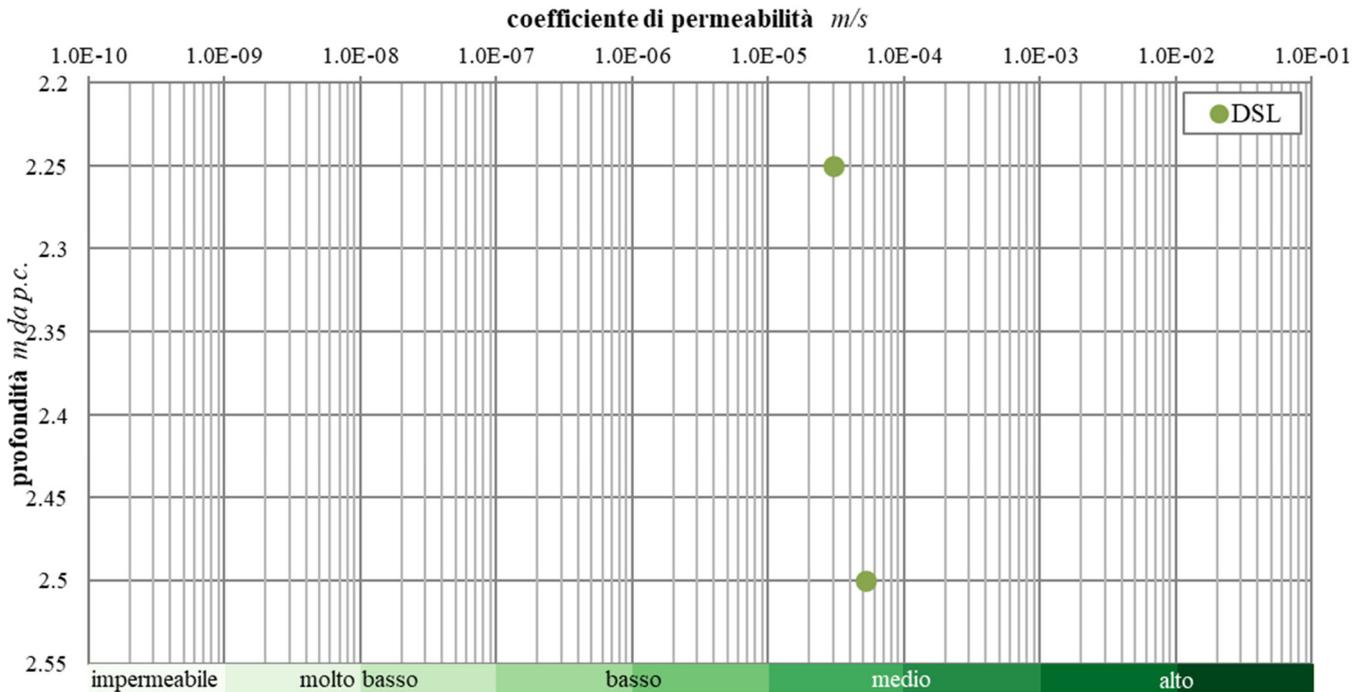


Figura 21 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per i Depositi limoso-argillosi (DLA).

sigla	prova	tipologia	profondità m	permeabilità m/s	identificativo CI
BH13_DH	Lfr.C	Lefranc	1.5 - 3.0	3.02E-05	CI2022
BH14_DH	Lfr.C	Lefranc	2.0 - 3.0	5.22E-05	CI2022

Tabella 3 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per i Depositi sabbioso-limosi (DSL).



**Figura 22 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per i Depositi sabbioso-limosi (DSL).**

sigla	prova	tipologia	profondità m	permeabilità m/s	identificativo CI
BH6_PZ	LE1	Lefranc	10.0 - 11.0	3.09E-07	CI2022
BH6_PZ	LE2	Lefranc	19.0 - 20.0	4.66E-07	CI2022
BH7_PZ	LE1	Lefranc	1.5 - 2.5	4.36E-06	CI2022
BH7_PZ	LE2	Lefranc	19.0 - 21.0	2.46E-08	CI2022
BH9_IN	LE1	Lefranc	2.0 - 3.0	2.96E-07	CI2022
BH9_IN	LE2	Lefranc	10.0 - 11.0	6.53E-08	CI2022
BH9_IN	LE3	Lefranc	22.0 - 23.0	3.13E-08	CI2022
BH11_IN	LE2	Lefranc	9.0 - 10.0	1.42E-07	CI2022
BH11_IN	LE3	Lefranc	21.0 - 23.0	1.89E-08	CI2022
BH12_PZ	LE2	Lefranc	9.0 - 11.0	1.38E-08	CI2022
BH12_PZ	LE3	Lefranc	22.0 - 24.0	1.19E-08	CI2022
BH13_DH	LE1	Lefranc	9.0 - 10.0	9.70E-07	CI2022
BH13_DH	LE2	Lefranc	22.0 - 23.0	6.15E-07	CI2022
BH14_DH	LE1	Lefranc	10.5 - 12.0	3.05E-06	CI2022
BH14_DH	LE2	Lefranc	22.0 - 23.0	1.49E-06	CI2022

**Tabella 4 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il Substrato argilloso-limoso (SAL).**

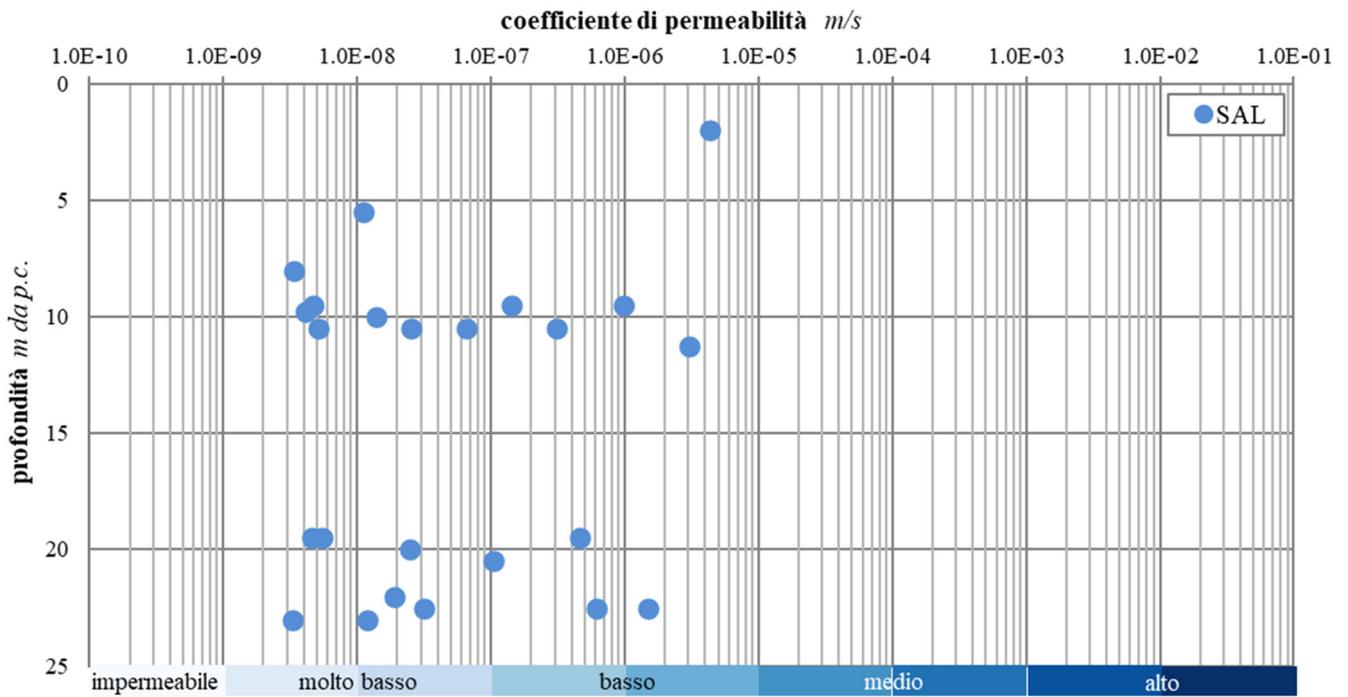
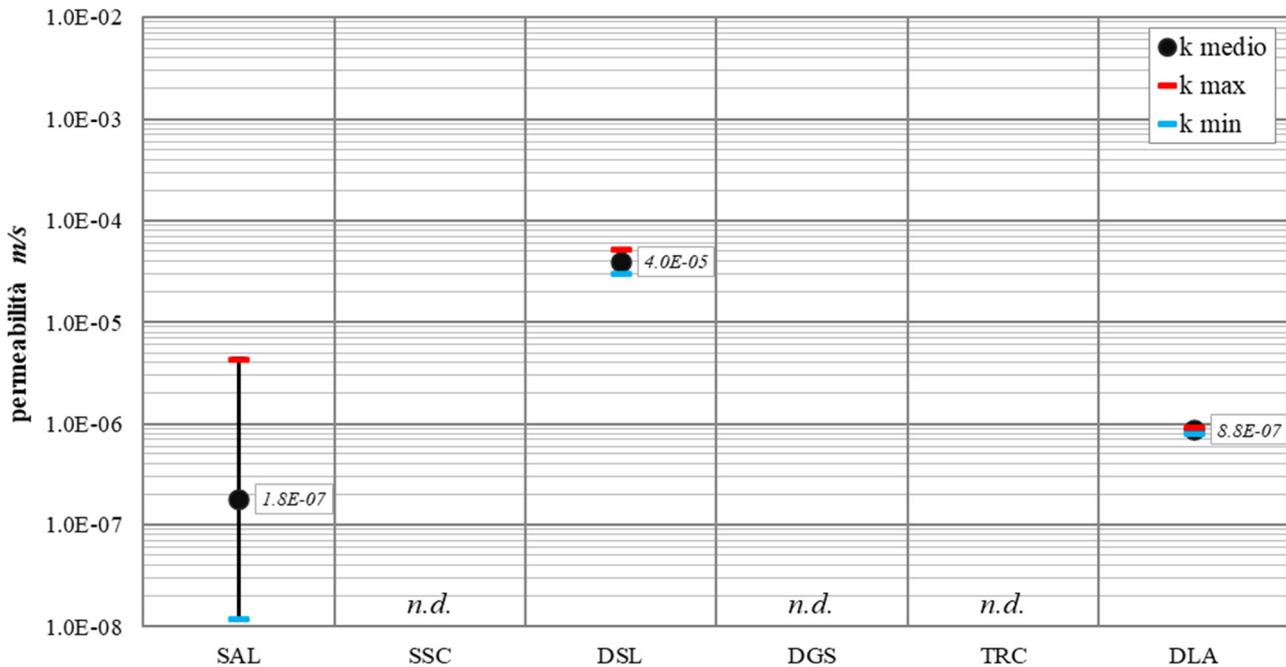


Figura 23 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il Substrato argilloso-limoso (SAL).



**Tabella 5 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità per i complessi individuati lungo la tratta in esame.**

### 8.3.3 Opere di captazione ed emergenze sorgentizie

Per poter ricostruire con maggior dettaglio le caratteristiche idrogeologiche dell'area e l'andamento delle falde idriche sotterranee, nel corso dello studio si è provveduto ad acquisire tutte le informazioni disponibili sui pozzi e le sorgenti esistenti nel settore di intervento.

Dalla consultazione dell'Elaborato B.8 "Risorse - Acquedotti - Utenze dell'ATO di Siracusa" dell' "Aggiornamento e revisione del Piano Regolatore Generale degli Acquedotti" della Regione Siciliana, nei settori di territorio relativi alla tratta in esame sono state individuati n. 9 pozzi (Figura 24) i cui dati tecnici sono riportati in Tabella 6. Di questi, solo uno, 19SR00G0001P0009, ricade a una distanza inferiore a 500 m dalla tratta in esame, a circa 350 m a NNE dalla chilometrica 0+800 circa.



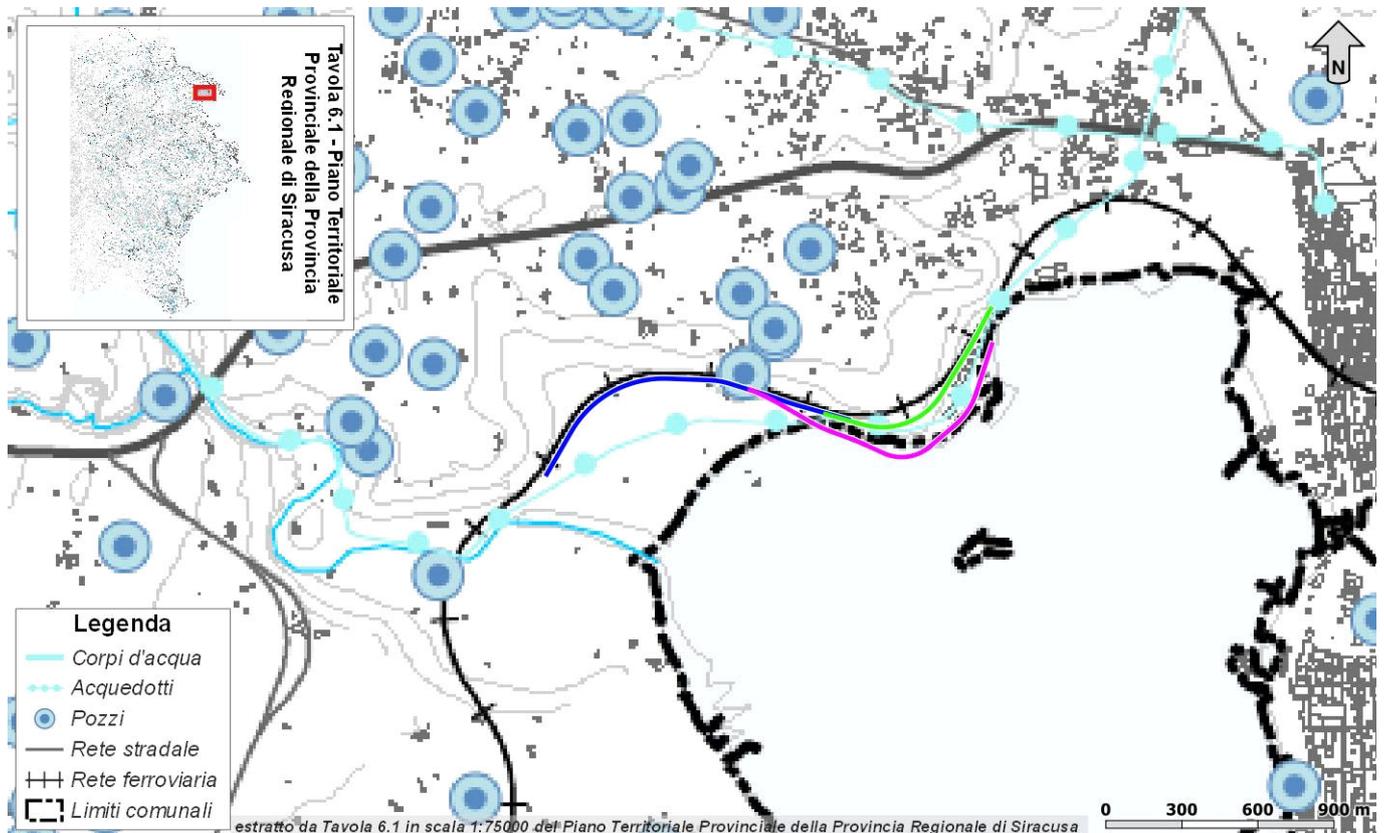
**Figura 24 – Ubicazione dei pozzi dell'Elaborato B.8 in scala 1:100000, riprodotto in scala 1:50000, delle "Risorse - Acquedotti - Utenze dell'ATO di Siracusa" dell'"Aggiornamento e revisione del Piano Regolatore Generale degli Acquedotti" della Regione Siciliana.**

codice	denominazione	località	portata l/s	in esercizio	profondità m	diametro mm	note
19SR00G0001P0002	Pozzo Giardini Pubblici	Giardini Pubblici	50.0	sì	n.d.	n.d.	-
19SR00G0001P0003	Pozzo San Giorgio I	S. Giorgio	9.0	sì	n.d.	n.d.	-
19SR00G0001P0006	Pozzo Vignali I	Vignali	4.0	sì	n.d.	n.d.	Utilizzato solo nel periodo estivo
19SR00G0001P0007	Pozzo Vignali II (Bellistri)	Vignali	8.0	sì	n.d.	n.d.	-
19SR00G0001P0008	Pozzo EX 89 Montedison (Cicirata)	Ferrante Mondea	4.0	sì	n.d.	n.d.	-
19SR00G0001P0009	Pozzo Ferrante	Ferrante Mondea	6.0	sì	n.d.	n.d.	-
19SR00G0001P0010	Pozzo Falà	Falà o	14.0	sì	n.d.	n.d.	-

codice	denominazione	località	portata l/s	in esercizio	profondità m	diametro mm	note
19SR00G0001P0011	(Giummo) Pozzo ex comunione Serena	Filonero  Falà o Filonero	14.0	sì	n.d.	n.d.	-
19SR00G0001P0012	Pozzo San Giorgio II (Cannavà)	S. Giorgio	9.0	sì	n.d.	n.d.	-

**Tabella 6 - Dati tecnici dei pozzi nei pressi della tratta in progetto estratti dalla "Tabella SR/R1 – Pozzo dell'ATO di Siracusa – Dati tecnici dei pozzi e Comuni serviti" dell'All.01/8 dell' "Aggiornamento e revisione del Piano Regolatore Generale degli Acquedotti" della Regione Siciliana.**

Inoltre, dalla consultazione della Tavola 6.1 – Pozzi, corpi idrici e acquedotti del Piano Territoriale Provinciale della Provincia Regionale di Siracusa, nei settori di territorio relativi alla tratta in esame sono state individuati n. 39 pozzi (Figura 25), di cui solo cinque ricadono a una distanza inferiore a 500 m dalla tratta in esame. Per tali pozzi non sono riportati dati puntuali e tecnici.



**Figura 25 – Ubicazione dei pozzi dell'Elaborato B.8 in scala 1:100000, riprodotto in scala 1:50000, delle "Risorse - Acquedotti - UtENZE dell'ATO di Siracusa" dell' "Aggiornamento e revisione del Piano Regolatore Generale degli Acquedotti" della Regione Siciliana.**

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

### 8.3.4 Schema di circolazione idrica superficiale

Il regime di deflusso idrico superficiale dell'area di studio risulta fortemente influenzato dalla presenza del tessuto industriale e viario della città di Augusta. Infatti, gli impluvi presenti nei settori centrale e settentrionale risultano caratterizzati da infrastrutture stradali che conseguentemente vanno a raccogliere attraverso canali di scolo e opere di regimentazione superficiali e sotterranee parte delle acque di ruscellamento derivanti dai settori più elevati. Invece, gli impluvi posti nel settore meridionale, in prossimità dell'area portuale e delle saline, risultano preservare parzialmente un assetto naturale. In tali settori non mancano in zona di testata gli sbocchi di alcune opere di regimentazione che fanno confluire le acque superficiali negli impluvi stessi. In generale, i settori di versante che delimitano gli impluvi, essendo costituiti prevalentemente da depositi argilloso-limosi, i quali non permettono un elevato assorbimento da parte del terreno, presentano forme chiaramente riconducibili a fenomeni di deflusso sia lineare che areale, come i solchi di erosione concentrata e aree a ruscellamento diffuso.

### 8.3.5 Schema di circolazione idrica profonda

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

Una parte dei corpi idrogeologici individuati nell'area rappresentano degli acquiferi di importanza più o meno significativa, a seconda delle locali caratteristiche di permeabilità dei litotipi e della estensione areale e verticale dei depositi. Ad essi si aggiungono, inoltre, alcuni corpi idrogeologici di ridotta permeabilità che, nello specifico contesto di riferimento, possono essere considerati degli *aquichlude* o al più degli *aquitard*, in quanto tamponano lateralmente e verticalmente gli acquiferi sotterranei più importanti.

In relazione a quanto esposto, nell'area di studio è possibile individuare diverse condizioni idrogeologiche e di deflusso idrico sotterraneo: *i*) una condizione relativa ai settori di fondovalle o piana costiera con coperture oloceniche; *ii*) una condizione di versante con depositi pleistocenici permeabili e substrato impermeabile relativamente superficiale. Queste condizioni sono chiaramente schematizzabili lungo il tracciato in progetto, per via delle differenti caratteristiche geologiche e stratigrafiche dell'area.

I settori di fondovalle e piana costiera sono relativi alle aree impluviali e alle aree costiere sparse nell'area di studio. Specialmente nel settore meridionale, i fossi e le zone di piana costiera sono caratterizzati da depositi sabbioso-limosi o ghiaioso-sabbiosi spessi alcuni metri. In questi contesti idrogeologici, le falde seguono l'andamento della superficie topografica e mostrano un deflusso orientato prevalentemente verso i quadranti meridionali o sud-orientali, in maniera simile a quanto avviene per i corsi d'acqua superficiali. L'alimentazione di queste falde è dovuta principalmente alle precipitazioni meteoriche e al deflusso idrico superficiale.

I settori di versante caratterizzati da depositi pleistocenici permeabili e substrato pelitico impermeabile si rinvencono diffusamente nell'area di studio, ai margini delle depressioni impluviali o in corrispondenza delle zone più elevate in quota. In questi settori, i depositi pleistocenici sono caratterizzati da falde sotterranee prevalentemente stagionali e di scarsa rilevanza, sostenute come sempre dal substrato argilloso-limoso poco permeabile. Quest'ultimo condiziona fortemente l'andamento delle falde sia a piccola che a grande scala, definendo sia l'orientazione del deflusso che la posizione di spartiacque e assi di drenaggio sotterranei.

I depositi del pleistocene inferiore costituiscono quindi degli *aquichlude* di notevole rilevanza per tutti i corpi idrogeologici limitrofi. Come dimostrato dal monitoraggio piezometrico condotto, nonostante la ridotta



**LINEA CATANIA-SIRACUSA**

**BYPASS DI AUGUSTA**

**ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO**

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED  
IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R69RG	GE 00 01 001	A	59 di 132

permeabilità i termini pelitici del substrato risultano generalmente saturi, talora anche a breve profondità dal p.c.. Le falde dei depositi pleistocenici sono alimentate prevalentemente dalle precipitazioni meteoriche e il deflusso avviene principalmente in direzione del fondovalle. Tale condizione dimostra che sia l'orientazione del deflusso che l'andamento della superficie piezometrica sono direttamente condizionati dalla posizione del substrato e dalla sua morfologia superficiale.

## 9 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nel corso dello studio sono state consultate e analizzate tutte le indagini geognostiche pregresse (●CI2011, ●CI2003) e le nuove indagini appositamente realizzate nel settore di territorio interessato dagli interventi in progetto (●CI2022). L'intero *set* di dati derivanti dalle indagini di sito ha permesso di configurare un quadro di conoscenze soddisfacente, in relazione con la specifica fase di approfondimento progettuale in corso, circa l'assetto litostratigrafico e geologico-strutturale dei termini litologici interessati dalle opere in progetto.

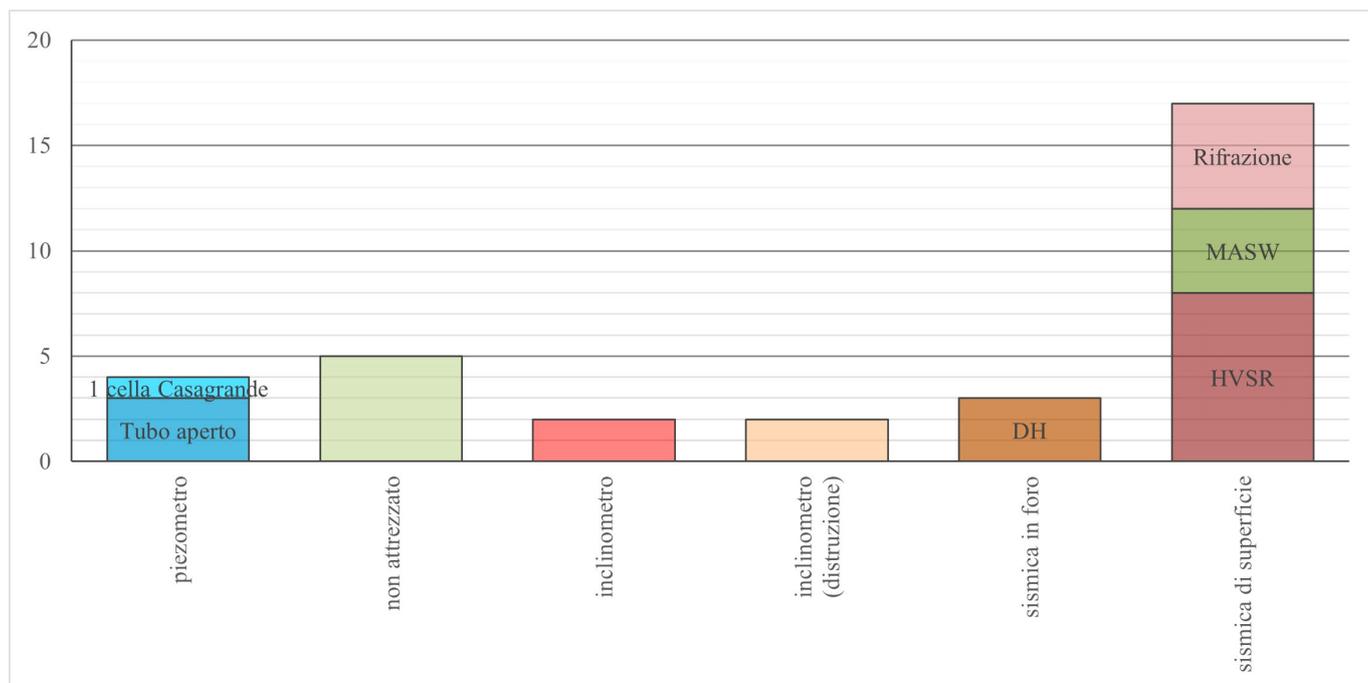
Complessivamente sono state analizzate le seguenti indagini di sito:

tipologia indagine		totale
SONDAGGI A ROTAZIONE E CAROTAGGIO CONTINUO	non attrezzato	5
	piezometro	4
	inclinometro	2
	sismica in foro (DH)	3
SONDAGGI A DISTRUZIONE DI NUCLEO	inclinometro	2
GEOFISICA	HVSR	8
	MASW	4
	rifrazione	5

**Tabella 7 - Sintesi del numero totale di indagini disponibili.**

campioni/prove in foro		totale
CAMPIONI PRELEVATI	Indisturbati	44
	Rimaneggiati	14
	SPT	32
PROVE IN FORO	SPT	48
	Lefranc/Lugeon	21
	Pressiometriche	14

**Tabella 8 - Sintesi del numero totale di campioni e prove in foro disponibili.**



**Figura 26 – Grafico mostrante la distribuzione e il numero delle indagini geognostiche a disposizione.**

Nei paragrafi seguenti è riportata una sintesi delle indagini geognostiche relative alle opere in progetto. I punti di ubicazione sono riportati nell'allegata "Carta geologica con elementi di geomorfologia e profili geologici" in scala 1:5000/500 (RS6200R69L5GE0001001). I certificati delle prove sono riportati negli specifici elaborati (RS6200R69SGGE0000001, RS6200R69PRGE0000001, RS6200R69IGGE0000001), mentre i certificati relativi alle indagini pregresse sono riportati in appendice alle presenti note.

## 9.1 Campagna di indagini attuale

Sono state eseguite specifiche e puntuali indagini nell'ambito della presente campagna indagini (●CI2022).

Il numero totale dei campioni di roccia e terreno prelevati è di 72, mentre quello delle prove SPT effettuate nei fori di sondaggio è di 42.

### 9.1.1 Sondaggi

Di seguito vengono elencati tutti i sondaggi geognostici eseguiti nell'ambito della presente campagna di indagine (●CI2022), con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 2/fuso Est (EPSG 3004), quota, strumentazione, profondità (prof), numero campioni prelevati indisturbati (I), numero campioni prelevati rimaneggiati (R), numero campioni prelevati SPT (SPT), numero prove SPT, numero prove Lefranc/Lugeon (P) e numero prove Pressiometriche (Ps)).

sigla	Monte Mario/Italy 2		quota m s.l.m.	strumentazione	prof m	campioni			prove in foro			
	X	Y				I	R	SPT	SPT	P	Ps	
BH6_PZ	2538243	4122189	12.0	Piezometro	40.0	4	2	6	6	2	2	
BH7_PZ	2538031	4121867	10.9	Piezometro	40.0	4	2	0	6	2	2	
BH8_IN	2538028	4121862	11.2	Inclinometro (distruzione)	40.0	0	0	0	0	0	0	
BH9_IN	2537885	4121596	20.4	Inclinometro	40.0	4	2	0	6	3	2	
BH10_IN	2537797	4121532	14.7	Inclinometro (distruzione)	40.0	0	0	0	0	0	0	
BH11_IN	2536897	4121744	7.2	Inclinometro	40.0	4	2	6	6	3	2	
BH12_PZ	2536595	4121599	4.2	Piezometro	40.0	4	2	6	6	3	2	
BH13_DH	2537765	4121461	1.8	Sismica in foro	40.0	4	2	6	6	3	2	
BH14_DH	2537589	4121518	1.4	Sismica in foro	40.0	4	2	6	6	3	2	
<b>●CI2022</b>						<b>Totale</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>30</b>	<b>42</b>	<b>19</b>	<b>14</b>

Tabella 9 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini ●CI2022, elencati in ordine alfanumerico.

### 9.1.2 Prove di permeabilità

Di seguito si riporta una sintesi delle prove realizzate durante l'attuale campagna di indagini ●CI2022.

sigla	prova	tipologia	profondità m	permeabilità m/s
BH6_PZ	LE1	Lefranc	10.0 - 11.0	3.09E-07
BH6_PZ	LE2	Lefranc	19.0 - 20.0	4.66E-07
BH7_PZ	LE1	Lefranc	1.5 - 2.5	4.36E-06
BH7_PZ	LE2	Lefranc	19.0 - 21.0	2.46E-08
BH9_IN	LE1	Lefranc	2.0 - 3.0	2.96E-07
BH9_IN	LE2	Lefranc	10.0 - 11.0	6.53E-08
BH9_IN	LE3	Lefranc	22.0 - 23.0	3.13E-08
BH11_IN	LE1	Lefranc	2.0 - 3.0	9.39E-07
BH11_IN	LE2	Lefranc	9.0 - 10.0	1.42E-07
BH11_IN	LE3	Lefranc	21.0 - 23.0	1.89E-08
BH12_PZ	LE1	Lefranc	1.5 - 3.0	8.19E-07
BH12_PZ	LE2	Lefranc	9.0 - 11.0	1.38E-08
BH12_PZ	LE3	Lefranc	22.0 - 24.0	1.19E-08
BH13_DH	LE1	Lefranc	9.0 - 10.0	9.70E-07
BH13_DH	LE2	Lefranc	22.0 - 23.0	6.15E-07
BH13_DH	Lfr.C	Lefranc	1.5 - 3.0	3.02E-05
BH14_DH	LE1	Lefranc	10.5 - 12.0	3.05E-06

sigla	prova	tipologia	profondità m	permeabilità m/s
BH14_DH	LE2	Lefranc	22.0 - 23.0	1.49E-06
BH14_DH	Lfr.C	Lefranc	2.0 - 3.0	5.22E-05

**Tabella 10 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità realizzate durante la campagna indagini attuale.**

### 9.1.3 Indagini geofisiche

Nelle tabelle seguenti è riportata una sintesi di tutte le indagini sismiche e geoelettriche eseguite nell'ambito della presente campagna indagini (—CI2022), con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla e coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 2/fuso Est (EPSG 3004) del punto iniziale (a) e del punto finale (b) di ogni singolo stendimento, tipologia di indagine e lunghezza).

sigla	Monte Mario/Italy 2				tipologia indagine	lunghezza m
	punto iniziale (a)		punto finale (b)			
	X	Y	X	Y		
LINE 1	2537974	4121699	2537779	4121579	Rifrazione	237.5
LINE 2	2537752	4121578	2537462	4121616	Rifrazione	297.5
LINE 3	2537354	4121633	2536762	4121644	Rifrazione	597.5
LINE 4	2536786	4121722	2536452	4121382	Rifrazione	477.5
MASW01	2537674	4121572	2537606	4121572	MASW	57.5
MASW02	2537053	4121674	2536989	4121675	MASW	57.5
MASW03	2536660	4121609	2536614	4121564	MASW	57.5
MASW04	2538075	4121917	2538099	4121982	MASW	57.5
SRT4	2538307	4122365	2538140	4122051	Rifrazione	357.5

**Tabella 11 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie realizzate nell'ambito della campagna indagini —CI2022, elencate in ordine alfanumerico.**

sigla	Monte Mario/Italy 2		tipologia indagine
	X	Y	
HV01	2537943	4121668	HVSR
HV02	2537643	4121572	HVSR
HV03	2537308	4121638	HVSR
HV04	2536996	4121695	HVSR
HV05	2536638	4121592	HVSR
HV06	2536435	4121341	HVSR
HV07	2538238	4122270	HVSR
HV08	2538071	4121931	HVSR

**Tabella 12 - Sintesi delle indagini geofisiche HVSR realizzate nell'ambito della campagna di indagini —CI2022, elencate in ordine alfanumerico.**

### 9.1.4 Prove di laboratorio

Di seguito vengono sintetizzati i risultati delle analisi fisiche sui campioni in terra analizzati, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sondaggio, campione, profondità, ghiaia, sabbia, limo, argilla, limite liquido ( $W_L$ ), limite plastico ( $W_P$ ), indice di plasticità ( $I_P$ ), indice di consistenza ( $I_C$ ), contenuto d'acqua naturale ( $w$ ), massa volumica ( $\rho$ ), massa volumica dei grani ( $\rho_s$ )).

campione			granulometria				limiti				w	$\rho$	$\rho_s$
sondaggio	campione	profondità prelievo m	ghiaia	sabbia	limo	argilla	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$I_C$	%	$Mg/m^3$	$Mg/m^3$
			%	%	%	%	%	%	%	-			
BH13_DH	CI1	1.80-2.20	-	-	-	-	ND	NP	0	-	13.3	-	2.58
BH13_DH	CI2	6.00-6.40	0	2	45	53	71	27	44	0.77	37.0	1.82	2.65
BH13_DH	CI3	12.00-12.40	0	1	38	61	90	27	63	0.89	34.2	1.83	2.65
BH13_DH	CI4	35.00-35.40	0	1	37	62	84	25	59	0.86	33.1	1.84	2.63
BH14_DH	CI1	2.60-3.00	-	-	-	-	ND	NP	0	-	8.7	-	2.55
BH14_DH	CI2	5.60-6.00	0	2	40	58	63	26	37	0.80	33.4	1.88	2.67
BH14_DH	CI3	12.00-12.40	0	3	40	57	67	27	40	0.86	32.5	1.83	2.66
BH14_DH	CI4	35.00-35.40	0	3	38	59	84	37	47	1.09	32.7	1.89	2.67

Tabella 13 – Quadro sinottico delle analisi fisiche eseguite in laboratorio sui campioni di terreno prelevati nel corso delle perforazioni durante la campagna di indagini attuale.

## 9.2 Indagini pregresse

Sono state consultate ed analizzate le indagini geognostiche derivanti da differenti studi di seguito elencati con indicazione dell'identificativo dello studio, anno e campagna indagini riportante il titolo del lavoro:

identificativo CI	campagna indagini
● CI2011	“Progetto definitivo velocizzazione linea Catania Siracusa tratta Bicocca - Targia - I lotto funzionale - Bicocca-Augusta” PROGETTO DEFINITIVO - 2011
● CI2003	“Progetto preliminare velocizzazione linea Catania Siracusa tratta Bicocca - Targia tra i Km 236+800 e Km 301+890” PROGETTO PRELIMINARE - 2003

Il numero totale dei campioni di terreno prelevati è di 18, mentre quello delle prove SPT effettuate nei fori di sondaggio è di 6.

### 9.2.1 Sondaggi

Di seguito vengono elencati tutti i sondaggi geognostici eseguiti nell'ambito delle campagne di indagini ●CI2011 e ●CI2003, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 2/fuso Est (EPSG 3004), quota, strumentazione, profondità (prof), numero campioni prelevati indisturbati (I), numero campioni prelevati SPT (SPT), numero prove SPT e numero prove Lefranc/Lugeon (P)).

sigla	Monte Mario/Italy 2		quota <i>m s.l.m.</i>	strumentazione	prof <i>m</i>	campioni		prove in foro	
	X	Y				I	P		
CR13V	2538251	4122156	9.5	Piezometro	15.0	2		1	
S37	2538916	4122398	-	Sismica in foro	30.0	4		1	
<b>●CI2011</b>						<b>Totale</b>		<b>6</b>	<b>2</b>

Tabella 14 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini ●CI2011, elencati in ordine alfanumerico.

sigla	Monte Mario/Italy 2		quota <i>m s.l.m.</i>	strumentazione	prof <i>m</i>	campioni		prove in foro		
	X	Y				I	SPT	SPT		
S8	2538163	4122031	9.4	Non attrezzato	10.0	2	2	2		
S12	2537235	4121652	-	Non attrezzato	15.0	2	0	0		
S13	2537413	4121604	-	Non attrezzato	15.0	2	0	2		
S14	2537590	4121546	-	Non attrezzato	10.0	2	0	2		
S15	2537522	4121750	-	Non attrezzato	15.0	2	0	0		
<b>●CI2003</b>						<b>Totale</b>		<b>10</b>	<b>2</b>	<b>6</b>

Tabella 15 - Sintesi del sondaggio geognostico realizzato nell'ambito della campagna indagini ●CI2003, elencati in ordine alfanumerico.

### 9.2.2 Prove di permeabilità

Di seguito si riporta una sintesi delle prove realizzate durante l'attuale campagna di indagini ●CI2011.

sigla	prova	tipologia	profondità <i>m</i>	permeabilità <i>m/s</i>
CR13V	Lefranc 1	Lefranc	7.5 - 8.0	-
S37	1	Lefranc	2.5 - 3.0	1.65E-07

Tabella 16 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità realizzate durante la campagna indagini ●CI2011.

### 9.2.3 Prove di laboratorio

Di seguito vengono sintetizzati i risultati delle analisi fisiche sui campioni in terra analizzati, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sondaggio, campione, profondità, ghiaia, sabbia, limo, argilla, limite liquido ( $W_L$ ), indice plastico ( $I_p$ ), contenuto in acqua ( $w$ ), massa volumica ( $\gamma$ ), massa volumica dei grani ( $\gamma_s$ )).

campione			granulometria				limiti		w	$\gamma$	$\gamma_s$
sondaggio	campione	profondità prelievo <i>m</i>	ghiaia	sabbia	limo	argilla	W <sub>L</sub>	I <sub>p</sub>	Mg/m <sup>3</sup>	%	%
			%	%	%	%	-	kPa			
S37	C01	1.50-2.10	-	2.19	52.11	45.7	70	39	26.4	1.91	2.54
S37	C02	7.50-8.10	-	1.08	49.5	49.42	59	32	32.66	1.89	2.68
S37	C04	22.50-23.10	-	0.84	50.9	48.27	71	39	30.93	1.88	2.59

Tabella 17 – Quadro sinottico delle analisi fisiche eseguite in laboratorio sui campioni di terreno prelevati nel corso delle perforazioni durante la campagna di indagini ●CI2011.

campione			limiti				w	$\gamma$	$\gamma_s$
sondaggio	campione	profondità prelievo <i>m</i>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	-	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
			S8	1	3.00-3.50	0.58	0.24	0.34	0.94
S8	2	8.00-8.50	0.86	0.35	0.51	1.18	0.26		27.2
S12	1	2.00-2.50	0.85	0.28	0.57	0.88	0.35	18.5	27.3
S12	2	7.00-7.50	0.78	0.26	0.52	0.79	0.37	19	27.1
S13	1	3.00-3.50	0.8	0.27	0.53	0.91	0.32	18.8	27.3
S13	2	12.00-12.50	-	-	-	-	0.3	19	26.9
S14	1	5.00-5.50	0.74	0.26	0.48	0.83	0.34		27.1
S14	2	8.00-8.50	0.71	0.25	0.46	0.78	0.35	19.3	27
S15	1	2.00-2.50	0.79	0.27	0.52	0.83	0.36	18.7	27.2
S15	2	6.00-6.50	0.78	0.28	0.5	0.78	0.39	18.5	27.1

Tabella 18 – Quadro sinottico delle analisi fisiche eseguite in laboratorio sui campioni di terreno prelevati nel corso delle perforazioni durante la campagna di indagini ●CI2003.

## 10 MONITORAGGI

Di seguito si riporta il monitoraggio piezometrico condotto nei tubi piezometrici installati nei fori di sondaggio.

### 10.1 Monitoraggio piezometrico

Allo scopo di indagare l'effettiva presenza di falde idriche sotterranee ed il relativo andamento della superficie piezometrica, nel corso dello studio è stata eseguita un'apposita campagna di monitoraggio consistente nella misura del livello di falda nei tubi piezometrici precedentemente installati nei fori di sondaggio. In particolare, durante l'attuale campagna indagine sono stati attrezzati con piezometri n. 3 fori di sondaggio di cui n. 2 a tubo aperto e n.1 con una cella di Casagrande.

Più in dettaglio, il monitoraggio dei livelli piezometrici è iniziato a settembre 2022 ed è ad oggi ancora in corso per i due piezometri a tubo aperto, mentre per il piezometro con una cella di Casagrande non è ancora iniziato. Nelle cartografie e nei profili idrogeologici sono stati riportati i valori della falda registrati nel corso del monitoraggio da settembre a novembre 2022. Il livello piezometrico lungo tutto il tracciato ferroviario è stato ricostruito attraverso i dati piezometrici a disposizione e le caratteristiche idrogeologiche ricostruite per l'area di studio.

Di seguito si riportano i dati del livello piezometrico registrati nel corso del monitoraggio piezometrico che ha interessato le strumentazioni della campagna indagini attuale (●CI2022) con indicazione delle principali caratteristiche del foro (sigla, piezometro, data, profondità falda, quota falda e note).

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
BH6_PZ	Tubo aperto¶ cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 40.0	09/2022	24.65	-12.65	
		10/2022	25.45	-13.45	
BH12_PZ	Tubo aperto¶ cieco: 0.0 - 1.0 finestrato: 1.0 - 39.0 cieco: 39.0 - 40.0	09/2022	4.35	-0.12	
		11/2022	4.40	-0.17	

**Tabella 19 - Dati disponibili del monitoraggio piezometrico condotto sulle strumentazioni installate nei fori di sondaggio della campagna indagine CI2022, utilizzati nello studio di ricostruzione della falda; nella colonna "Prof. falda m da p.c." i valori negativi indicano falda in pressione, in rosso è evidenziata la misura massima rilevata, mentre in blu la minima.**

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

## 11 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

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

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

### 11.1 Profilo geologico

Di seguito vengono descritte dal punto di vista geologico le tratte Binario I porto, Binario banchina e Binario di presa e consegna. I diversi tratti relativi al tracciato ferroviario in questione sono stati opportunamente distinti, da nord-est a sud-ovest, in funzione della tipologia di opere in progetto e delle principali caratteristiche geologico-strutturali dell'area.

#### 11.1.1 Binario I porto

La tratta in oggetto si sviluppa per circa 1+388 km da nord-est a sud-ovest.

##### 11.1.1.1 Tratta da pk 0+000 a 0+540

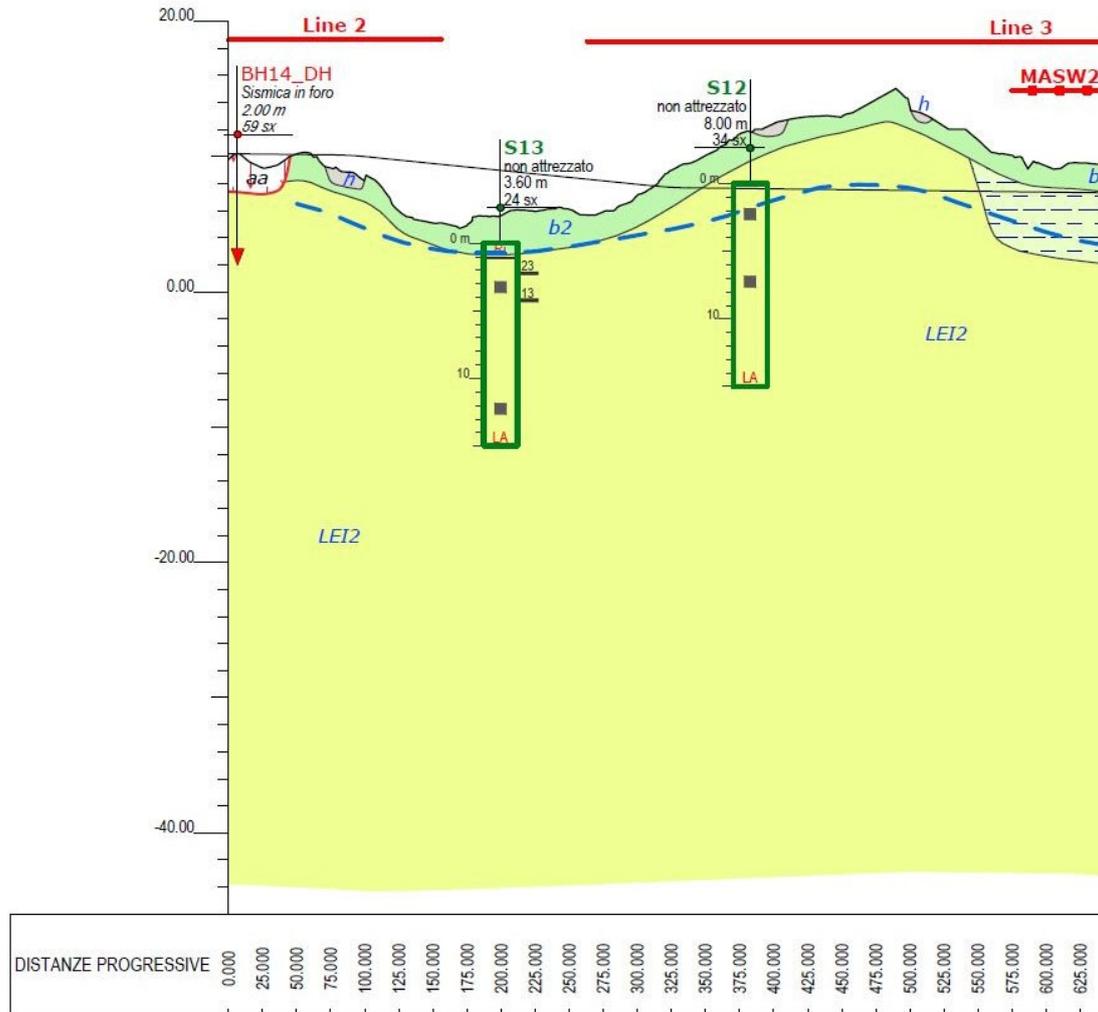
Il tratto in questione si colloca nella porzione centrale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, poste a quote di progetto variabili tra i 7.4 m e i 10.1 m circa s.l.m.. La superficie topografica nella zona di intervento è invece posta a quote comprese tra i 4.7 m ed i 15.0 m circa s.l.m..

Il substrato geologico dell'area (Figura 27) è rappresentato praticamente ovunque dai terreni argilloso-limosi del Sintema Lentini (**LEI2**). Tali depositi sono localmente ricoperti dalle Coltri eluvio-colluviali (**b2**) e dai Riporti antropici (**h**) con spessori non superiori ai 3 m.

Dal punto di vista geomorfologico il tracciato attraversa una porzione di territorio posta alla base di un modesto rilievo a poche decine di metri dalla costa ionica. Tale rilievo è caratterizzato dalla presenza di un'area a franosità diffusa, con stato attivo e distribuzione prevalentemente costante. I fenomeni, di tipo prevalentemente rotazione, sono piuttosto superficiali e interessano le coltri di copertura e la porzione più superficiale del substrato geologico dell'area. Questi fenomeni sono intercettati dalle opere in progetto nella parte iniziale del tratto, tra la pk 0+000 e la pk 0+045.

Ad ovest dell'area in frana si rinvencono diffusi fenomeni erosivi, sia areali che concentrati, connessi con il deflusso delle acque correnti superficiali. In corrispondenza delle aree impluviali tali fenomeni sono rappresentati

da solchi di erosione concentrata di limitata estensione, mentre lungo i versanti sono presenti fenomeni di ruscellamento diffuso di limitata intensità. Localmente sono presenti scarpate morfologiche di genesi sia marina che antropica.



**Figura 27 - Stralcio del profilo geologico del Binario I porto tra il km 0+000 e il km 0+540.**

#### 11.1.1.2 Tratta da pk 0+540 a 1+388

Il tratto in questione si colloca nella porzione centro-meridionale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, poste a quote di progetto variabili tra i 6.4 m e i 7.4 m circa s.l.m.. La superficie topografica nella zona di intervento è invece posta a quote comprese tra i 3.7 m ed i 12.0 m circa s.l.m..

Il tracciato ferroviario in progetto (Figura 28) attraversa, per gran parte del suo sviluppo, i Depositi marini terrazzati localmente presenti in prossimità della costa ionica, in facies sia limoso-argillosa (**gn3**) che sabbioso-limosa (**gn2**). Tali depositi presentano uno spessore massimo di circa 7.7 m e sono ovunque ricoperti da coltri eluvio-colluviali (**b2**) di limitato spessore. In corrispondenza della piana alluvionale, a NW delle saline, si rinvencono i terreni sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb2**), con uno spessore massimo di circa 6.3

m, mentre in corrispondenza dell'alveo sono presenti i terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali (**ba1**). Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai terreni argilloso-limosi del Sintema Lentini (**LEI2**), mentre solo localmente sono presenti Riporti antropici (**h**) di limitato spessore.

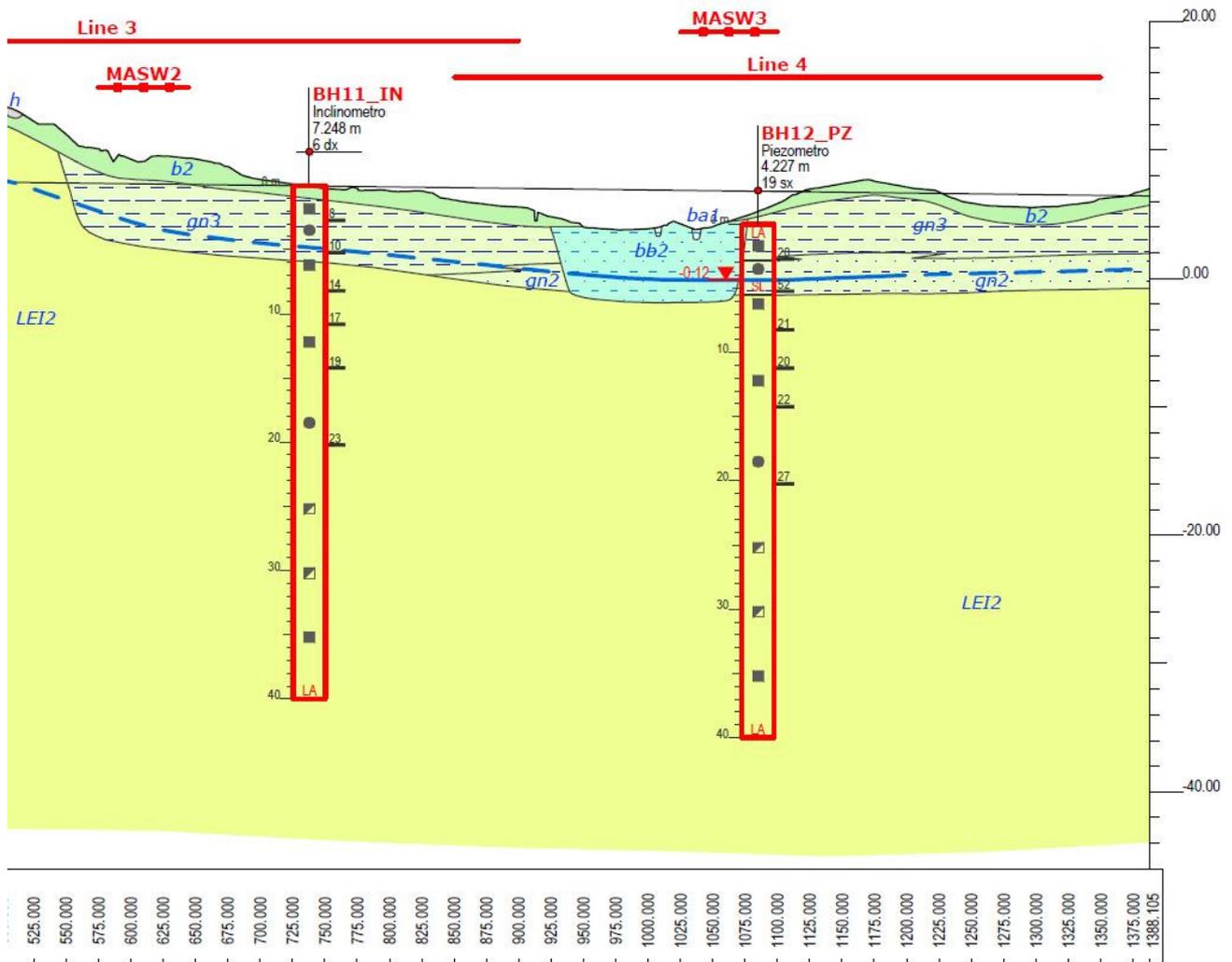


Figura 28 - Stralcio del profilo geologico del Binario I porto tra il km 0+540 e il km 1+388.

Dal punto di vista geomorfologico il tracciato attraversa una porzione di territorio posta alla base di un modesto rilievo a poche decine di metri dalla costa ionica. Tale rilievo è caratterizzato dalla presenza di alcune forme riconducibili a fenomeni erosivi dovuti alle acque correnti superficiali, quali solchi di erosione concentrata e areali con ruscellamento diffuso. Localmente sono presenti scarpate morfologiche di genesi marina e antropica.

### 11.1.2 Binario di presa e consegna

La tratta in oggetto si sviluppa per circa 1+388 km da nord-est a sud-ovest.

### 11.1.2.1 Tratta da pk 0+000 a 0+380

Il tratto in questione si colloca nella porzione più settentrionale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, poste a quote di progetto variabili tra i 10.1 m e i 10.9 m circa s.l.m.. La superficie topografica nella zona di intervento è invece posta a quote comprese tra i 1.6 m ed i 10.4 m circa s.l.m..

Il substrato geologico dell'area (Figura 29) è rappresentato dai terreni prevalentemente pelitici del Sintema Lentini (**LEI2**). Tali depositi sono localmente ricoperti dalle Coltri eluvio-colluviali (**b2**) e dai Riporti antropici (**h**) con spessori non superiori ai 6-7 m. Nel settore centrale del tratto esaminato, al di sotto di questi depositi si rinvencono Depositi di spiaggia attuali (**g2**) a granulometria sabbioso-limoso, con uno spessore massimo di circa 3.5 m.

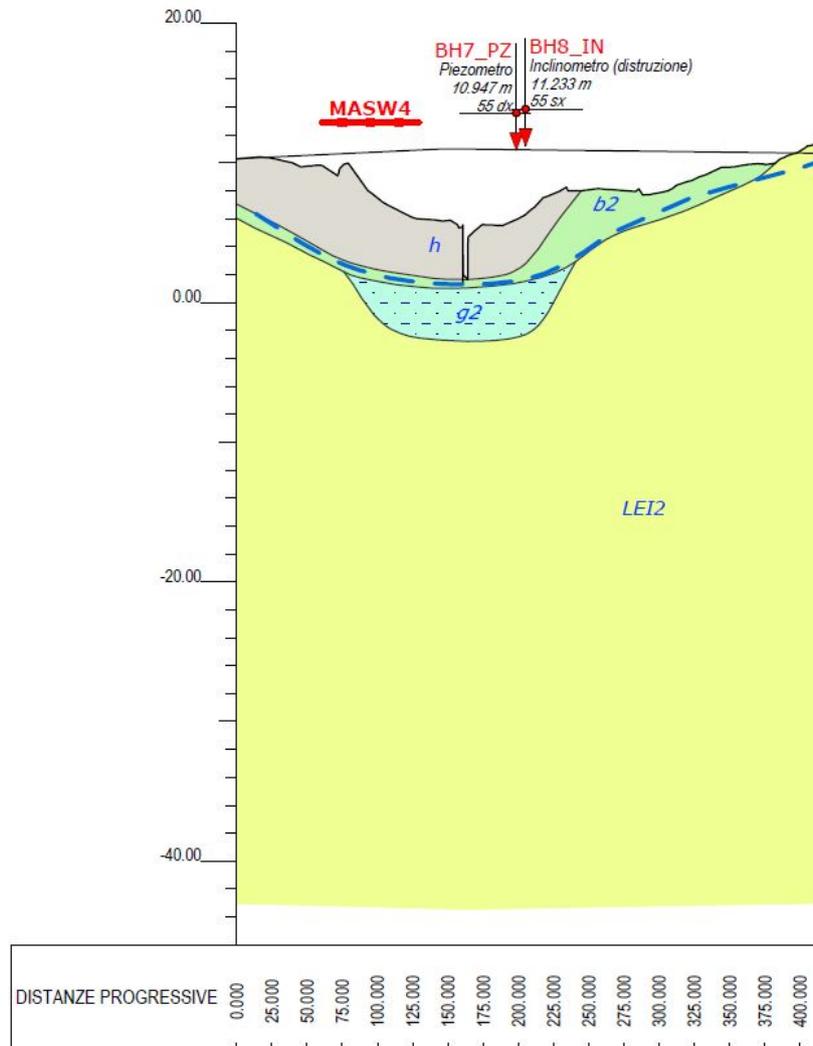


Figura 29 - Stralcio del profilo geologico del Binario di presa e consegna tra il km 0+000 e il km 0+380.

Dal punto di vista geomorfologico il tracciato attraversa una porzione di territorio posta alla base di un modesto rilievo a poche decine di metri dalla costa ionica. Tale rilievo è caratterizzato dalla presenza di dissesti riconducibili

a fenomeni di deformazione viscosa delle coltri (*creep* e/o soliflusso). Si tratta di deformazioni estremamente lente e con ridotta capacità morfoevolutiva, che interessano prevalentemente le coltri di copertura presenti lungo il pendio. I processi deformativi sono strettamente connessi alle precipitazioni meteoriche e interessano tutto il versante a monte della strada di accesso all'area portuale.

#### 11.1.2.2 Tratta da pk 0+380 a 0+903

Il tratto in questione si colloca nella porzione centrale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, poste a quote di progetto variabili tra i 10.0 m e i 10.7 m circa s.l.m.. La superficie topografica nella zona di intervento è invece posta a quote comprese tra i 7.9 m ed i 20.1 m circa s.l.m..

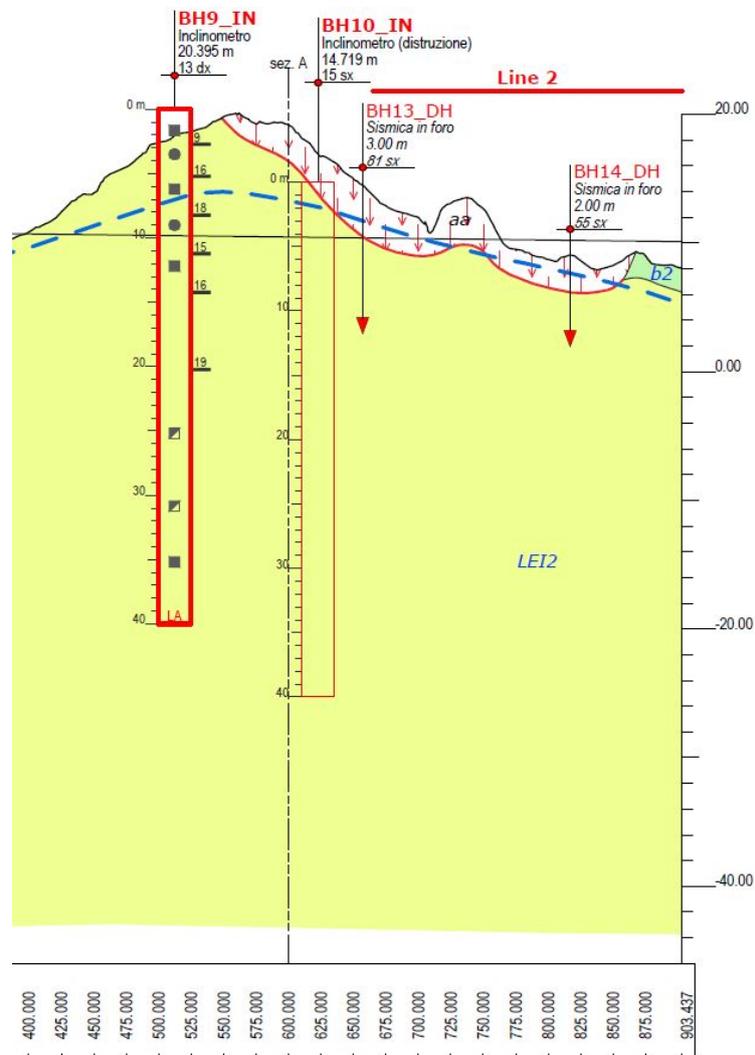


Figura 30 - Stralcio del profilo geologico del Binario di presa e consegna tra il km 0+380 e il km 0+903.

Il substrato geologico dell'area (Figura 30) è rappresentato, ancora una volta, dai terreni argilloso-limosi del Sintema Lentini (LEI2). Tali depositi sono localmente ricoperti nel tratto più meridionale dalle Coltri eluvio-colluviali (b2) con spessori modesti, di circa 2 m.

Dal punto di vista geomorfologico il tracciato attraversa una porzione di territorio posta alla base di un modesto rilievo a poche decine di metri dalla costa ionica. Tale rilievo è caratterizzato dalla presenza un'area a franosità diffusa, costituita da movimenti superficiali con stato attivo e distribuzione prevalentemente costante. I fenomeni franosi presentano spessori variabili tra 2 e 4 m circa (Figura 30) e interessano unicamente le coltri di copertura e le porzioni più superficiali del substrato. Tali fenomeni, a cinematica estremamente lenta, vengono intercettati dalle opere in progetto la pk 0+550 e la 'pk 0+865 circa

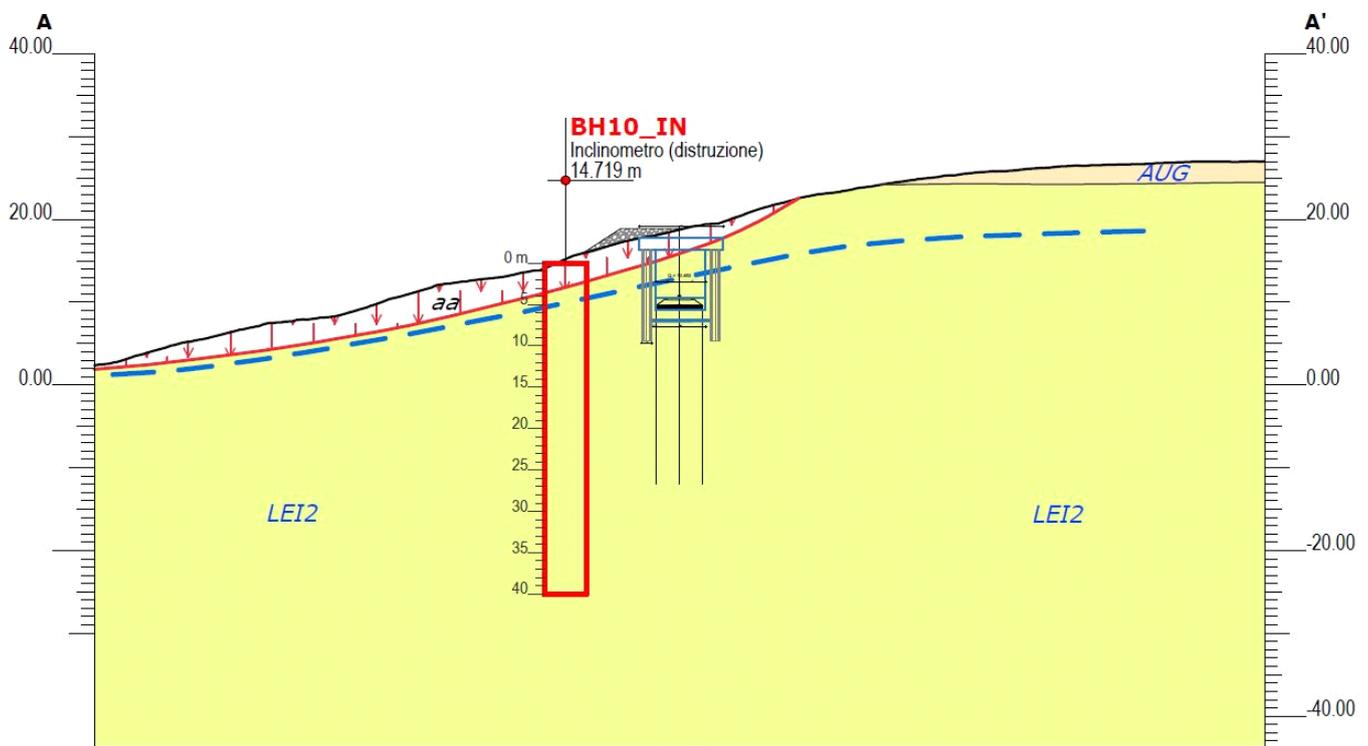


Figura 31 - Stralcio della Sezione geologica AA', all'altezza della pk 0+600.

Inoltre alla base del versante, in prossimità della pk 0+400 circa, si rinvencono alcune forme riconducibili a fenomeni erosivi dovuti alle acque correnti superficiali. Si tratta essenzialmente di fenomeni di ruscellamento diffuso, che interessano sia le coltri di copertura che il substrato geologico dell'area.

### 11.1.3 Binario banchina

Di seguito viene descritto da nord a ovest l'assetto geologico-strutturale, stratigrafico e geomorfologico del settore d'intervento in cui è prevista la realizzazione del binario banchina. Il tracciato in questione interessa la banchina e il porto turistico di Augusta.

In tale settore si rinvencono principalmente i terreni di riporto antropico (**h**) utilizzati per la realizzazione dell'attuale banchina. Nel tratto finale il tracciato attraversa i Depositi eluvio-colluviali (**b2**), in appoggio sul substrato geologico di riferimento rappresentato dai terreni argilloso-limosi del Sistema Lentini (**LEI2**).

## 11.2 Profilo idrogeologico

Di seguito vengono descritte dal punto di vista idrogeologico le tratte Binario I porto, Binario banchina e Binario di presa e consegna. I diversi tratti relativi al tracciato ferroviario in questione sono stati opportunamente distinti, da nord a sud, in funzione della tipologia di opere in progetto e delle principali caratteristiche geologico-strutturali dell'area.

### 11.2.1 Binario I porto

La tratta in oggetto si sviluppa per circa 1+388 km da nord-est a sud-ovest.

#### 11.2.1.1 Tratta da pk 0+000 a 0+540

Dal punto di vista idrogeologico, il tracciato è interessato dalla presenza del complesso del Substrato argilloso-limoso (SAL), caratterizzato da valori di permeabilità variabili da molto bassa a bassa (Figura 32). In corrispondenza del tracciato, tale complesso è localmente coperto dal complesso dei Terreni di copertura (TRC), i caratterizzati da una permeabilità estremamente variabile, compresa tra molto bassa ad alta.

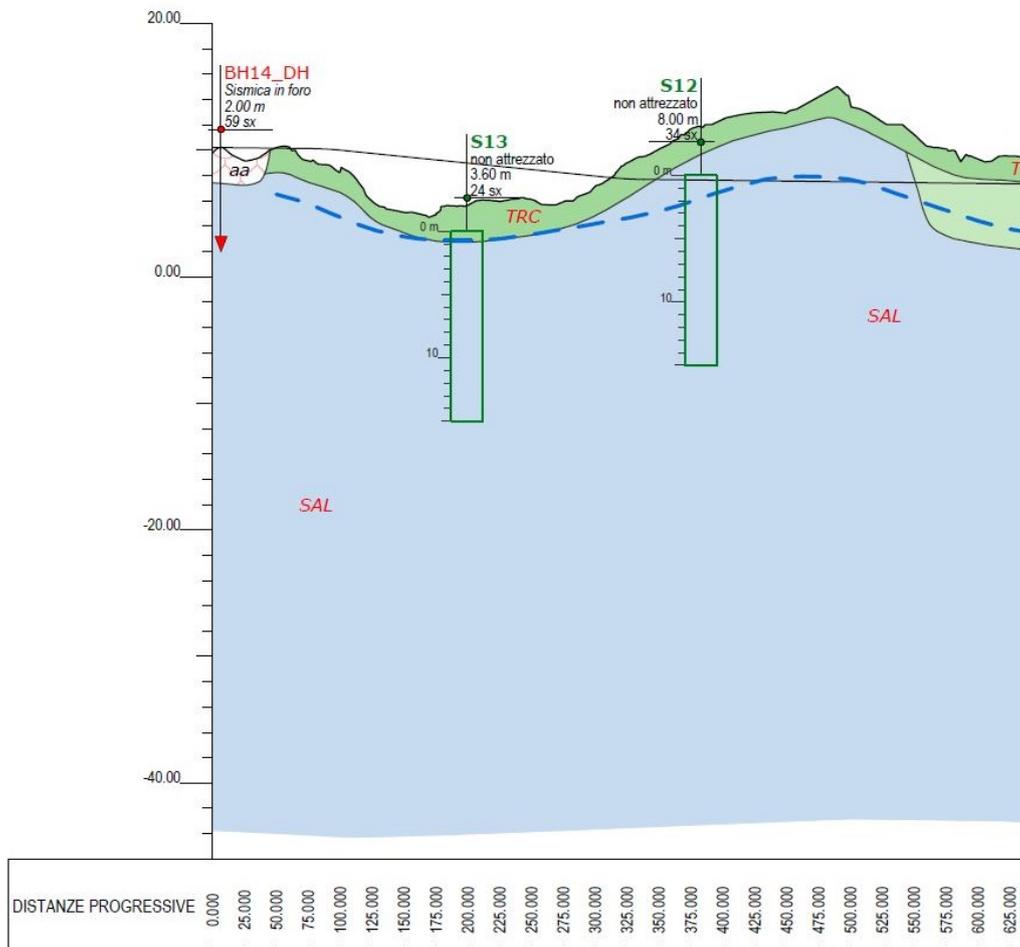


Figura 32 – Stralcio del profilo idrogeologico del Binario I porto tra il km 0+000 e il km 0+540.

Per quanto riguarda il monitoraggio piezometro, in questo settore non sono presenti dati diretti di monitoraggio. In generale, è comunque possibile ipotizzare la presenza di un livello piezometrico posto a pochi metri di profondità dal p.c., in corrispondenza delle coltri di copertura o della porzione più superficiale ed alterata del substrato.

### 11.2.1.2 Tratta da pk 0+540 a 1+388

Dal punto di vista idrogeologico, il tratto in esame (Figura 33) interessa quasi ovunque i depositi del complesso idrogeologico dei Terreni di copertura (TRC). Tale complesso presenta valori di permeabilità estremamente variabili e poggia sui terreni dei Depositi argilloso-limosi (DAL) con permeabilità da molto bassa a bassa. Nel tratto centrale si rinvencono Depositi sabbioso-limosi (DSL) con una permeabilità variabile da bassa a media. Infine, i litotipi del complesso del Substrato argilloso-limoso (SAL) caratterizzati da valori di permeabilità variabili da molto bassa a bassa.

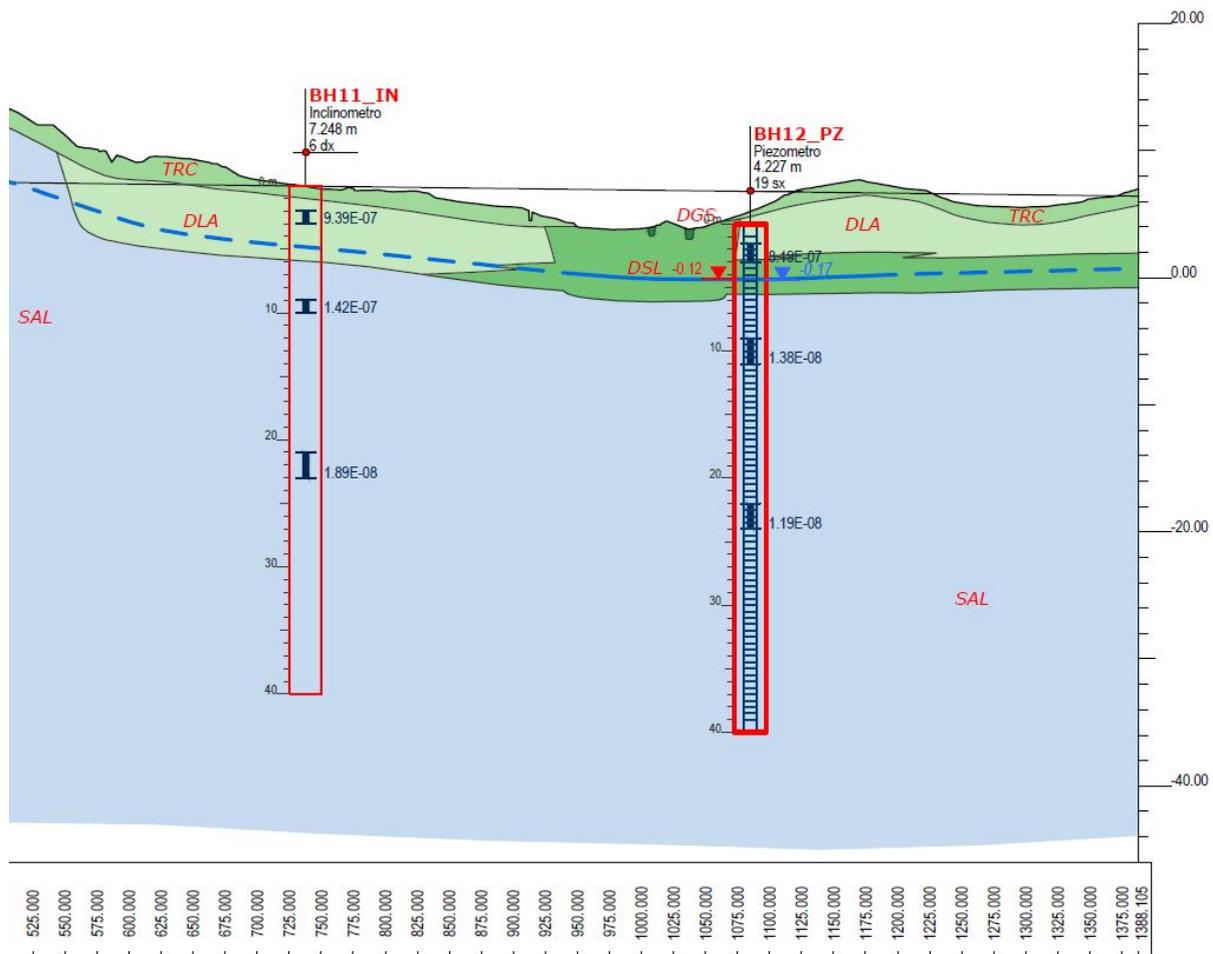


Figura 33 – Stralcio del profilo idrogeologico del Binario I porto tra il km 0+540 e il km 1+388.

I dati diretti di monitoraggio disponibili evidenziano un livello piezometrico nel foro BH12\_PZ posto ad una quota di circa -0.12 m s.l.m.. Nei restanti settori, in assenza di dati diretti, è possibile ipotizzare la presenza di un livello

piezometrico relativamente superficiale, che segue grossomodo l'andamento della superficie topografica a meno dei settori di affioramento del complesso sabbioso-calcarenitico.

### 11.2.2 Binario di presa e consegna

La tratta in oggetto si sviluppa per circa 1+388 km da nord-est a sud-ovest.

#### 11.2.2.1 Tratta da pk 0+000 a 0+380

Dal punto di vista idrogeologico, il tracciato è caratterizzato dalla presenza del complesso del Substrato argilloso-limoso (SAL), con valori di permeabilità variabili da molto bassa a bassa (Figura 34). In corrispondenza del tratto centrale del tracciato, tale complesso è localmente coperto dal complesso dei Depositi sabbioso-limosi (DSL), con una permeabilità variabile da bassa a media. Inoltre, a copertura dei termini litologici suddetti, sono presenti i terreni, spessi anche diversi metri, del complesso idrogeologico dei Terreni di copertura (TRC), con una permeabilità estremamente variabile, compresa tra molto bassa ad alta.

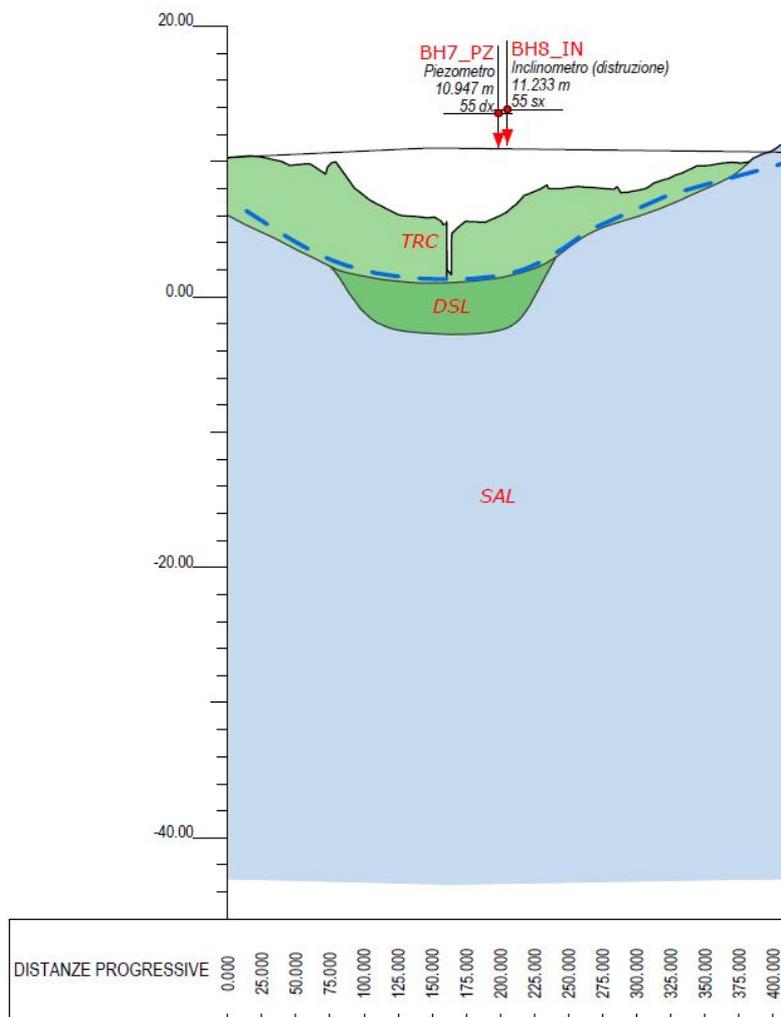


Figura 34 - Stralcio del profilo idrogeologico del Binario di presa e consegna tra il km 0+000 e il km 0+380.

Per quanto riguarda il monitoraggio piezometro, in questo settore non sono presenti dati diretti di monitoraggio. Ad ogni modo, è possibile ipotizzare la presenza di un livello piezometrico relativamente superficiale, posto a pochi metri di profondità dal p.c.. Tale livello dovrebbe seguire l'andamento morfologico del versante e posizionarsi in corrispondenza dei terreni di copertura o delle porzioni più superficiali del substrato.

### 11.2.2.2 Tratta da pk 0+380 a 0+903

Dal punto di vista idrogeologico, il tracciato è interessato dalla presenza del complesso del Substrato argilloso-limoso (SAL), caratterizzato da valori di permeabilità variabili da molto bassa a bassa (Figura 35). Nel tratto finale tale complesso è localmente coperto dal complesso dei Terreni di copertura (TRC), con una permeabilità estremamente variabile, compresa tra molto bassa ad alta.

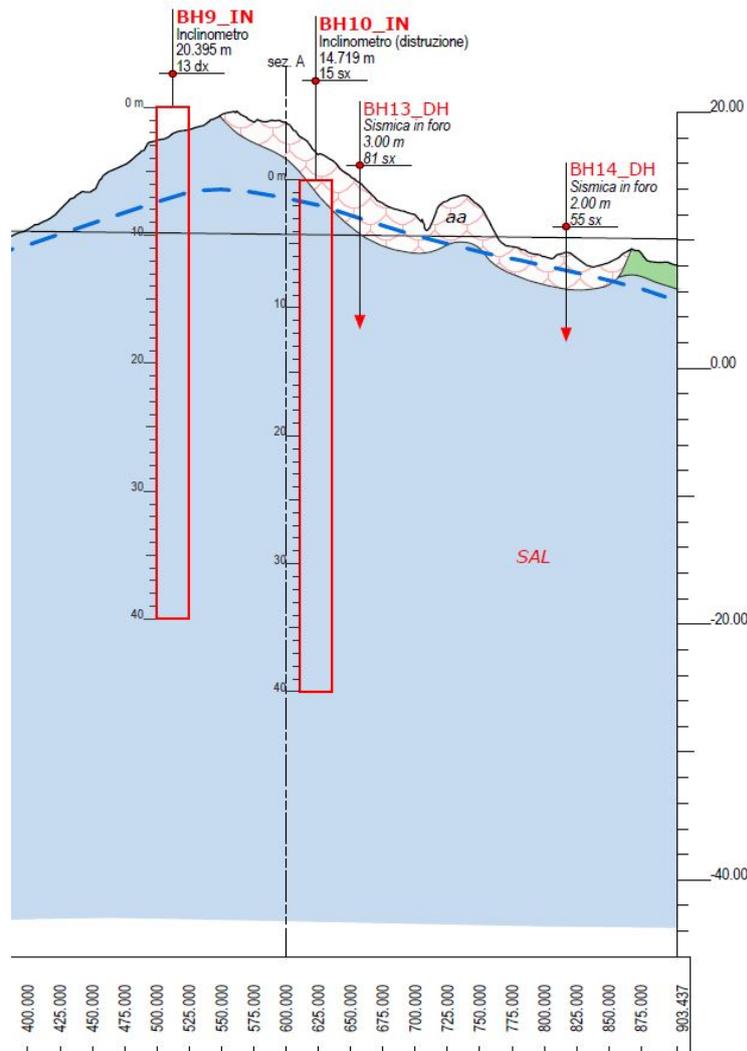


Figura 35 - Stralcio del profilo idrogeologico del Binario di presa e consegna tra il km 0+380 e il km 0+903.

Per quanto riguarda il monitoraggio piezometro, in questo settore non sono presenti dati diretti di monitoraggio. Sulla scorta di considerazioni idrogeologiche è possibile ipotizzare la presenza di un livello piezometrico piuttosto

superficiale, posto in corrispondenza dei depositi di copertura e della porzione più superficiale del substrato. Tale livello dovrebbe raccordarsi con il livello del mare in corrispondenza della linea di costa (Figura 36).

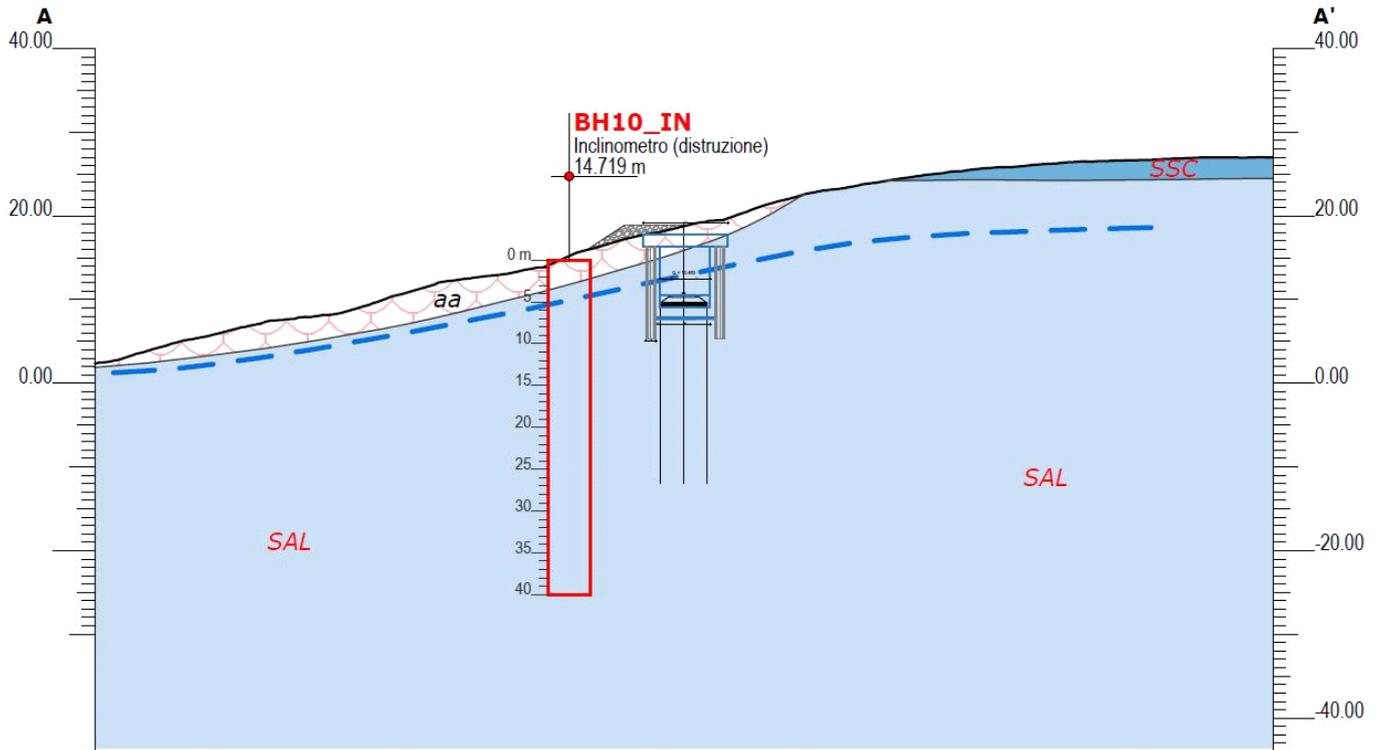


Figura 36 - Stralcio del profilo idrogeologico della Sezione geologica AA', all'altezza della pk 0+600.

### 11.2.3 Binario banchina

Dal punto di vista idrogeologico, il tracciato è interessato dalla presenza del complesso del Substrato argilloso-limoso (SAL), caratterizzato da valori di permeabilità variabili da molto bassa a bassa. Tale complesso è localmente coperto dal complesso dei Terreni di copertura (TRC), i quali sono caratterizzati da una permeabilità estremamente variabile, compresa tra molto bassa ad alta.

Per quanto riguarda il monitoraggio piezometro, in questo settore non sono presenti dati diretti di monitoraggio.

## 12 SISMICITÀ DELL'AREA

La Sicilia orientale, e in particolare il settore ibleo, è caratterizzata da un elevato rischio sismico, connesso alla particolare conformazione geologica del territorio ed alle numerose faglie attive presenti nell'area. Nello specifico, il settore dei Monti Iblei rappresenta una delle zone a più alta pericolosità sismica d'Italia (Carbone 2011), essendo stata colpita in passato da diversi terremoti distruttivi, con magnitudo  $M$  compresa tra 6.4 e 7.3 (Azzaro et al. 2000; Barbano et al. 2001; Boschi & Guidoboni 2001).

### 12.1 Sismicità regionale

I terremoti capaci di dare un contributo significativo alla pericolosità sismica dell'area di Augusta (Figura 37) sono localizzati nella Sicilia orientale e nella Calabria meridionale (Carbone 2011). Per quanto concerne le zone sismogenetiche della Calabria meridionale, le strutture certamente più attive sono quelle del bacino del Mèsima, delle Serre, di Gioia Tauro e di Cittanova, la cui attività si è protratta anche nel Pleistocene superiore e nell'Olocene (Valensise & D'Addezio 1994; Monaco & Tortorici 2000; Jacques et al. 2001). Tali strutture, con direzione circa NE-SW, sono state probabilmente responsabili dei maggiori terremoti calabresi del 5, 6 e 7 febbraio e del 1 marzo del 1783 (Baratta 1901).

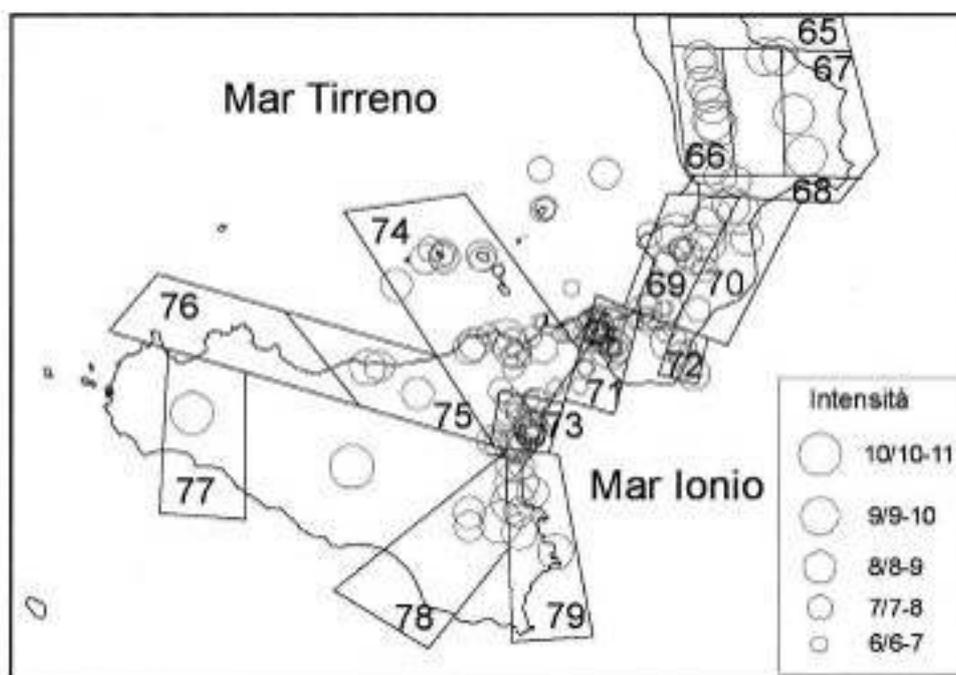


Figura 37 – Epicentri dei principali terremoti della Sicilia e della Calabria nel periodo 1125-1990 dal catalogo parametrico dei terremoti italiani (da Gruppo di Lavoro CPTI 1999).

Il terremoto del 28 dicembre 1908 ( $M = 7.1$  e  $I_{max} = XI$  MCS) è invece ubicato nella zona dello Stretto di Messina (Carbone 2011), in corrispondenza del versante calabrese. In assenza di evidenze ben documentate di fagliazione superficiale ed in relazione alla scarsa affidabilità dei dati strumentali, sono stati proposti differenti modelli riguardo la collocazione spaziale, la geometria e le dimensioni della sorgente sismogenetica (Ghisetti 1992; Valensise & Pantosti 1992, 2001).

Nella zona etnea, la sismicità è contraddistinta da eventi di bassa magnitudo e ridotta profondità ipocentrale (Gresta et al. 1997), per cui sono capaci di produrre effetti significativi solo all'interno di un'areale piuttosto ristretto (Azzaro et al. 2000). Al confine tra i Nebroidi ed i Peloritani occidentali, i terremoti sono localizzati lungo il versante tirrenico, soprattutto lungo l'allineamento Patti-Vulcano-Salina (Azzaro et al. 2000). Tale sismicità è associabile, quindi, alle diverse strutture trascorrenti NW-SE presenti nell'area (Barbano et al. 1979).

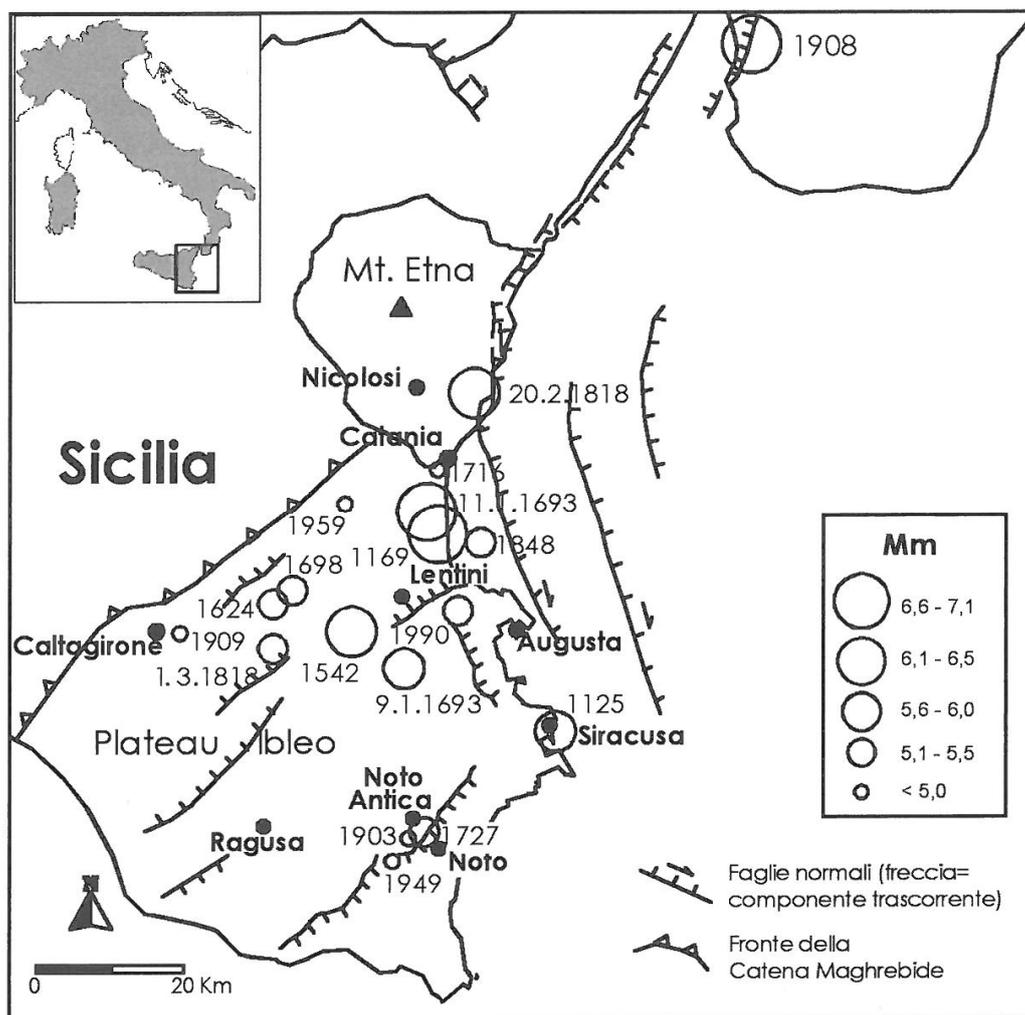


Figura 38 – Epicentri dei principali terremoti nel periodo 1125-1990 che hanno provocato danni o sono stati avvertiti a Catania (da Carbone et al. 2010).

Nella Sicilia Sud-orientale (Figura 38) la sismicità è distribuita soprattutto lungo la costa ionica, dove i principali eventi hanno raggiunto una magnitudo  $M$  prossima a 7.0 (Azzaro & Barbano 2000). La struttura responsabile dei maggiori terremoti di quest'area (1169,  $I_{max} = X$  MCS; 1693,  $I_{max} = XI$  MCS; 1818,  $I_{max} = IX/X$  MCS) è probabilmente la Scarpatà Maltese, un sistema di faglie trastensive a direzione prevalente NNW-SSE, che delimita *offshore* la zona ionica (Carbone et al. 1982; Bianca et al. 1999). Terremoti di modesta intensità sono localizzati, al contrario, nel settore più interno del Plateau Ibleo (Azzaro & Barbano 2000).

## 12.2 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 (e successive modifiche ed integrazioni) – “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di Normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*” disciplinava la classificazione sismica dei comuni d'Italia. Con l'emanazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/06 lo Stato ha definito i criteri nazionali che ciascuna Regione deve seguire per l'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio. Questo strumento normativo ha portato a valutare la classificazione sismica del territorio secondo parametri sismologici svincolati dal solo criterio politico del limite amministrativo fin qui utilizzato.

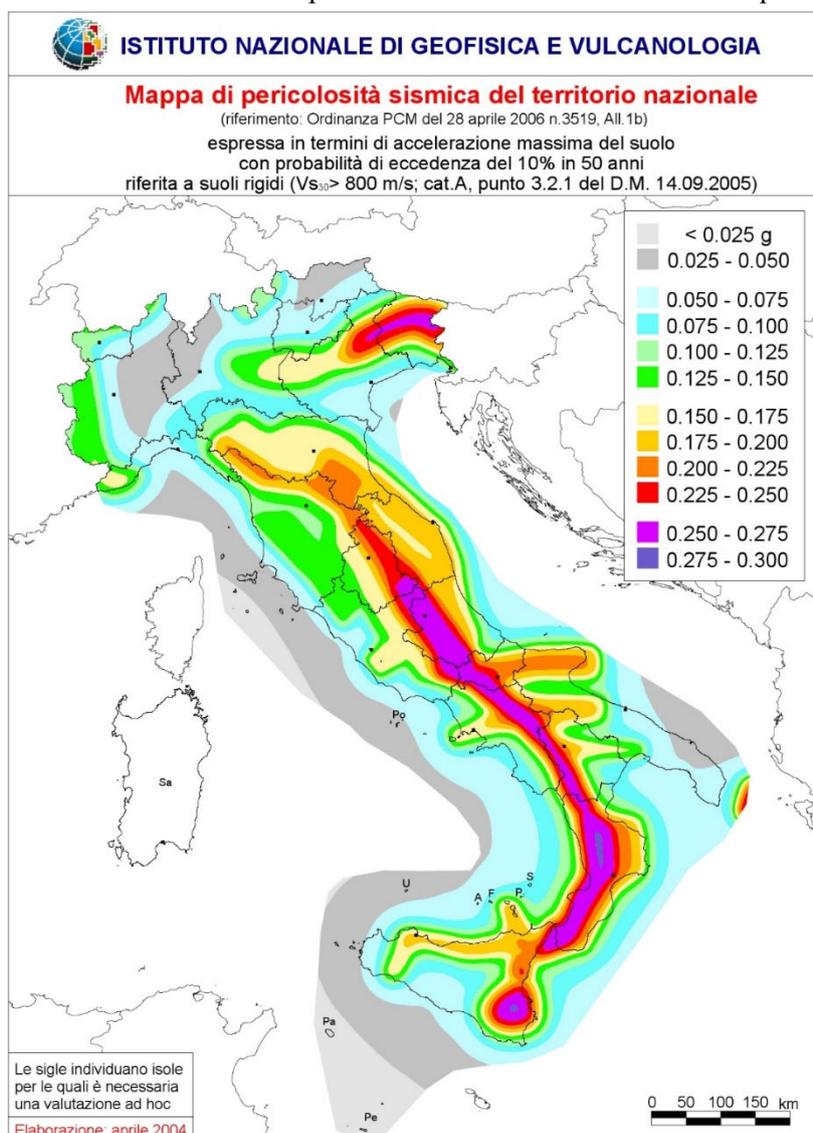


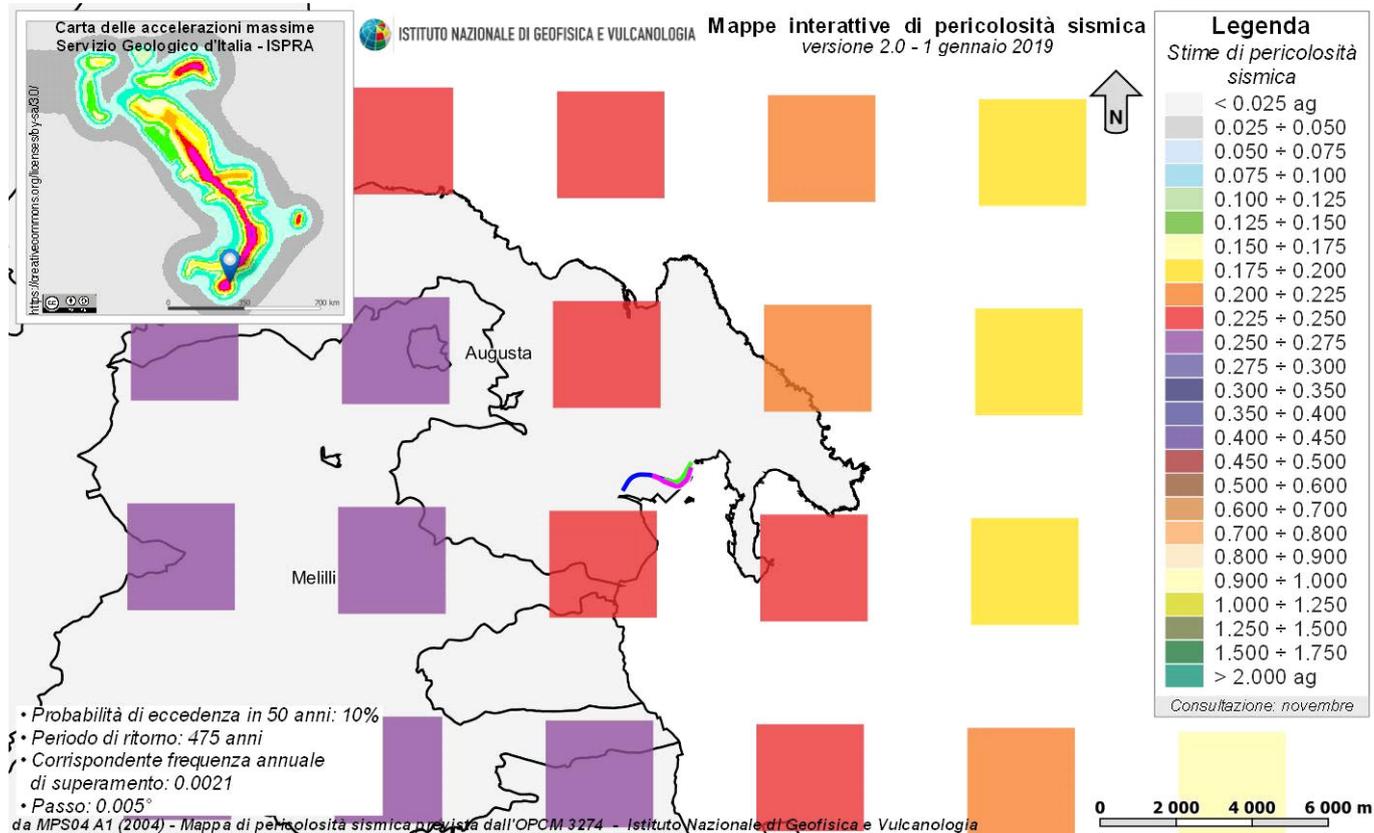
Figura 39 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

In seguito a tale classificazione, effettuata per ognuno dei comuni d'Italia, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede l'adozione delle stime di pericolosità sismica contenute nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (Figura 39). Detto studio è stato condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, uno strumento scientificamente valido ed avanzato, nonché utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.

In particolare, con tale provvedimento è stato superato il concetto di una classificazione sismica legata al singolo territorio comunale e si è posta nuova attenzione sul concetto di una pericolosità sismica uniforme a livello nazionale, stimata sulla base di quattro fondamentali zone sismiche. La vecchia classificazione sismica produceva, sovente, situazioni in cui un comune classificato sismico era fisicamente confinante con un comune non classificato e, pertanto, si assisteva ad un brusco cambiamento nei parametri sismici che avveniva in un breve arco di territorio.

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



**Figura 40 – Mappa di pericolosità sismica per l'area di interesse, in scala 1:200000; i colori della legenda indicano le diverse accelerazioni del suolo (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).**

All'attuale stato delle conoscenze e del progresso scientifico è possibile, attraverso l'applicazione *WebGIS*, consultare in maniera interattiva le mappe di pericolosità sismica (Figura 40). In particolare, per la zona interessata

dalla tratta ferroviaria progettuale, i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) sono compresi all'incirca nell'intervallo 0.200-0.250  $a_g$  (accelerazione massima del suolo).

La pericolosità sismica di un territorio è funzione di un complesso insieme di parametri naturali e rappresenta la probabilità che un evento sismico di data intensità si manifesti in una certa area in un determinato intervallo di tempo. Diverso è, invece, il concetto di rischio sismico che è il risultato catastrofico dell'evento naturale sul sistema antropico. Affinché si abbia rischio è necessario, pertanto, che uno o più degli elementi antropici esposti (vite umane, attività, beni) possieda un carattere di vulnerabilità tale da determinarne la perdita parziale o totale. La vulnerabilità, in tale accezione, è l'entità della perdita attesa derivante dal manifestarsi di un evento di data intensità nell'area in esame. Non potendo intervenire sulla pericolosità, che dipende esclusivamente da dinamiche naturali, si può intervenire sulla vulnerabilità degli elementi esposti al rischio e, quindi, sul rischio totale.

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



**Figura 41 – Griglia di riferimento per il settore oggetto di studio, riprodotto in scala 1:150000, con individuazione del tracciato in esame (in blu, verde e magenta) e dei punti del grigliato scelti (in rosso).**

All'indomani della riclassificazione sismica del territorio nazionale scaturita dal progetto S1 dell'INGV-DPC, si dispone di parametri sismici di riferimento aggiornati e di maggior dettaglio rispetto alla classificazione

macrosismica nazionale cui faceva riferimento il D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 (Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche). La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella “Mappa di Pericolosità Sismica” dell’Italia, che costituisce oggi la base di riferimento per la valutazione delle azioni sismiche di progetto sul sito in esame secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008).

Con riferimento al D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, sono stati determinati i parametri sismici di progetto per la realizzazione delle opere previste. In particolare, sulla base delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e dei dati relativi al progetto S1 dell’INGV-DPC, sono stati determinati i valori reticolari (Figura 41) dei parametri di riferimento relativamente ad un suolo rigido, per un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 475. Per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  (Tabella 20), necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (come previsto dalle NTC 2018 cfr. paragr. 3.2). I parametri forniti possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale.

ID	longitudine	latitudine	$a_g$	$F_0$	$T_c$
48978	15.181	37.272	0.242	2.260	0.420
48979	15.243	37.271	0.220	2.270	0.420
49200	15.180	37.222	0.247	2.270	0.420
49201	15.242	37.221	0.226	2.270	0.420

**Tabella 20 - Parametri di riferimento del moto sismico su suolo rigido per un periodo di ritorno  $T_r$  pari a 475 anni, le coordinate sono espresse in gradi decimali (EPSG:4230).**

La Regione Sicilia, con D.D.G. 11 marzo 2022, n. 64, ha provveduto all’aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni. Tale decreto è stato emanato in applicazione dei criteri dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519. Secondo tale normativa, il territorio del Comune di **Augusta** ricade in Zona sismica 1, con valori di accelerazione pari a 0.2671.

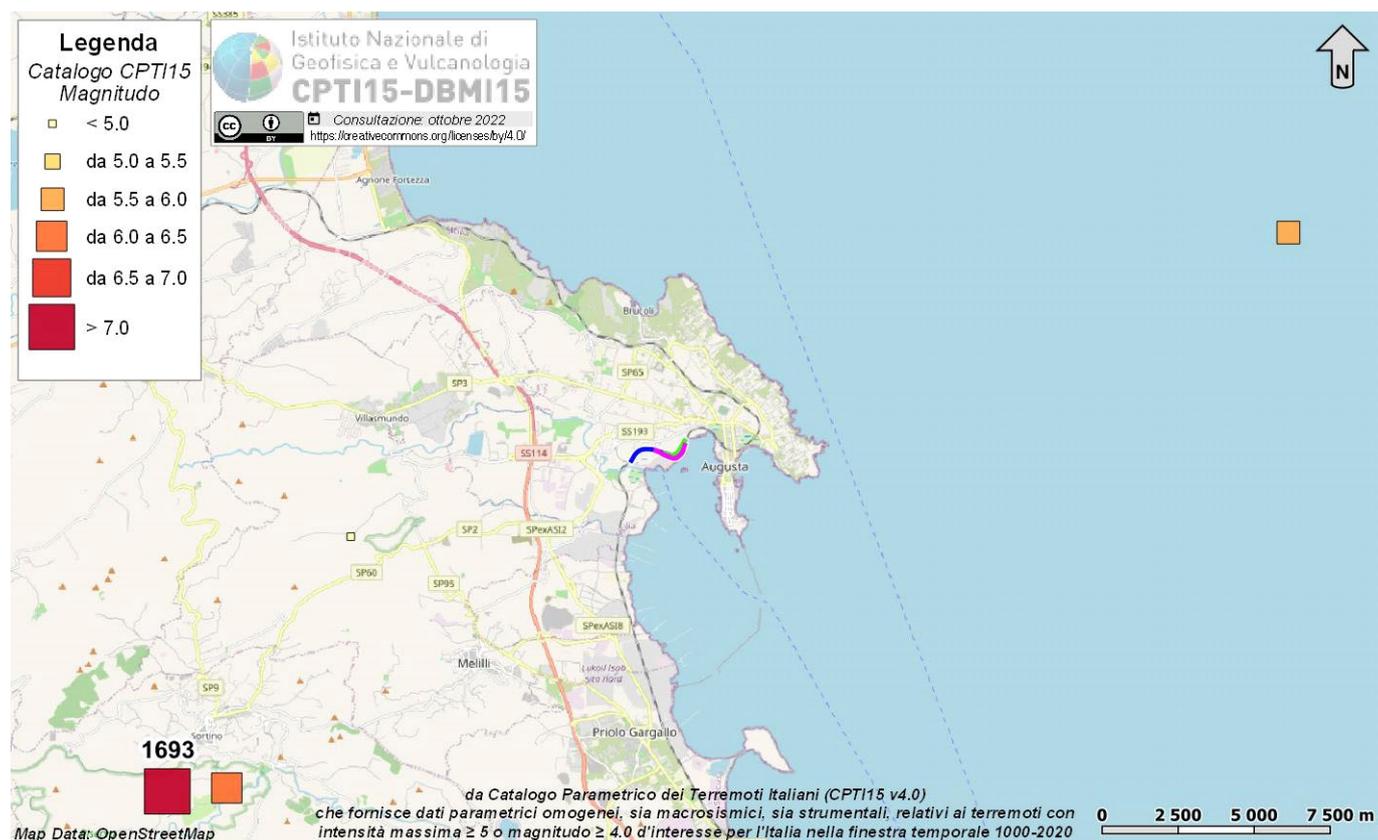
### 12.3 Sismicità storica

Situata nel centro del Mediterraneo, la Sicilia è stata sempre considerata in una posizione strategica per il controllo delle vie del commercio con l’Asia minore e, per tale motivo, fu teatro di numerose guerre che resero l’isola soggetta alle dominazioni bizantina, araba, normanna e spagnola. In un simile contesto, i documenti storici con riferimenti agli eventi sismici succedutisi nel tempo risultano scarsi e lacunosi, anche se non mancano alcuni manoscritti che permettono di datare i terremoti più violenti e di avere un quadro, almeno parziale, degli effetti indotti sui centri urbani e sull’ambiente (Figura 42).

Nell’area, i maggiori danni causati da terremoti sono stati attribuiti all’attività delle faglie regionali che si sviluppano lungo la costa ionica siciliana, mentre danni minori sono stati provocati dai terremoti dello Stretto di Messina e dell’area interna del *Plateau Ibleo*.

A causa del terremoto del 1542, Augusta fu molto danneggiata; fu, invece, completamente distrutta dalle due scosse verificatesi nel gennaio 1693; mentre il terremoto del 1818, nonostante fu avvertito fortemente, non provocò danni di rilievo. Nel 1848 la città fu parzialmente distrutta nuovamente e il terremoto del 1908 causò danni in molti edifici. Il terremoto del 1990, nonostante fosse di magnitudo moderata ( $M= 5.3$ ), ha causato gravi danni alla città.

Oltre gli effetti sismici, anche gli effetti sismoindotti, quali liquefazioni e tsunami, sono da tenere in considerazione vista la vicinanza alla costa.



**Figura 42 – Epicentri e magnitudo dei principali terremoti storici che hanno interessato la Sicilia Orientale, in scala 1:250000. In blu, verde e magenta è riportata l'ubicazione delle tratte in esame.**

Di seguito sono elencati gli eventi sismici riportati nel Database Macrosismico Italiano pubblicato dall'INGV (versione DBMI15 v4.0, Rovida et al. 2022) al fine di documentare la storia sismica del centro abitato di **Augusta** (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

### Storia sismica di Augusta

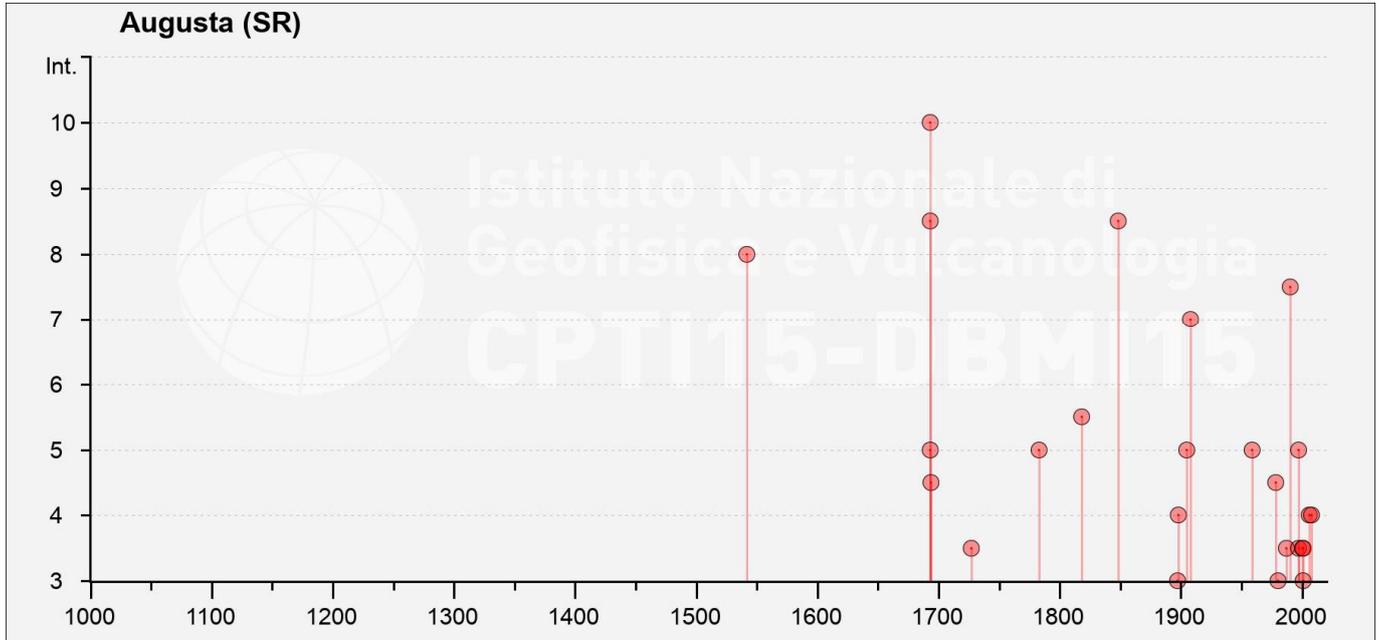
[37.231, 15.221]

Numero eventi: 31

Effetti	In occasione del terremoto del:												
	I	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	DepDef	IoDef	MwDef	ErMwDef
8	322	1542	12	10	15	15			Sicilia sud-orientale		10	6.68	0.24
8-9	549	1693	1	9	21				Sicilia sud-orientale		8-9	6.07	0.23
10	551	1693	1	11	13	30			Sicilia sud-orientale		11	7.32	0.1
5	560	1693	7	8	17	50			Sicilia sud-orientale		6	4.93	0.52
4-5	565	1694	5	16					Sicilia orientale		5-6	4.4	0.46

Effetti	In occasione del terremoto del:												
3-4	665	1727	1	7					Val di Noto	6-7	4.64	0.26	
5	892	1783	2	5	12				Calabria meridionale	11	7.1	0.1	
5-6	1040	1818	2	20	18	15			Catanese	9-10	6.28	0.1	
8-9	1193	1848	1	11	12				Golfo di Catania	7-8	5.51	0.26	
3	1703	1897	5	28	22	40	2		Ionio	6	5.46	0.11	
4	1732	1898	5	14	4	45			Etna - S. Maria Licodia	7-8	4.03	0.36	
NF	1734	1898	8	12					Sicilia nord-orientale	6-7	4.82	0.17	
NF	1831	1903	7	13	8	19			Calatino	5	4.14	0.34	
5	1883	1905	9	8	1	43			Calabria centrale	10-11	6.95	0.09	
7	1972	1908	12	28	4	20	27		Stretto di Messina	11	7.1	0.18	
NF	2070	1912	12	22	8	5			Stretto di Messina	5-6	4.68	0.24	
5	2805	1959	12	23	9	29			Piana di Catania	6-7	5.11	0.15	
4-5	3194	1978	4	15	23	33	48.15		Golfo di Patti	17.9	8	6.03	0.1
3	3226	1980	1	23	21				Monti Iblei	5-6	4.39	0.1	
3-4	3515	1987	2	2	16	8	44.2		Sicilia centro-orientale	13.5		4.44	0.14
7-8	3642	1990	12	13	0	24	25.68		Sicilia sud-orientale	10		5.61	0.1
5	3832	1997	3	25	0	46	17.22		Ionio meridionale	24.2	4-5	4.49	0.07
3-4	3842	1997	7	30	16	6	37.4		Monti Iblei	30.3	5	4.45	0.15
NF	3925	1998	1	10	8	45	18		Etna - Versante sud-occidentale	7.1	6-7	3.96	0.35
3-4	4054	2000	11	5	17	26	27.04		Etna - Versante meridionale	13.1	5-6	3.85	0.35
3-4	4060	2001	1	9	2	51	58.31		Etna - Zafferana Etnea	3.4	6	3.73	0.34
3	4072	2001	5	26	6	2	18.56		Ionio meridionale	21.7		4.46	0.07
NF	4284	2005	11	21	10	57	40.23		Sicilia centrale	63.2		4.56	0.07
4	4294	2006	4	23	14	42	38.19		Siracusano	23.9	4	4.05	0.13
4	4356	2008	12	16	2	30	14.17		Etna - Versante sud-occidentale	13	6	4	0.36
NF	4460	2011	10	9	8	28	26.65		Monti Iblei	9.8	4	3.47	0.16

**Tabella 21 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Augusta (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); N numero di registrazione del terremoto in ordine cronologico; EpicentralArea area epicentrale o area con i maggiori effetti macrosismici; DepDef profondità predefinita; Mw magnitudo momento; ErMw errore associato alla magnitudo momento.**



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

## 12.4 Sorgenti sismogenetiche

La consultazione del database DISS (vers. 3.3.0, 2021), relativo alle potenziali sorgenti sismogenetiche con magnitudo maggiore di 5.5, mostra che il settore di progetto è ubicato fuori da una fascia interessata direttamente dalla presenza di potenziali faglie sismogenetiche (Figura 44). Infatti, le tratte in esame ricadono a oltre 840 m a est-nord est della fascia di sorgenti composite ITCS036 Monte Lauro (profondità stimata 3.0-15.0 km, magnitudo massima 7.0, *Slip rate* 0.1-0.5 mm/anno), che include la sorgente individuale ITIS074 Monte Lauro (profondità stimata 4.0-12.4 km, magnitudo massima 6.6, ultimo evento 11 gennaio 1693) e ad oltre 20 km dalle fasce di sorgenti composite ITCS133 Alfeo, ITCS029 Gela-Catania, ITCS122 Ortigia, ITCS123 Dionisio, ITCS125 Aretusa, ITCS124 Artemide e ITCS035 Ragusa-Palagonia.

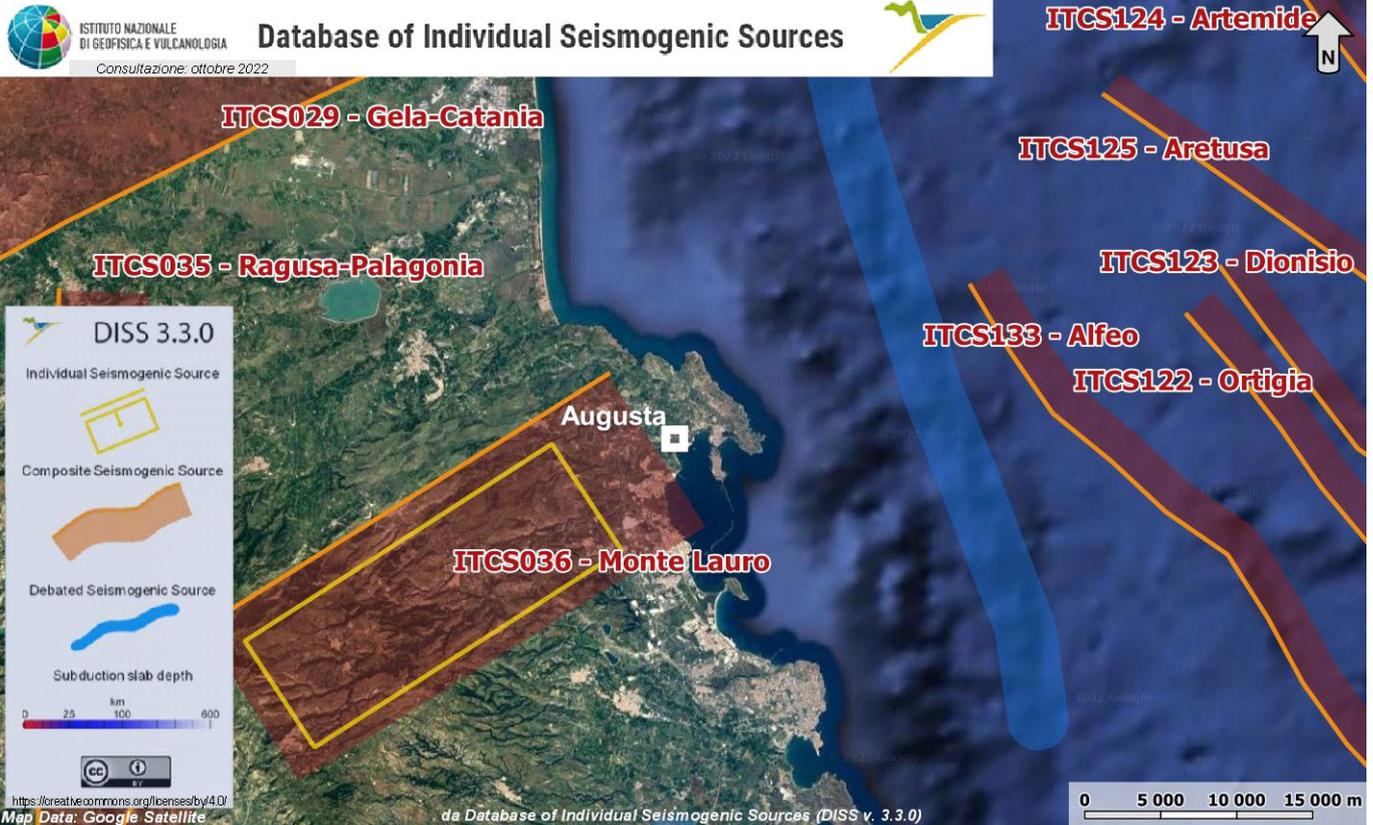


Figura 44 - Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti con  $M > 5.5$  nell'area di studio, in scala 1:500000, (da DISS Working group 2021, *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS), versione 3.3.0, <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>).

Parameter		Quality		Evidence
Min depth	km	3.0	OD	Based on regional tectonic considerations.
Max depth	km	10.0	OD	Based on regional tectonic considerations.
Strike min - max	deg	225 ÷ 260	OD	Based on regional geologic and tectonic data.
Dip min - max	deg	20 ÷ 40	OD	Based on regional geologic and tectonic data.
Rake min - max	deg	80 ÷ 90	EJ	Inferred from regional geologic and tectonic data.
Slip Rate min - max	mm/y	0.1 ÷ 0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude	$M_w$	7.1	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

Tabella 22 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS029 “Gela-Catania”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.

Parameter		Quality		Evidence
Min depth	km	3.0	OD	Based on regional tectonic considerations.
Max depth	km	15.0	OD	Based on regional tectonic considerations.
Strike min - max	deg	50 ÷ 70	OD	Based on regional geological data.

Parameter			Quality	Evidence
Dip min - max	<i>deg</i>	40 ÷ 50	OD	Based on regional geological data.
Rake min - max	<i>deg</i>	60 ÷ 90	EJ	Assumed from geodynamic considerations.
Slip Rate min - max	<i>mm/y</i>	0.1 ÷ 0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude	<i>M<sub>w</sub></i>	7.0	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

**Tabella 23 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS036 “Monte Lauro”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.**

Parameter			Quality	Evidence
Min depth	<i>km</i>	6.0	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Max depth	<i>km</i>	20.0	EJ	Inferred from regional geological and geophysical data.
Strike min - max	<i>deg</i>	290 ÷ 350	LD	Based on fault trace mapped by Maesano et al. (2020).
Dip min - max	<i>deg</i>	75 ÷ 85	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Rake min - max	<i>deg</i>	225 ÷ 270	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Slip Rate min - max	<i>mm/y</i>	1.00 ÷ 1.46	LD	Based on geological data by Maesano et al. (2020).
Max Magnitude	<i>M<sub>w</sub></i>	6.7	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

**Tabella 24 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS133 “Alfeo”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.**

Parameter			Quality	Evidence
Min depth	<i>km</i>	7.0	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Max depth	<i>km</i>	20.0	EJ	Inferred from general geological and geophysical considerations.
Strike min - max	<i>deg</i>	300 ÷ 340	LD	Based on fault trace mapped by Maesano et al. (2020).
Dip min - max	<i>deg</i>	75 ÷ 85	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Rake min - max	<i>deg</i>	225 ÷ 270	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Slip Rate min - max	<i>mm/y</i>	0.44 ÷ 0.64	LD	Based on geological data by Maesano et al. (2020).
Max Magnitude	<i>M<sub>w</sub></i>	6.6	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

**Tabella 25 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS122 “Ortigia”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.**

Parameter			Quality	Evidence
Min depth	<i>km</i>	9.0	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Max depth	<i>km</i>	20.0	EJ	Inferred from regional geological and geophysical data.
Strike min - max	<i>deg</i>	280 ÷ 340	LD	Based on fault trace mapped by Maesano et al. (2020).
Dip min - max	<i>deg</i>	75 ÷ 85	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Rake min - max	<i>deg</i>	225 ÷ 270	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Slip Rate min - max	<i>mm/y</i>	0.44 ÷ 0.64	LD	Based on geological data by Maesano et al. (2020).

Parameter			Quality	Evidence
Max Magnitude	<i>M<sub>w</sub></i>	6.4	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

**Tabella 26 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS123 “Dioniso”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.**

Parameter			Quality	Evidence
Min depth	<i>km</i>	10.0	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Max depth	<i>km</i>	20.0	EJ	Inferred from regional geological and geophysical data.
Strike min - max	<i>deg</i>	280 ÷ 330	LD	Based on fault trace mapped by Maesano et al. (2020).
Dip min - max	<i>deg</i>	75 ÷ 85	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Rake min - max	<i>deg</i>	225 ÷ 270	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Slip Rate min - max	<i>mm/y</i>	0.44 ÷ 0.64	LD	Based on geological data by Maesano et al. (2020).
Max Magnitude	<i>M<sub>w</sub></i>	6.3	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

**Tabella 27 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS125 “Aretusa”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.**

Parameter			Quality	Evidence
Min depth	<i>km</i>	11.0	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Max depth	<i>km</i>	20.0	EJ	Inferred from regional geological and geophysical data.
Strike min - max	<i>deg</i>	280 ÷ 340	LD	Based on fault trace mapped by Maesano et al. (2020).
Dip min - max	<i>deg</i>	75 ÷ 85	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Rake min - max	<i>deg</i>	225 ÷ 270	LD	Based on seismic data interpretation by Maesano et al. (2020).
Slip Rate min - max	<i>mm/y</i>	0.44 ÷ 0.64	LD	Based on geological data by Maesano et al. (2020).
Max Magnitude	<i>M<sub>w</sub></i>	6.2	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

**Tabella 28 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS124 “Artemide”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.**

Parameter			Quality	Evidence
Min depth	<i>km</i>	1.0	OD	Based on regional geological and seismological data.
Max depth	<i>km</i>	23.0	OD	Based on regional geological and seismological data.
Strike min - max	<i>deg</i>	355 ÷ 15	OD	Based on regional geological data.
Dip min - max	<i>deg</i>	60 ÷ 90	OD	Based on regional geological data.
Rake min - max	<i>deg</i>	350 ÷ 30	EJ	Assumed from geodynamic considerations.
Slip Rate min - max	<i>mm/y</i>	0.1 ÷ 0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude	<i>M<sub>w</sub></i>	6.9	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

**Tabella 29 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS035 “Ragusa-Palagonia”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.**

## 12.5 Magnitudo di riferimento

Relativamente alla vigente zonazione sismogenetica del territorio nazionale ZS9 (Meletti & Valensise 2004), l'opera in progetto ricade nella **Zona 935 "Iblei"** (Figura 45), all'interno della quale ricadono eventi di elevata magnitudo. Sulla base degli studi sismologici più aggiornati, in questa zona sono attesi terremoti piuttosto profondi ( $P = 12-20$  km) e di elevata magnitudo ( $M_{max} = 7.29$ ), riconducibili a meccanismi di fagliazione prevalentemente trascorrenti con una componente estensionale di entità variabile (Azzaro & Barbano 2000; Meletti & Valensise 2004; Carbone 2011).

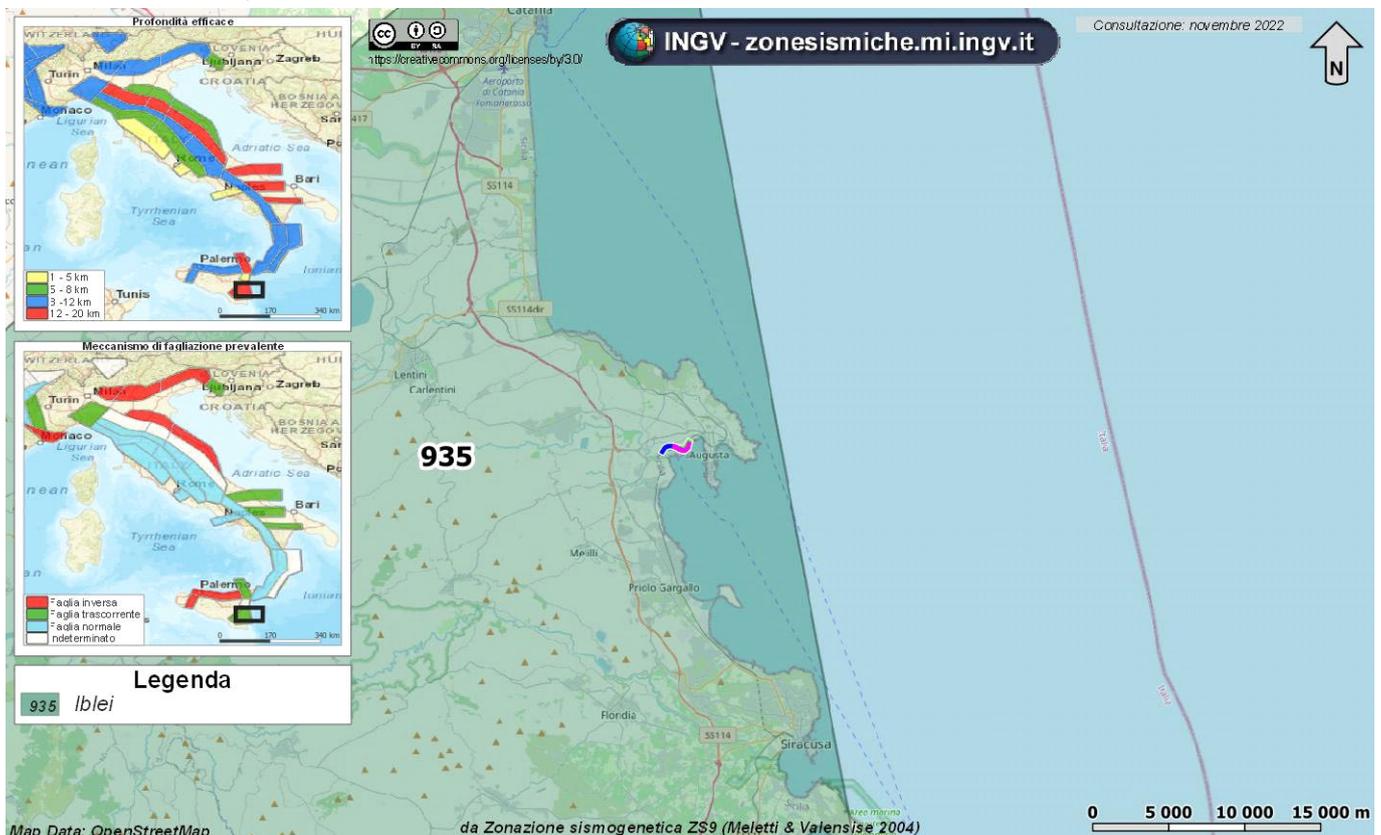


Figura 45 – Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 dell'area di studio, riprodotto in scala 1:500000 con individuazione delle opere in progetto (blu, verde e magenta).

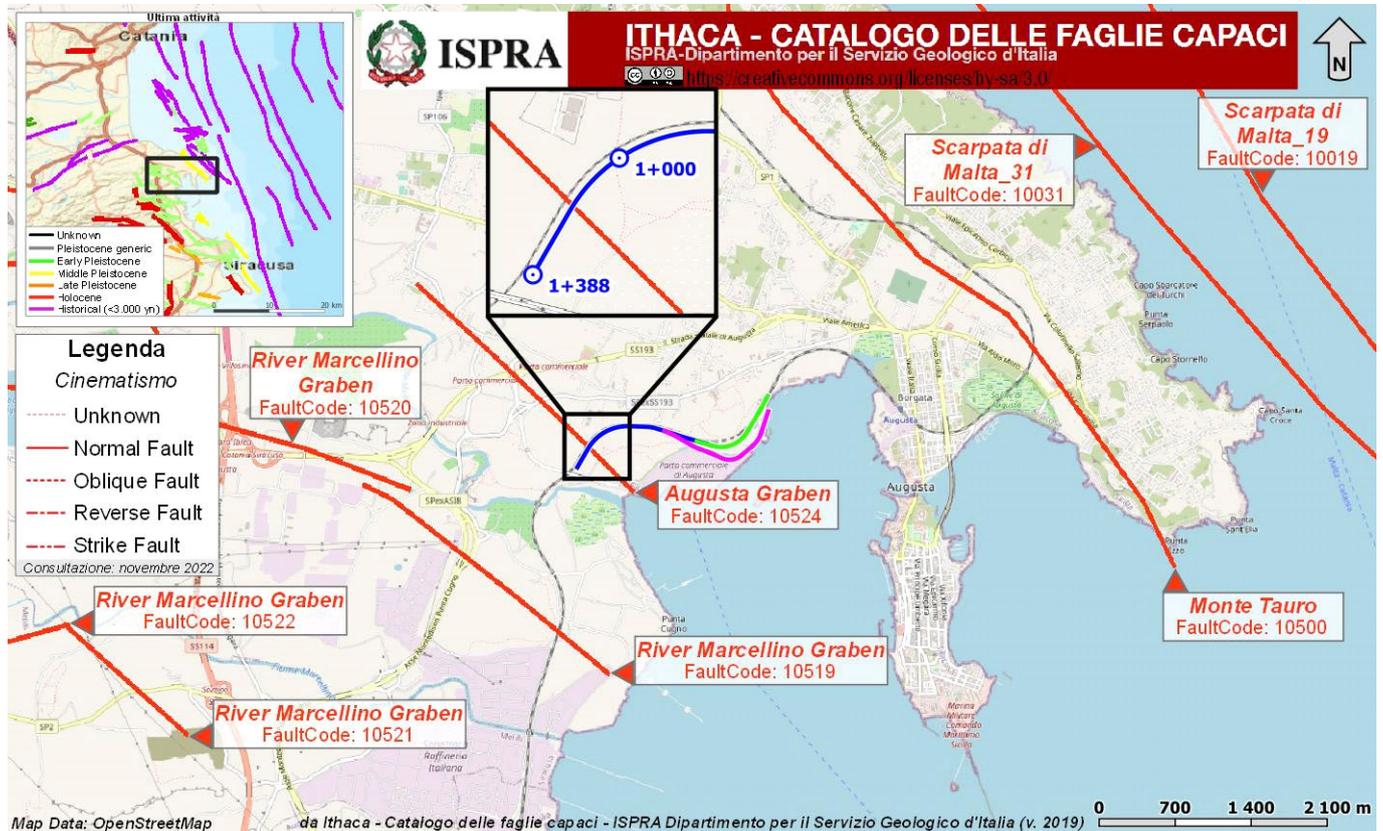
## 12.6 Faglie capaci

Il database del progetto ITHACA (*ITaly HAZard from Capable faults*) mostra, in prossimità nell'area progettuale, l'esistenza di faglie capaci, definite come lineamenti tettonici attivi che potenzialmente possono creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche (Figura 46). In particolare, la faglia capace Augusta Graben (*FaultCode: 10524*) intercetta la tratta "Binario I Porto" tra la pk 1+000 e la pk 1+388 del binario I porto.

Dagli studi geologici, geomorfologici e fotointerpretativi appositamente condotti non sono emerse evidenze dirette di questo elemento tettonico. Allo stato attuale, la linea storica e le altre strutture presenti nell'area non

sembrerebbero mostrare deformazioni connesse all'attività della faglia. Pertanto, tale elemento è stato riportato anche nelle cartografie geologiche in allegato alle presenti note basandosi unicamente sulle informazioni disponibili nel *database* del progetto ITHACA.

Inoltre, a circa 1.3 km a SW del tratto più sud-occidentale dell'opera è presente la faglia capace River Marcellino Graben (*FaultCode: 10519*) e a circa 1.9 km a NNE del tratto più nord-orientale dell'opera in progetto è presente una faglia capace riferibile al sistema "Augusta-Siracusa b", la faglia capace Monte Tauro (*FaultCode: 10500*). Infine, a circa 1.5 km a W del tratto più occidentale del tracciato di progetto è presente la faglia capace River Marcellino Graben (*FaultCode: 10520*).



**Figura 46 – Stralcio cartografico dell'area di interesse, riprodotto in scala 1:70000, con indicazione schematica dei tracciati in questione (in blu, verde e magenta), e delle faglie capaci (in rosso).**

Per completezza nelle tabelle seguenti si riportano le caratteristiche delle faglie citate. In particolare, nella Tabella 30 si riportano le caratteristiche della faglia Monte Tauro (*FaultCode: 10500*), nella Tabella 31 si riportano le caratteristiche della faglia River Marcellino Graben (*FaultCode: 10519*), nella Tabella 32 si riportano le caratteristiche della faglia River Marcellino Graben (*FaultCode: 10520*) e nella Tabella 33 si riportano le caratteristiche della faglia Augusta Graben (*FaultCode: 10524*).

<b>Faglia Monte Tauro</b>	
<b>GENERAL IDENTIFICATION</b>	
<b>FAULT CODE</b>	10500

<b>Faglia Monte Tauro</b>	
<b>FAULT NAME</b>	Monte Tauro
<b>REGION NAME</b>	Sicilia
<b>TECTONIC ENVIRONMENT</b>	ND
<b>SYSTEM NAME</b>	Augusta-Siracusa b
<b>SYNOPSIS</b>	-
<b>RANK</b>	Primary
<b>GEOMETRY AND KINEMATICS</b>	
<b>SEGMENTATION</b>	Single Segment
<b>AVERAGE STRIKE (°)</b>	135
<b>DIP (°)</b>	Undefined
<b>DIP DIRECTION</b>	SW
<b>FAULT LENGTH (km)</b>	6.3
<b>MAPPING SCALE</b>	1:0
<b>FAULT DEPTH (km)</b>	-
<b>KINEMATICS</b>	Normal
<b>ACTIVITY</b>	
<b>SURFACE EVIDENCE</b>	Well expressed
<b>LAST ACTIVITY</b>	Middle Pleistocene (125,000÷700,000)
<b>APPLIED TECHNIQUE</b>	Field studies
<b>EVIDENCE FOR CAPABILITY</b>	Displacement of Quaternary deposits and/or land forms
<b>SLIP PARAMETERS</b>	
<b>RECURRENCE INTERVAL (YR)</b>	-
<b>SLIP RATE (MM/YR)</b>	-
<b>MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH (KM)</b>	-
<b>MAX CREDIBLE SLIP (M)</b>	-
<b>TIME SINCE LAST EVENT (YR)</b>	-
<b>MAX KNOWN MAGNITUDE (MW)</b>	-
<b>MAX KNOWN INTENSITY (MCS)</b>	-
<b>KNOWN SEISMIC EVENTS</b>	-
<b>FINAL REMARKS</b>	
<b>CAPABILITY CONSENSUS</b>	Medium reliability
<b>STUDY QUALITY</b>	LOW
<b>NOTES</b>	-

Tabella 30 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=10500>.

<b>Faglia River Marcellino Graben</b>	
<b>GENERAL IDENTIFICATION</b>	
<b>FAULT CODE</b>	10519
<b>FAULT NAME</b>	River Marcellino Graben
<b>REGION NAME</b>	Sicilia
<b>TECTONIC ENVIRONMENT</b>	ND
<b>SYSTEM NAME</b>	-
<b>SYNOPSIS</b>	-
<b>RANK</b>	Primary
<b>GEOMETRY AND KINEMATICS</b>	
<b>SEGMENTATION</b>	Single Segment
<b>AVERAGE STRIKE (°)</b>	120
<b>DIP (°)</b>	Undefined
<b>DIP DIRECTION</b>	SW
<b>FAULT LENGTH (km)</b>	2.9
<b>MAPPING SCALE</b>	1:200000
<b>FAULT DEPTH (km)</b>	-
<b>KINEMATICS</b>	Normal
<b>ACTIVITY</b>	
<b>SURFACE EVIDENCE</b>	-
<b>LAST ACTIVITY</b>	Pleistocene generic
<b>EVIDENCE FOR CAPABILITY</b>	Displacement of Quaternary deposits and/or land forms
<b>SLIP PARAMETERS</b>	
<b>RECURRENCE INTERVAL (YR)</b>	-
<b>SLIP RATE (MM/YR)</b>	-
<b>MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH (KM)</b>	-
<b>MAX CREDIBLE SLIP (M)</b>	-
<b>TIME SINCE LAST EVENT (YR)</b>	-
<b>MAX KNOWN MAGNITUDE (MW)</b>	-
<b>MAX KNOWN INTENSITY (MCS)</b>	-
<b>KNOWN SEISMIC EVENTS</b>	-
<b>FINAL REMARKS</b>	
<b>CAPABILITY CONSENSUS</b>	-
<b>STUDY QUALITY</b>	ND
<b>NOTES</b>	-

Tabella 31 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da [sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=10519](http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=10519).

<b>Faglia River Marcellino Graben</b>	
<b>GENERAL IDENTIFICATION</b>	
<b>FAULT CODE</b>	10520
<b>FAULT NAME</b>	River Marcellino Graben
<b>REGION NAME</b>	Sicilia
<b>TECTONIC ENVIRONMENT</b>	ND
<b>SYSTEM NAME</b>	-
<b>SYNOPSIS</b>	-
<b>RANK</b>	Primary
<b>GEOMETRY AND KINEMATICS</b>	
<b>SEGMENTATION</b>	Single Segment
<b>AVERAGE STRIKE (°)</b>	110
<b>DIP (°)</b>	Undefined
<b>DIP DIRECTION</b>	SSW
<b>FAULT LENGTH (km)</b>	4.0
<b>MAPPING SCALE</b>	1:200000
<b>FAULT DEPTH (km)</b>	-
<b>KINEMATICS</b>	Normal
<b>ACTIVITY</b>	
<b>SURFACE EVIDENCE</b>	ND
<b>LAST ACTIVITY</b>	Pleistocene generic
<b>EVIDENCE FOR CAPABILITY</b>	Displacement of Quaternary deposits and/or land forms
<b>SLIP PARAMETERS</b>	
<b>RECURRENCE INTERVAL (YR)</b>	-
<b>SLIP RATE (MM/YR)</b>	-
<b>MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH (KM)</b>	-
<b>MAX CREDIBLE SLIP (M)</b>	-
<b>TIME SINCE LAST EVENT (YR)</b>	-
<b>MAX KNOWN MAGNITUDE (MW)</b>	-
<b>MAX KNOWN INTENSITY (MCS)</b>	-
<b>KNOWN SEISMIC EVENTS</b>	-
<b>FINAL REMARKS</b>	
<b>CAPABILITY CONSENSUS</b>	-
<b>STUDY QUALITY</b>	ND

**Faglia River Marcellino Graben**
**NOTES**

-

Tabella 32 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da [sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=10520](http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=10520).

**Faglia Augusta Graben**
**GENERAL IDENTIFICATION**

<b>FAULT CODE</b>	10524
<b>FAULT NAME</b>	Augusta Graben
<b>REGION NAME</b>	Sicilia
<b>TECTONIC ENVIRONMENT</b>	ND
<b>SYSTEM NAME</b>	-
<b>SYNOPSIS</b>	-
<b>RANK</b>	Primary

**GEOMETRY AND KINEMATICS**

<b>SEGMENTATION</b>	Single Segment
<b>AVERAGE STRIKE (°)</b>	310
<b>DIP (°)</b>	Undefined
<b>DIP DIRECTION</b>	NE
<b>FAULT LENGTH (km)</b>	2.8
<b>MAPPING SCALE</b>	1:200000
<b>FAULT DEPTH (km)</b>	-
<b>KINEMATICS</b>	Normal

**ACTIVITY**

<b>SURFACE EVIDENCE</b>	ND
<b>LAST ACTIVITY</b>	Pleistocene generic
<b>EVIDENCE FOR CAPABILITY</b>	Displacement of Quaternary deposits and/or land forms

**SLIP PARAMETERS**

<b>RECURRENCE INTERVAL (YR)</b>	-
<b>SLIP RATE (MM/YR)</b>	-
<b>MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH (KM)</b>	-
<b>MAX CREDIBLE SLIP (M)</b>	-
<b>TIME SINCE LAST EVENT (YR)</b>	-
<b>MAX KNOWN MAGNITUDE (MW)</b>	-
<b>MAX KNOWN INTENSITY (MCS)</b>	-
<b>KNOWN SEISMIC EVENTS</b>	-

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

Faglia Augusta Graben	
FINAL REMARKS	
CAPABILITY CONSENSUS	-
STUDY QUALITY	ND
NOTES	-

**Tabella 33 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=10524>.**

## 12.7 Parametri per la determinazione dell'azione sismica di riferimento

Di seguito si riportano le categorie di sottosuolo individuate dalle prove Down-Hole e dalle MASW e la categoria topografia.

### 12.7.1 Categoria di sottosuolo

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

I valori di  $V_S$  possono essere ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, possono essere valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. Si riportano nel seguito le categorie di sottosuolo previste dalla normativa vigente:

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

Nell'ambito del presente studio, tale determinazione è stata effettuata attraverso indagini di tipo geofisico, quali prove *down-hole* e prospezioni sismiche MASW, che forniscono indicazioni dirette relativamente al valore di  $V_{s,eq}$ . In particolare, le categorie di sottosuolo per l'area di intervento sono state definite in funzione delle n. 2 prove MASW e n. 2 prove Down-Hole appositamente realizzate. In Tabella 34 si riporta una sintesi delle prove effettuate, contenente i valori di  $V_{s,eq}$  determinati, la categoria di sottosuolo corrispondente e una sintesi dell'assetto litostratigrafico in corrispondenza della prova.

sigla	tipologia	prof./lunghezza m	$V_{s,eq}$ m/s	h m	categoria di sottosuolo	unità geologiche
BH13_DH	Down-Hole	40.0	178	30	D	h, g2, LEI2
BH14_DH	Down-Hole	40.0	229	30	C	h, g2, LEI2
MASW01	MASW	57.5	196	30	C	b2, LEI2
MASW02	MASW	57.5	193	30	C	b2, gn3, LEI2
MASW03	MASW	57.5	219	30	C	b2, ba1, bb2, gn2, gn3, LEI2
MASW04	MASW	57.5	225	30	C	b2, LEI2

**Tabella 34 - Sintesi dei risultati delle prove sismiche realizzate nell'ambito della campagna indagini CI2022.**

La maggior parte delle prove restituiscono una **Categoria di sottosuolo C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*). Soltanto la prova Down-Hole realizzata nel foro di sondaggio BH13\_DH restituisce una **Categoria di sottosuolo D** (*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*).

### 12.7.2 Condizioni topografiche

Come previsto dalla normativa per configurazioni superficiali semplici non è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, ma è possibile utilizzare la classificazione riportata nella Tab. 3.2.III delle NTC 2018. Per il sito in esame si suggerisce una categoria T1 (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ).

## 12.8 Considerazioni preliminari del rischio di liquefazione

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

Al fine di verificare la possibile suscettività a liquefazione dei terreni interessati dalle opere in progetto sono state condotte una serie di analisi basate sia sugli studi bibliografici di maggior rilievo a livello internazionale, che sulle procedure di analisi dettate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018.

### 12.8.1 Analisi qualitative

I metodi qualitativi si basano sulla conoscenza di parametri di studio come il contesto geologico-stratigrafico-geomorfologico, topografia dell'area e livello di falda. Esistono diversi criteri di classificazione in termini qualitativi, di seguito si riportano quelli più diffusi.

Classe	Unità geomorfologica	Potenziale di liquefazione
A	Letti di fiumi recenti, paleoalvei, paludi, zone bonificate, zone interdunari.	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune di sabbia, pianure di esondazione, spiagge, altre pianure.	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne.	Non probabile

Figura 47 - Unità geomorfologiche e suscettività alla liquefazione (Iwasaki et al. 1982), tratta da “La liquefazione dei terreni” Giulio Riga, 2007 – Dario Flaccovio Editore.

Fattore	Peso	Suscettibilità alla liquefazione				
		Molto alta	Alta	Media	Bassa	Molto bassa
Profondità del livello della falda	Molto importante	< 1,5 m	< 1,5 - 3 m	3 - 6 m	6 - 10 m	> 10,0
Dimensione dei grani	Molto importante	0,075 - 1 mm	1 - 3 mm	> 3 mm	< 0,075 mm	-
Profondità del deposito	Molto importante	1,5 - 3 m	3 - 6 m	6 - 10 m	< 1,5 m	> 10 m
Strato ricoprente	Molto importante	-	-	Ricoprimento buono	Ricoprimento discreto	Ricoprimento assente
Età del deposito	Importante	< 500 anni	Tardo Olocene <sup>(1)</sup>	Olocene	Pleistocene <sup>(2)</sup>	Pre-Pleistocene
Spessore dello strato liquefacibile	Importante	> 2 m	1,2 - 2,5 m	0,6 - 1,2 m	< 0,6 m	-

Note: <sup>(1)</sup> ≤ 10.000 anni; <sup>(2)</sup> 10.000 - 1,6 milioni di anni

Figura 48 - Fattori, pesi e criterio per valutare la suscettività alla liquefazione di un sito (Juang & Elton 1991), tratta da “La liquefazione dei terreni” Giulio Riga, 2007 – Dario Flaccovio Editore.

Età	Pre-Pleistocene	Profondità della falda dal p.c. (m)					Rischio di liquefazione
		3	6	10	15	20	
	Pre-Pleistocene						Nulla
	Pleistocene						Basso
	Olocene						Moderato
	Tardo Olocene						Alto
	<500 a						Molto alto
		3	6	10	15	20	

Tabella 35 - Rischio liquefazione in funzione dell'età del deposito e della profondità della falda, tratta da "La liquefazione dei terreni" Riga 2007, ridisegnata.

Età del deposito	Profondità della falda m dal p.c.		
	0-3	3-10	> 10
Tardo Olocene	Alta	Bassa	Nulla
Primo Olocene	Moderata	Bassa	Nulla
Tardo Pleistocene	Bassa	Nulla	Nulla

Tabella 36 - Suscettività alla liquefazione (Obermeier 1996), tratta da "La liquefazione dei terreni" Riga 2007.

Il primo step delle analisi è stato condotto in riferimento alle caratteristiche geologiche e stratigrafiche dell'area di intervento, attraverso valutazioni speditive e di carattere puramente qualitativo circa la possibilità di liquefazione dei terreni interessati dalle opere in progetto.

Sulla base dei criteri riportati, che considerano la genesi, la natura e l'età assoluta dei depositi, risulta che i terreni presenti nell'area di intervento si presentano da poco a molto suscettibili di liquefazione. Tale considerazione deriva, in particolare, dalle condizioni geologiche e stratigrafiche dell'area in esame.

Localmente sono presenti depositi di genesi alluvionale caratterizzati da granulometria sabbiosa e sabbioso-limosa olocenici (unità geologica **bb2**), depositi sabbiosi di spiaggia attuali (unità geologica **g2**) e depositi marini terrazzati (unità geologica **gn2**) di età compresa tra Pleistocene superiore e Attuale. Inoltre, sono presenti locali depositi marini terrazzati caratterizzati da granulometria prevalentemente argilloso-limosa (unità geologica **gn3**) di età compresa tra Pleistocene superiore e Olocene.

La presenza di tali unità consente di poter considerare potenzialmente liquefacibili alcuni settori specifici dell'area d'intervento. In particolare, in corrispondenza dei piccoli corsi d'acqua nel settore nord-orientale e nel settore sud-occidentale, o a nord delle saline nei pressi del porto commerciale o in lembi di limitata estensione lungo la costa nel settore nord-orientale e centrale della zona di studio. Per l'unità **bb2** non sono disponibili dati diretti (Nspt, prove di laboratorio o prove penetrometriche in situ) e, pertanto, non è stato possibile procedere ad una analisi semi-quantitativa come previsto dalla normativa vigente. Mentre, per le unità **g2**, **gn2** e **gn3** è stata svolta un'analisi semi-quantitativa come previsto da normativa (12.8.2 - Analisi semi-quantitative).

Le unità geologiche più antiche, come il Sintema Lentini (**LEI2**) e il Sintema di Augusta (**AUG**), presentano caratteristiche litologiche ed età molto differenti dai depositi di copertura e, pertanto, non risultano potenzialmente suscettibili di liquefazione. Tali unità, infatti, sono prevalentemente riconducibili al Pleistocene e sono

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b></p> <p><b>BYPASS DI AUGUSTA</b></p> <p><b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b></p>					
	<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA</p>	<p>COMMESSA RS60</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA R69RG</p>	<p>DOCUMENTO GE 00 01 001</p>	<p>REV. A</p>

caratterizzati da terreni pelitici (nel caso di **LEI2**) o da depositi da parzialmente cementati e con frequenti intercalazioni lapidee (nel caso di **AUG**).

### 12.8.2 Analisi semi-quantitative

L'attuale normativa vigente in materia di costruzioni edilizie (NTC2018 - par. 7.11.3.4.2) prevede che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

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

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

Per quanto detto in precedenza, le verifiche sono state condotte unicamente per i terreni alluvionali posti a profondità inferiori ai 15-20 m dal p.c., in quanto al di sotto non è possibile che si verifichino tali fenomeni. Ovviamente le suddette analisi hanno un carattere generale e, pertanto, andranno puntualmente dettagliate attraverso verifiche geotecniche basate sulla resistenza dinamica e sull'effettivo stato di addensamento dei terreni investigati.

Le fonti bibliografiche a disposizione e lo studio relativo alla sismicità storica e alla pericolosità sismica condotto hanno evidenziato che, nell'area di intervento, si sono verificati diversi terremoti con magnitudo  $M$  superiore a 5. In particolare, il massimo terremoto atteso nell'area presenta una  $M$  pari a 7.29, in quanto riferibili alla **Zona 935 "Iblei"** (Figura 45).

Le accelerazioni massime attese al piano campagna, in condizioni di campo libero, sono risultate essere generalmente superiori al limite definito da normativa, in quanto variabili tra 0.200-0.250  $a_g$  (Figura 40). In relazione a quanto detto e considerata la presenza delle condizioni predisponenti esposte nel punto 1 dell'NTC 2018, si è quindi proceduto alla verifica dei punti 2, 3 e 4 del paragrafo "7.11.3.4.2 – Esclusione della verifica a liquefazione", in modo da rispondere puntualmente a tutti i quesiti posti da norma.

Per quanto concerne la falda, viste le condizioni geomorfologiche e la presenza di scarse misure di monitoraggio (cfr. 10.112.1 - Monitoraggio piezometrico) è possibile evidenziare la presenza di una falda freatica a quote prossime al piano campagna. Tale falda risulta quindi al di sopra del limite di 15 m dal p.c. previsto da normativa per tutti i sondaggi presenti.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

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

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

dove  $N_{SPT}$  è la misura della resistenza penetrometrica in sito,  $C_N$  il fattore per la normalizzazione alla pressione effettiva di 1 atmosfera, e  $C_E$ ,  $C_B$ ,  $C_R$  e  $C_S$  i fattori di correzione rispettivamente per il rapporto di energia, il diametro del foro, la lunghezza delle aste e i campioni. Nella Tabella 37 vengono riportati i valori di  $(N_1)_{60}$  calcolati per le prove eseguite a profondità inferiore ai 15 m dal p.c. lungo la tratta in esame.

identificativo CI	sondaggio	unità	profondità prova m	$N_{SPT}$	$(N_1)_{60}$
CI2022	BH11_IN	gn3	2.7	8	7*
CI2022	BH11_IN	gn3	5.2	10	8
CI2022	BH12_PZ	gn3	2.7	20	16*
CI2022	BH12_PZ	gn2	5.2	52	41
CI2022	BH13_DH	g2	3.2	45	38
CI2022	BH14_DH	g2	3.2	3	3

**Tabella 37 - Parametri di sintesi dei valori di NSPT registrati nei fori di sondaggio della tratta in esame e valori di resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60}$  relativi ai terreni interessati dalle analisi di suscettività a liquefazione, sono segnalati gli orizzonti con  $(N_1)_{60} < 30$ . \*Prova realizzata sopra falda. Per l'identificativo CI cfr. 4.1 - Allegati.**

Tali prove hanno evidenziato, in particolare, la presenza di terreni caratterizzati da valori di resistenza penetrometrica generalmente al di sotto del limite di  $(N_1)_{60}$  definito da normativa (Tabella 37). Tali terreni possono ritenersi suscettibili di possibili fenomeni di liquefazione. Si sottolinea che le prove eseguite nel sondaggio BH11 a 2.7 e nel sondaggio BH12 a 16 m dal p.c. ricadono sopra il livello di falda misurato.

Di seguito si riportano le curve granulometriche dei campioni di terreno disponibili ed analizzati, ricadenti negli orizzonti più superficiali dei depositi di copertura ascrivibili all'intervallo Pleistocene-Attuale. Le curve granulometriche dei campioni di terreno disponibili ed analizzati, nonché la rappresentazione schematica dei fusi critici indicati da normativa sono riportate nelle Figura 49 e Figura 50. A tal riguardo, si sottolinea che i limiti dimensionali delle varie classi granulometriche, riportati nella parte alta di ogni grafico, sono indicati seguendo gli *standard* metodologici proposti dall'Associazione Geotecnica Italiana (AGI).

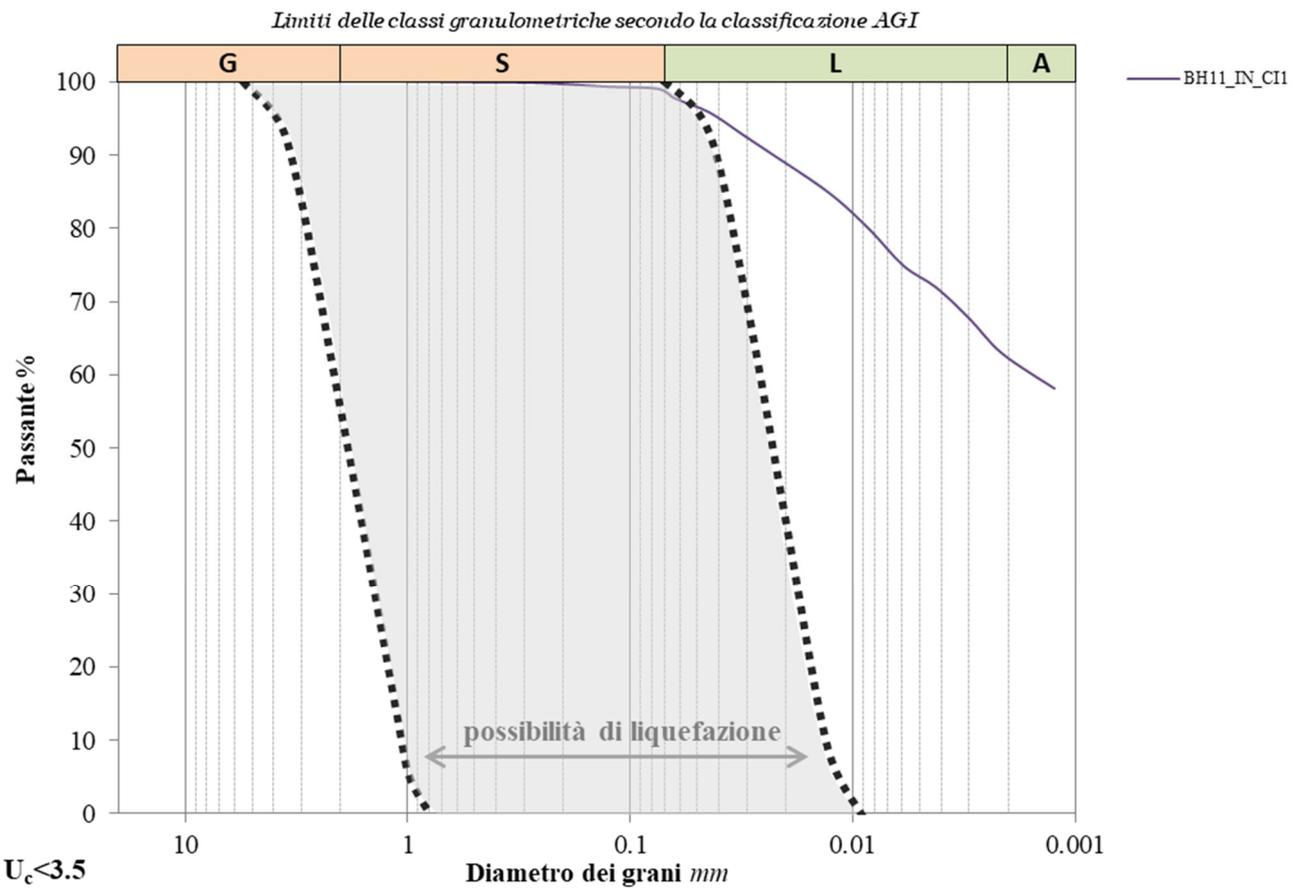
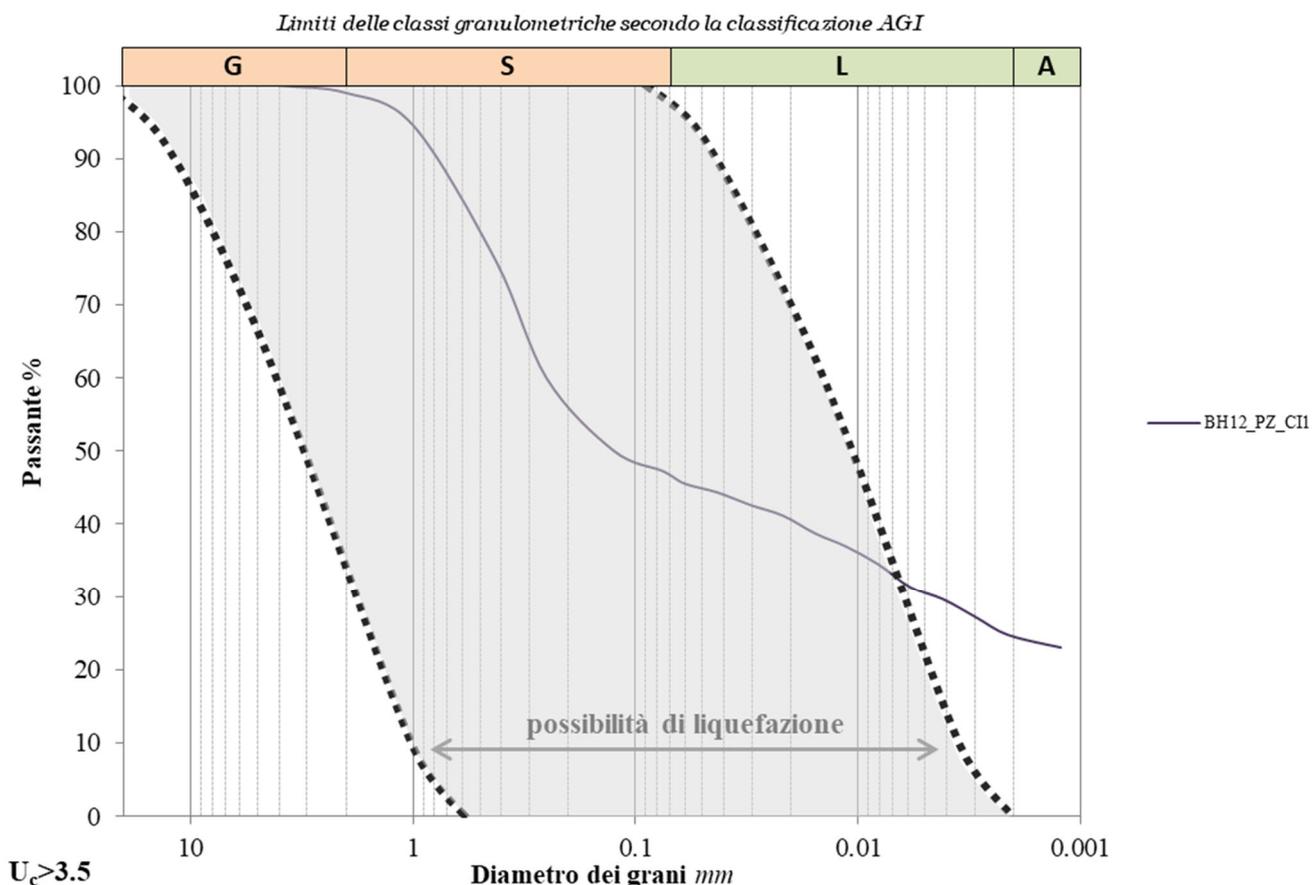


Figura 49 - Curve granulometriche dei campioni disponibili. In nero, a tratteggio, è riportato il fuso granulometrico critico per suoli -  $U_c > 3.5$  (NTC 2018).



**Figura 50 - Curve granulometriche dei campioni disponibili. In nero, a tratteggio, è riportato il fuso granulometrico critico per suoli -  $U_c < 3.5$  (NTC 2018).**

In generale, le verifiche condotte hanno evidenziato che i campioni di terreno analizzato non ricadono dentro al fuso granulometrico critico indicato da normativa e quindi non risultano potenzialmente suscettibili di liquefazione.

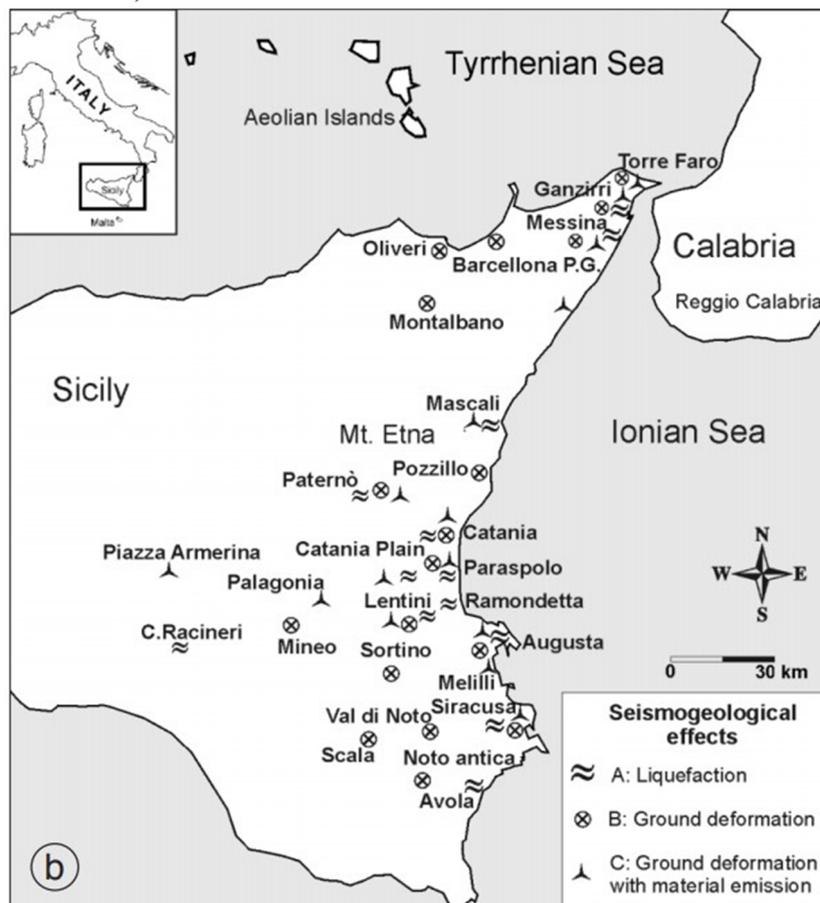
Ad ogni modo, in relazione alla scarsità di dati geognostici e granulometrici a disposizione, si sottolinea la necessità di condurre, nelle successive fasi di approfondimento progettuale, apposite indagini di sito e di laboratorio per una più accurata caratterizzazione dei terreni in esame, in modo da contestualizzare e dettagliare le analisi di liquefazione dinamica condotte in via preliminare nell'ambito del presente studio, inoltre a tal fine dovrà essere svolto un apposito monitoraggio piezometrico. Infine, dovranno essere condotte specifiche analisi geotecniche al fine di definire in maniera quantitativa i possibili effetti di eventuali fenomeni di liquefazione sulle opere in progetto.

## 12.9 Fenomeni conseguenti a sismi di intensità rilevante

Il settore dei Monti Iblei rappresenta una delle zone con la più alta pericolosità sismica d'Italia (Carbone 2011), come dimostrato dai numerosi terremoti distruttivi che l'hanno interessata in epoca storica (Azzaro et al. 2000; Barbano et al. 2001; Boschi & Guidoboni 2001). Numerosi sono pertanto gli effetti di superficie registrati a seguito

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

di tali eventi, deducibili dalle numerose fonti storiche a disposizione per questo settore di territorio (Baratta 1910; Pirrotta et al. 2007; Carbone 2011).



**Figura 51 – Mappa di distribuzione degli effetti di superficie connessi a terremoti e deducibili da fonti storiche (da Pirrotta et al. 2007).**

Fenomeni di liquefazione dinamica, deformazione del suolo ed emissione di materiale fluidificato sono stati registrati in tutto il settore orientale della Sicilia (Figura 51), ma risultano particolarmente frequenti nella zona dei Monti Iblei e della Piana di Catania (Azzaro 1999; Pirrotta et al. 2007; Carbone 2011). In un tale contesto geologico, la zona di Augusta non fa eccezione, essendo stata interessata da diversi fenomeni di liquefazione dinamica e deformazione del suolo (Pirrotta et al. 2007), come ad esempio in concomitanza con i terremoti del 1542 e del 1693 (Carbone 2011). Il più recente fenomeno sismoindotto è stato registrato a seguito del terremoto del 1990, con la risalita di fluidi dovuti a processi di liquefazione dei materiali utilizzati per la bonifica delle saline (Carbone 2011).

In epoca storica, l'area di Augusta è stata interessata anche da diversi tsunami, come ad esempio quelli del 1169, 1542, 1693 e del 1908 (Carbone 2011; Smedile et al. 2020). I depositi di questi eventi sono stati identificati e caratterizzati sia a terra (Scicchitano et al. 2007, 2010; Barbano et al. 2010; De Martini et al. 2010) che in mare (Smedile et al. 2011, 2020). In particolare, lo tsunami del 1908 si verificò in seguito al noto terremoto di Messina



**LINEA CATANIA-SIRACUSA**  
**BYPASS DI AUGUSTA**  
**ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO**

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED  
IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R69RG	GE 00 01 001	A	106 di 132

del 28 dicembre (Baratta 1910) e produsse onde alte oltre 2 m, che si propagarono nell'entroterra di Augusta per circa 15-20 m.



LINEA CATANIA-SIRACUSA

BYPASS DI AUGUSTA

ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R69RG	GE 00 01 001	A	107 di 132

### 13 BIBLIOGRAFIA

Accordi B., 1963. Rapporti fra il "Milazziano" della costa iblea (Sicilia sud-orientale) e la comparsa di *Elephas mnaidriensis*. *Geologica Romana* 2: 295-304.

Ambrosetti P., Bosi C., Carraro F., Ciaranfi N., Panizza M., Papani G., Vezzani L., Zanferrari A., 1987. Neotectonic Map of Italy, scale 1:500000. C.N.R.-P.F.G., Sottoprogetto Neotettonica: Fogli 1-6.

Amodio-Morelli L., Bonari G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippoliti F., Liguori V., Lorenzini S., Paglionico A., Perrone V., Piccarreta G., Russo M., Scandone P., Zanettin Lorenzini E., Zuppata A., 1976. L'arco Calabro-Peloritano nell'orogene Appenninico-Maghrebide. *Memorie della Società Geologica Italiana* 17: 1-60.

Anzidei M., Scicchitano G., Scardino G., Bignami C., Tolomei C., Vecchio A., Serpelloni E., De Santis V., Monaco C., Milella M., Piscitelli A., Mastronuzzi G., 2021. Relative Sea-Level Rise Scenario for 2100 along the Coast of South Eastern Sicily (Italy) by InSAR Data, Satellite Images and High-Resolution Topography. *Remote Sensing* 13: 1108.

APAT, 2007. Rapporto sulle frane in Italia: il Progetto IFFI. Metodologia, risultati e rapporti regionali. Rapporti Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici 78: 681.

Autorità di bacino distrettuale della Regione Sicilia, 2005. Piano stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico UoM Regione Siciliana (ITR191). Aggiornamento 2017. Assessorato Territorio e Ambiente, Dipartimento Territorio e Ambiente.

Azzaro R., 1999. Liquefaction induced features for the scenario earthquake in the Catania area. In: Faccioli E., Pessina V. (Eds), *The Catania Project: Earthquake Damage Scenarios for High Risk Area in the Mediterranean*, CNR – Gruppo Nazionale per la Difesa Terremoti, Roma: 42-45.

Azzaro R., Barbano M.S., 2000. Analysis of seismicity of Southeastern Sicily: proposal of a tectonic interpretation. *Annali di Geofisica* 43: 1-18.

Azzaro R., Barbano M.S., Moroni A., Mucciarelli M., Stucchi M., 2000. The seismic history of Catania. *Annals of Seismology* 3: 235-252.

Baratta M., 1901. *I terremoti d'Italia*. Arnaldo Forni, Bologna.

Baratta M., 1910. La catastrofe sismica calabro-messinese (28 Dicembre 1908). *Relazione alla Società Geografica Italiana*, Roma.

Barbano M.S., Bottari A., Carveni P., Cosentino M., Federico B., Fonte G., Lo Giudice E., Lombardo G., Patanè G., 1979. Macroseismic study of the Gulf of Patti earthquake in the geostructural frame of NE Sicily. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 98: 155-174.

Barbano M.S., Pirrotta C., Gerardi F., 2010. Large boulders along the south-eastern Ionian coast of Sicily: storm or tsunamis deposits?. *Marine Geology* 275: 140-154.

Barbano M.S., Rigano R., Cosentino M., Lombardo G., 2001. Seismic history and hazard in some localities of south-eastern Sicily. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 42: 107-120.

Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E., 2008. he Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. *Tectonophysics*.

Basilone L., 2012. Litostratigrafia della Sicilia. Arti Grafiche Palermitane s.r.l.

Bello M., Franchino A., Merlini S., 2000. Structural model of Eastern Sicily. *Memorie della Società Geologica Italiana* 55: 61-70.

Beneo F., 1958. Sull'olistostroma quaternario di Gela (Sicilia meridionale). *Bollettino del Servizio Geologico d'Italia* 79: 5-15.

Bianca M., Monaco C., Tortorici L., Cernobori L., 1999. Quaternary normal faulting in southeastern Sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake. *Geophysical Journal International* 13: 370-394.

Bianchi F., Carbone S., Grasso M., Invernizzi G., Lentini F., Longaretti G., Merlini S., Monstardini F., 1987. Sicilia orientale: profilo geologico Nebrodi-Iblei. *Memorie della Società Geologica Italiana* 38: 429-458.

Bigi S., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P., 1992. Structural model of Italy. Scale 1:500000 (fogli 1-6). CNR - Progetto Finalizzato Geodinamica 114.

Boccaletti M., Cello G., Lentini F., Nicolich R., Tortorici L., 1987. Structural evolution of the Pelagian Block and in eastern Tunisia. In: Boriani A., Bonafede M., Piccardo G.B., Vai G.B. (eds): *The lithosphere in Italy*. Accademia Nazionale dei Lincei: 12-138.

Boenzi F., De Marco A., Loiacono F., Balenzano F., 1986. Osservazioni sugli ambienti fluviali Olocenici della media e bassa valle di alcuni fiumi Lucani. *Memorie della Società Geologica Italiana* 42: 191-196.

Bonardi G., Cello G., Perrone V., Tortorici L., Turco E., Zupetta A., 1982. The evolution of the northern sector of the Calabria-Peloritani arc in a semiquantitative palynospastic restoration. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 101: 259-284.

Bonforte A., Catalano S., Maniscalco R., Pavano F., Romagnoli G., Sturiale G., Tortorici G., 2015. Geological and geodetic constraints on the active deformation along the northern margin of the Hyblean Plateau (SE Sicily). *Tectonophysics* 640-641: 80-89.

Boschi E., Guidoboni E., 2001. Catania: Terremoti e Lave dal mondo antico alla fine del Novecento. INGV-SGA, Editrice Compositori, Bologna: 207-216.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise L., Gasperini P., 2000. Catalogue of strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997. *Annali di Geofisica* 43: 609-868.

Bosellini A., Mutti E., Ricci Lucchi F., 1989. Rocce e successioni sedimentarie. Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino.

Burollet P.F., Mugniot G.M., Sweeney P., 1978. The geology of the Pelagian Block: the margins and basins of southern Tunisia and Tripolitania. In: Narin A., Kanesh W., Stelhi F.G. (eds): *The ocean basins and margins*. Plenum Press, New York: 331-339.

Butler B.C.M., Bell J.D., 1996. Lettura e interpretazione delle carte geologiche. Zanichelli Editore, Bologna.

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. A

Butler R.W.H., Grasso M., Gardiner W., Sedgeley D., 1997. Depositional patterns and their tectonic controls within the Plio-Quaternary carbonate sands and muds of onshore and offshore SE Sicily (Italy). *Marine and Petroleum Geology* 14: 879-892.

Canova F., Tolomei C., Salvi S., Toscani G., Seno S., 2012. Land Subsidence along the Ionian Coast of SE Sicily (Italy), detection and analysis via Small Baseline Subset (SBAS) multitemporal differential SAR interferometry. *Earth Surface Processes and Landforms* 37: 273-286.

Canuti P., Esu F., 1995. Glossario Internazionale per le frane. *Rivista Italiana di Geotecnica* 2: 143-150.

Caracciolo T., La Pietra T., Pellegrino A., 2005. Primi Risultati dal Confronto tra Tecniche Geomorfologiche Convenzionali e l'Interferometria Difsar: Applicazione per l'Analisi di Movimenti in Massa in Aree Peri-Urbane (Calabria, Italia). *Giornale di Geologia Applicata* 2: 217-226.

Carbone S., 1985. I depositi pleistocenici del settore nord-orientale ibleo tra Agnone e Melilli (Sicilia SE): relazione tra facies e lineamenti strutturali. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 104: 405-420.

Carbone S., 2011. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 641, Augusta. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Carbone S., Grasso M., Lentini F., 1982. Considerazioni sull'evoluzione geodinamica della Sicilia sud-orientale dal Cretacico al Quaternario. *Memorie della Società Geologica Italiana* 24: 362-386.

Carbone S., Grasso M., Lentini F., 1986. Carta geologica del settore nord-orientale ibleo (Sicilia S-E), scala 1:50000. S.EL.CA., Firenze.

Carbone S., Grasso M., Lentini F., 2009. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 634, Catania. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma.

Carbone S., Lentini F., 1981. Caratteri deposizionali delle vulcaniti del Miocene superiore negli Iblei (Sicilia Sud-Orientale). *Geologica Romana* 20: 79-101.

Carraro F., 2012. *Geologia del Quaternario. L'evoluzione geologica degli ambienti superficiali*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Casadio M., Elmi C., 1999. *Il manuale del geologo*. Pitagora Editrice, Bologna.

Casati P., 1991. *Scienze della terra*. Città Studi Edizioni.

Casero P., Cita M.B., Croce M., De Micheli A., 1984. Tentativo di interpretazione evolutiva della Scarpata di Malta basata su dati geologici e geofisici. *Memorie della Società Geologica Italiana* 27: 233-253.

Castiglioni G.B., 1991. *Geomorfologia (seconda edizione)*. Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino.

Catalano R., 2004. *Geology of Sicily: an introduction*. *Bocconea* 17: 33-46.

Catalano R., Di Stefano P., Sulli A., Vitale F.P., 1996. Paleogeography and structure of the central Mediterranean: Sicily and its offshore area. *Tectonophysics* 260: 291-323.



LINEA CATANIA-SIRACUSA

BYPASS DI AUGUSTA

ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R69RG	GE 00 01 001	A	110 di 132

Catalano S., Avellone G., Basilone L., Contino A., Agate M., 2011. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 609-596 (Termini Imerese – Capo Plaia). Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma.

Catalano S., De Guidi G., Romagnoli G., Torrisi S., Tortorici G., Tortorici L., 2008. Evidence of a late Quaternary tectonic inversion along the Scicli Lince: implication for the tectonics of SE Sicily. Riassunti estesi del 25° Convegno GNGTS, 28-29 novembre, Roma.

Celico P., 1986. Prospezioni idrogeologiche - Volume primo. Liguori Editore, Napoli.

Cello G., Tortorici L., Martini N., Paltrinieri W., 1989. Structural styles in the frontal zones of the Southern Apennines, Italy: an example from the Molise district. *Tectonics* 8: 753-768.

Cita M.B., Benelli F., Bigioggero B., Chezar H., Colombo A., Fantini Sestini N., Freedman R., Iaccarino S., Jadul F., Legnani E., Malinverno A., Massiotta P., Paggi L., Premoli Silva I., 1980. Contribution to the geological exploration of the Malta Escarpment. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 86: 317-357.

Civita M., 1972. Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione. *Memorie e note dell'Istituto di Geologia Applicata e Arte mineraria* 12.

CNR-PFG, 1985. Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980. In: Postpischl D. (ed), CNR-PFG V. 2B, Bologna.

Cogan J., Rogo L., Grasso M., Lerche I., 1989. Flexural tectonics of southeastern Sicily. *Journal of Geodynamics* 11: 189-241.

Cremonini G., 1994. Rilevamento geologico. Realizzazione e interpretazione delle carte geologiche. Pitagora Editrice, Bologna.

Cristofolini R., Lentini F., Patané G., Rasà R., 1979. Integrazione di dati geologici, geofisici e petrolologici per la stesura di un profilo crostale in corrispondenza dell'Etna. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 98: 239-247.

Cruden D.M., Varnes D.J., 1993. Landslides: investigation and mitigation chapter 3: landslide type and process. National Academy of sciences.

Cruden D.M., Varnes D.J., 1996. Landslide types and processes. In: Turner A.K., Schuster R.L. (eds) *Landslide investigation and mitigation, special report 247*, National Academy of Sciences: 36-75.

Dall'Aglio M., Quattrocchi F., 1991. Relazione preliminare sulle misure geochimiche effettuate dopo il terremoto del 13/12/1990 nella Sicilia orientale. In: Boschi E., Basili A. (eds), *Contributi allo studio del terremoto della Sicilia orientale del 13 Dicembre 1990*. I.N.G., Pubbl. 537: 127-144.

De Martini P.M., Barbano M.S., Smedile A., Gerardi F., Pantosti D., Del Carlo P., Pirrotta C., 2010. A unique 4000 year long geological record of multiple tsunami inundations in the Augusta bay (eastern Sicily, Italy). *Marine Geology* 276: 42-57.

Di Geronimo I., Ghisetti F., Lentini F., Vezzani L., 1978. Lineamenti neotettonici della Sicilia orientale. *Memorie della Società Geologica Italiana* 19: 543-549.

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

Di Grande A., 1972. Geologia dell'area a nord i Augusta-Francafonte (Sicilia SE). *Atti Accademia Gioenia Scienze Naturali Catania* 4: 32.

Di Grande A., Scamarda G., 1973. Segnalazione di livelli a *Strombus bubonius* LAMARK nei dintorni di Augusta (Siracusa). *Bollettino dell'Accademia Gioenia Scienze Naturali Catania* 11: 157-172.

DISS Working Group, 2021. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0.: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Dramis F., Bisci C., 1997. *Cartografia geomorfologica*. Pitagora Editrice, Bologna.

Ferrara V., 1999. Presentazione della carta di vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alluvionale della Piana di Catania (Sicilia NE). *Atti 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio* 1: 199-1104, CNR-GNDICI, Parma.

Ferrara V., Pappalardo G., Rapisarda F., 2007. Salinization factors affecting the coastal aquifers in eastern Sicily. In: Pulido Bosch A., Lopez Getay J.A., Ramos Gonzalez G. (eds), *Los acuiferos costeros: retos y soluciones*. Instituto Geológico y Minero de Espana, *Serie Hidrogeologia y Aguas Subterranas* 23: 105-116.

Ferretti A., Prati C., Rocca F., 2001. Permanent scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* 39: 1.

Finetti I., Lentini F., Carbone S., Catalano S., Del Ben A., 1996. Il Sistema Appennino Meridionale - Arco Calabro - Sicilia nel Mediterraneo Centrale: Studio Geologico-Geofisico. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 115: 529-559.

Ghisetti F., 1992. Fault parameters in the Messina Straits (southern Italy) and relations with the seismogenic sources. *Tectonophysics* 210: 117-133.

Ghisetti F., Vezzani L., 1980. The structural features of the Iblean Plateau and of the Mount Judica area (South-Eastern Sicily): a microtectonic contribution to the deformational history of the Calabrian Arc. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 99: 57-102.

Ghisetti F., Vezzani L., 1984. Thin-skinned deformations of the western Sicily thrust belt and relationships with crustal shortening: Mesostructural data on the Mt. Kumeta-Alcantara Fault Zone and relates structurea. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 103: 129-157.

Grasso M., Behncke B., Di Geronimo I., Giuffrida S., La Manna F., Maniscalco R., Pedley H.M., Raffi S., Schmincke H.U., Strano D., Sturiale G., 2004. Carta Geologica del settore nord-orientale ibleo e del fronte della Falda di Gela. Scala 1:25000. S.EL.CA., Firenze.

Grasso M., Ben-Avraham Z., 1992. Magnetic study of the northern margin of the Hyblean Plateau, southern Sicily: structural implication. *Annales Tectonicae* 6: 202-213.

Grasso M., Lentini F., 1982. Sedimentary and tectonic evolution of the eastern Hyblean Plateau (Southeastern Sicily) during Late Cretaceous to Quaternary time. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 39: 261-280.

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

Grasso M., Lentini F., Lombardo G., Scamarda G., 1979. Distribuzione delle facies cretaceo-mioceniche lungo l'allineamento Augusta-M. Lauro (Sicilia Sud-Orientale). Bollettino della Società Geologica Italiana 98: 175-188.

Grasso M., Lentini F., Pedley H.M., 1982. Late Tortonian-Lower Messinian (miocene palaeogeography of SE Sicily): information from two new formations of the Sortino Group. Sedimentary Geology 32: 279-300.

Gresta S., Bella D., Musumeci C., Carveni P., 1997. Some efforts on active faulting processes, earthquake and aseismic creep) acting on the eastern flank of Mt. Etna (Sicily). Acta Vulcanologica 9: 101-107.

Hallam A., 1985. Interpretazione delle facies e stratigrafia. Pitagora Editrice, Bologna.

Hungr O., Leroueil S., Picarelli L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides 11: 167-194.

Hutchinson J.N., 1985. Mass movements. In: Fair Bridge R.W. (ed): Encyclopedia of Geomorphology: 688-695.

Hutchinson J.N., 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings of 5th International Symposium on Landslide: 10-15.

Intrieri E., Frodella W., Raspini F., Bardi F., Tofani V., 2020. Using satellite interferometry to infer landslide sliding surface depth and geometry. Remote Sensing 12: 1-26.

ISIDe Working Group, 2007. Italian Seismological Instrumental and Parametric Database (ISIDe). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

ISPRA – Regione Sicilia, 2016. Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia – IFFI (consultazione 2022). progettoiffi.isprambiente.it.

ISPRA, 2011. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 641, Augusta. Servizio Geologico d'Italia.

ISPRA, 2018. Rapporto dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - rapporto 2018.

Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia, 2022. Modello di pericolosità sismica MPS04-S1. <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>.

ITHACA Working Group, 2019. ITHACA (ITaly HAZard from Capable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>. ISPRA Geological Survey of Italy.

Jacques E., Monaco C., Tapponier P., Tortorici L., Winter T., 2001. Faulting and earthquake triggering during the 1783 Calabria seismic sequence. Geophysical Journal International 147: 499-516.

Juang C.H., Elton D.J., 1991. Use of fuzzy sets for liquefaction susceptibility zonation. Proceedings of the Fourth seismic zonation 2: 629-636.

Lentini F., 1982. The geology of the Mt. Etna basement. Memorie della Società Geologica Italiana 23: 7-25.

Lentini F., Carbone S., 2014. Geologia della Sicilia. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia 95: 7-414.

Lentini F., Carbone S., Catalano S., Grasso M., 1995. Principali lineamenti strutturali della Sicilia nord-orientale. Studi Geologici Camerti vol. spec. 2: 319-329.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b></p> <p><b>BYPASS DI AUGUSTA</b></p> <p><b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b></p>					
	<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA</p>	<p>COMMESSA RS60</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA R69RG</p>	<p>DOCUMENTO GE 00 01 001</p>	<p>REV. A</p>

Lentini F., Carbone S., Catalano S., Grasso M., Monaco C., 1991. Presentazione della Carta Geologica della Sicilia Centro-Orientale. *Memorie della Società Geologica Italiana* 47: 145-156.

Lentini F., Carbone S., Grasso M., Di Geronimo I., Scamarda G., Bommarito S., Sciuto F., 1984. Carta geologica della Sicilia sud-orientale, scala 1:100000. S.EL.CA., Firenze.

Lentini F., Grasso M., Carbone S., 1987. Introduzione alla geologia della Sicilia e guida all'escursione. In: Lentini F., Grasso M. & Carbone S. (eds): *Sistemi avanfossa-avampaese lungo la Catena Appenninico-Maghrebide*. Convegno della Società Geologica Italia, Naxos-Pergusa, Aprile 1987: 60.

Lickorish H., Grasso M., Butler R.W.H., Argnani A., Maniscalco R., 1999. Structural styles and regional tectonic setting of the "Gela Nappe" and frontal part of the Maghrebic thrust belt in Sicily. *Tectonics* 18: 655-668.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A., 2022. Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Longhitano S., Zanini A., 2006. Coastal Models and Beach Types in NE Sicily: How Does Coastal Uplift Influence Beach Morphology?. *Il Quaternario* 19: 103-117.

Makris J., Nicolich R., Weigel W., 1986. A seismic study in the western Ionian Sea. *Annals of Geophysics* 6: 665-678.

Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1.

Meletti C., Montaldo V., Stucchi M., Martinelli F., 2006. Database della pericolosità sismica MPS04. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Meletti C., Valensise G., 2004. Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo. Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territori e del Mare, 2022. Prodotti interferometrici ESR-ENVISAT-Cosmo Sky. Dati satellitari SAR ERS (periodo elaborato va dal 1992 al 2000), ENVISAT (periodo elaborato va dal 2003 al 2008) e Cosmo Sky. Geoportale nazionale.

Monaco C., Bianca M., Catalano S., De Guidi G., Tortorici L., 2002. Sudden change in the Late Quaternary tectonic regime in eastern Sicily: evidences from geological and geomorphological features. *Bollettino della Società Geologica Italiana* vol. spec. 1: 901-913.

Monaco C., De Guidi G., 2006. Structural evidence for Neogene rotations in the eastern Sicilian fold and thrust belt. *Journal of Structural Geology* 28: 561-574.

Monaco C., Tortorici L., 2000. Active faulting in the Calabrian arc and eastern Sicily. *Journal of Geodynamics* 29: 407-424.

Monaco C., Tortorici L., Catalano S., 2000. Tectonic escape in the Sicilian mountains (western Sicily). *Memorie della Società Geologica Italiana* 55: 17-25.

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

Monaco C., Tortorici L., Paltrinieri W., 1998. Structural Evolution of the Lucanian Apennines, Southern Italy. *Journal of Structural Geology* 20: 617-638.

Montanari L., 1982. Modello deposizionale del Cretaceo e del Paleogene siracusano. *Rendiconti della Società Geologica Italiana* 5: 57-60.

Montanari L., 2000. Paleogeography of Sicily: Importance of Stratigraphy. *Memorie della Società Geologica Italiana* 55: 211-217.

Mostardini F., Merlini S., 1986. Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di un modello strutturale. *Memorie della Società Geologica Italiana* 35: 177-202.

Nisio S., 2008. I fenomeni naturali di sink-hole nelle aree di pianura italiane. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia* 85: 83-99.

Obermeier S.F., 1996. Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis — An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes. *Engineering Geology* 44(1).

Ogniben L., 1969. Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano. *Memorie della Società Geologica Italiana* 8: 453-763.

Ogniben L., 1973. Carta del modello strutturale d'Italia. Fogli Sud n. 1-2, scala 1:1000000, Roma.

Orton G.J., Reading H.G., 1993. Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology* 40: 475-512.

Pánek T., 2020. Landslides and Related Sediments. *Earth Systems and Environmental Sciences*: 1-22.

Parotto M., Praturlon A., 1975. Geological summary of Central Apennines. In: Ogniben L., Parotto M., Praturlon A. (eds), *Structural Model of Italy*. *Quaderni della Ricerca Scientifica* 90: 257-306.

Pasquarè G., Abbate E., Castiglioni G.B., Merenda M., Mutti E., Ortolani F., Parotto M., Pignone R., Polino R., Sassi F.P., 1992. Carta geologica d'Italia 1:50000, Guida al Rilevamento. *Quaderni serie III* 1: 203.

Patacca E., Scandone P., Giunta G., Liguori V., 1979. Mesozoic Paleotectonic Evolution of the Ragusa Zone (Southeastern Sicily). *Geologica Romana* 18: 331-369.

Pedley H.M., 1981. Sedimentology and paleoenvironment of the southeast Sicilian Tertiary platform carbonates. *Sedimentary Geology* 28: 273-291.

Pedley H.M., Grasso M., 1992. Miocene syntectonic sedimentation along the western margins of the Hyblean-Malta Platform: a guide to plate margin processes in the Central Mediterranean. *Journal of Geodynamics* 15: 19-37.

Pedley H.M., Grasso M., Maniscalco R., Behncke B., Di Stefano A., Giuffrida S., Sturiale G., 2001. The Sedimentology and Palaeoenvironment of Quaternary Temperate Carbonates and Their Distribution around the Northern Hyblean Mountains (SE Sicily). *Bollettino della Società Geologica Italiana* 120: 233-255.

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

Pirrotta C., Barbano M.S., Guarnieri P., Gerardi F., 2007. A new dataset and empirical relationships between magnitude/intensity and epicentral distance for liquefaction in central-eastern Sicily. *Annals of Geophysics* 50: 763-774.

Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della protezione civile, 2021. Classificazione sismica al 30 aprile 2021. <https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/sismico/attivita/classificazione-sismica>.

Rauch A.F., 1998. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using Cone Penetration Test. *Canadian Geotechnical Journal* 35: 442-459.

Regione Siciliana, 2002. Carte tematiche delle linee guida del Piano territoriale paesistico regionale. Assessorato dei Beni culturali e dell'Identità siciliana.

Regione Siciliana, 2007. Piano di tutela delle acque della regione Sicilia.

Ricci Lucchi F., 1980. Sedimentologia. Cooperativa Libreria Universitaria Editrice, Bologna.

Riga G., 2007. La liquefazione dei terreni. Analisi, valutazione, calcolo. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Robertson P.K., Wride C.E., 1998. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal* 35: 442-459.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Scandone P., Giunta G., Liguori V., 1974. The connection between the Apulia and Sahara continental margins in the Southern Apennines and in Sicily. *Memorie della Società Geologica Italiana* 13: 317-323.

Scandone P., Patacca E., Rodoicic R., Ryan W.B.F., Cita M.B., Rawason M., Chertzar H., Miller E., Mckenzie J., Rossi S., 1981. Mesozoic and Cenozoic rocks from Malta Escarpment (Central Mediterranean). *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 65: 1299-1319.

Scicchitano G., Costa B., Di Stefano A., Longhitano S.G., Monaco C., 2010. Tsunami and storm deposits preserved within a riatype rocky coastal setting (Siracura, SE Sicily). *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband* 54: 51-77.

Scicchitano G., Monaco C., Tortorici L., 2007. Large boulder deposits by tsunami waves along the Ionian coast of south-eastern Sicily (Italy). *Marine Geology* 238: 75-91.

Seed H.B., Idriss I.M., 1982. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland.

Servizio Geologico d'Italia, 1885. Carta geologica d'Italia, in scala 1:100000. Foglio 274, Siracusa. Servizio geologico d'Italia, Roma.

Skempton A.W., 1986. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation. *Géotechnique* 36: 425-447.

Smedile A., De Martini P.M., Pantosti D., Bellucci L.G., Del Carlo P., Gasperini L., Pirrotta C., Polonia A, Boschi E., 2011. Possible tsunami signatures from an integrated study in the Augusta Bay offshore (Eastern Sicily-Italy). *Marine Geology* 281: 1-13.

	<b>LINEA CATANIA-SIRACUSA</b> <b>BYPASS DI AUGUSTA</b> <b>ECONOMICA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO</b>				
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO GE 00 01 001

Smedile A., Molisso F., Chagué C., Iorio M., De Martini P.M., Pinzi S., Collins P.E.F., Sagnotti L., Pantosti D., 2020. New coring study in Augusta Bay expands understanding of offshore tsunami deposits (Eastern Sicily, Italy). *Sedimentology* 67: 1553-1576.

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Valensise G., 2004. Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E., 2011. Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code. *Bulletin of the Seismological Society of America* 101(4): 1885-1911.

Tansi C., Muto F., Critelli S., Iovine G., 2007. Neogene-Quaternary strike-slip tectonics in the central Calabrian Arc (southern Italy). *Journal of Geodynamics* 43: 393-414.

Tanzini M., 2001. Fenomeni franosi e opere di stabilizzazione. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Terzaghi K., 1950. Mechanism of Landslides. *Geological Society of America Bulletin (Berkeley)*: 83-123.

Tomassetti L., Brandano M., Mateu-Vicens G., 2022. 3D modelling of the upper Tortonian-lower Messinian shallow ramp carbonates of the Hyblean domain (Central Mediterranean, Faro Santa Croce, Sicily). *Marine and Petroleum Geology* 135: 105393.

Torelli L., Grasso M., Mazzoldi G., Peis D., 1998. Plio-Quaternary tectonic evolution and structure of the Catania foredeep, the northern Hyblean Plateau and the Ionian shelf (SE Sicily). *Tectonophysics* 298: 209-221.

Valensise G., D'Addezio G., 1994. Il contributo della geologia di superficie all'identificazione delle strutture sismogenetiche della Piana di Gioia Tauro. *ING Publications* 559: 34.

Valensise G., Pantosti D., 1992. A 125 Kyr-long geological record of seismic source repetability: in the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake. *Terra Nova* 44: 472-483.

Valensise G., Pantosti D., 2001. The investigation of potential earthquakes sources in peninsular Italy: a review. *Journal of Seismology*: 287-306.

Vallario A., 1992. Frane e territorio. Le frane nella morfogenesi dei versanti e nell'uso del territorio. Liguori Editore, Napoli.

Varnes D.J., 1978. Slope movement types and processes. Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington.

Zaruba Q., Mencl V., 1982. Landslides and their control. Elsevier, Amsterdam, Academia-Praha, 2nd ed..



**LINEA CATANIA - SIRACUSA**  
**COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA**  
**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA**

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED  
IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	00	R69RG	GE 00 01 001	A	117 di 132

# APPENDICE



LINEA CATANIA - SIRACUSA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED  
IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	00	R69RG	GE 00 01 001	A	118 di 132

***“PROGETTO DEFINITIVO VELOCIZZAZIONE LINEA  
CATANIA SIRACUSA TRATTA BICOCCA - TARGIA - I  
LOTTO FUNZIONALE - BICOCCA-AUGUSTA”***

**PROGETTO DEFINITIVO – 2011**

**CI2011**

Committente: ITALFERR S.p.A. Località: Augusta-C.da San Lorenzo Perforazione: S37  
 Coordinate N= 37° 14' 52.8" E= 15° 12' 47.9" Quota inizio = p.c.  
 Data inizio-fine: 18-19/04/11 Attrezzatura: PSM980G Met. perf.: rot. 130/152  
 Operatore: V.Grosso Responsabile: Dott. Geol. I.Gallo

1,2,3 ... camp. indisturbati s = Shelby d = Denison DM: corona diamantata  
 LEGENDA: A,B,C ... camp. rimaneggiati p = percussione m = Mazier o = Osterberg W: corona Widia

# RCT

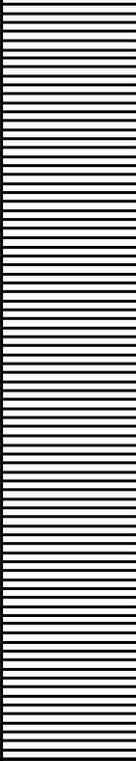
SEDE :  
 Viale Primo Maggio 6b  
 20068 Peschiera Borromeo (MI)  
 tel. 02 9542001- fax 02 95350316

RILIEVO H2O DURANTE LA PERFORAZIONE

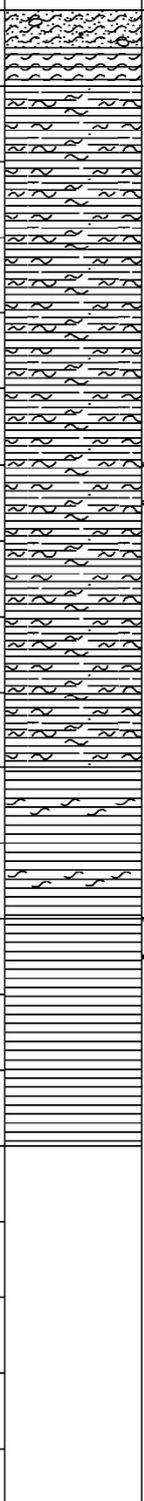
PROF. FORO	PROF. RIVEST.	SERA		MATTINA	
		GG	H	GG	H
25.50	24.00	18/04	-0.20	19/04	-0.46

Attrezzo di perforazione	Tipo di corona	Rivestimento	Profondita'	Scala 1:100	Stratigrafia	Campioni	Descrizione	Pocket Penetrometer	Vane Test	Prof. SPT	N° colpi SPT	Quota prove	Strumentazione installata		
CAROTIERE SEMPLICE Ø 130	W	Ø 152	0.80	1		1.50 1s 2.10	riporto : ciottoli (Ø max 7 cm) e ghiaia con sabbia loc. limosa marrone	-1.50 -0.90							
				2											
				3											
				4											
				5						limo argilloso nocciola plastico					
				6											
				7											
			8.00	8				7.50 2s 8.00							
				9											
				10											
				11											
				12											
				13											
				14				13.50 3s 14.00		argilla da grigia a grigio azzurra loc. a bande nerastre da plastica a consistente					
				15											
				16											
				17											
				18											
				19											
				20											

tubo in PVC Ø 3" a -30.00 m da p.c. per prove Down-Hole

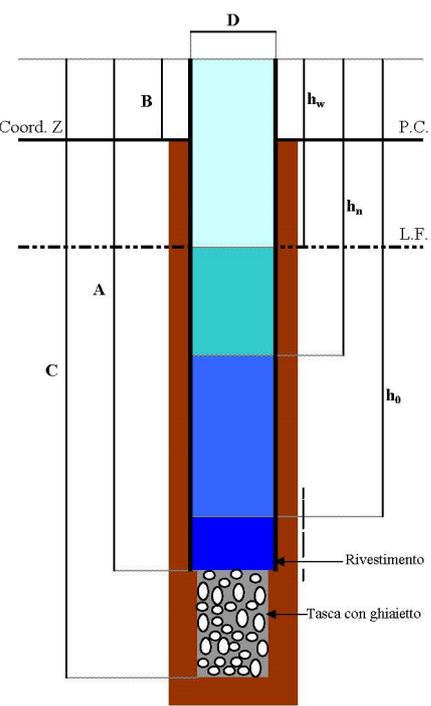
Attrezzo di perforazione	Tipo di corona	Rivestimento	Profondita'	Scala 1:100	Stratigrafia	Campioni	Descrizione	Pocket Penetrometer	Vane Test	Prof. SPT	N° colpi SPT	Quota prove	Strumentazione installata
CAROTIERE SEMPLICE Ø 130	W	Ø 152	30.00	21		22.50 4s 23.00	argilla da grigia a grigio azzurra loc. a bande nerastre da plastica a consistente	-3.50	-1.80				
				22				-3.50	-1.80				
				23				-3.50	-1.75				
				24				-3.50	-1.75				
				25				-3.50	-1.80				
				26									
				27									
				28									
				29									
				30									
				31									
				32									
				33									
				34									
				35									
				36									
				37									
				38									
				39									
				40									
				41									
				42									

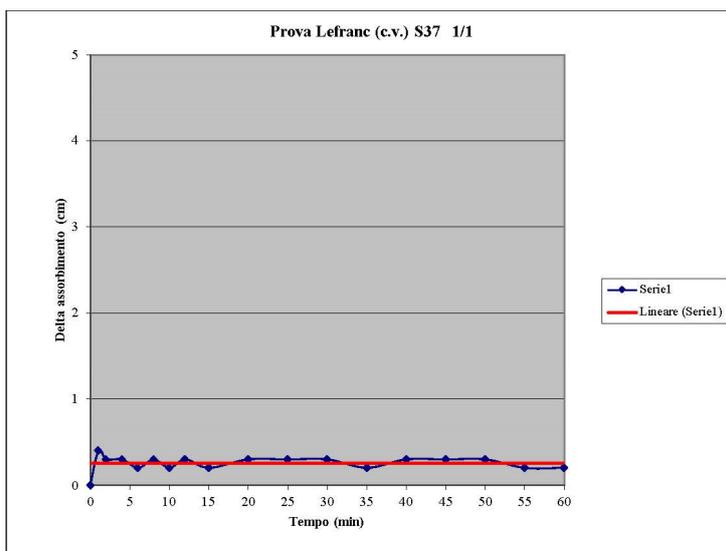
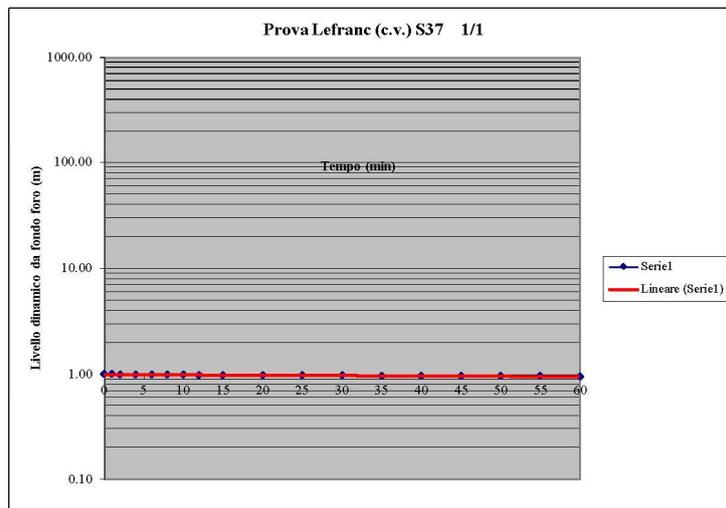
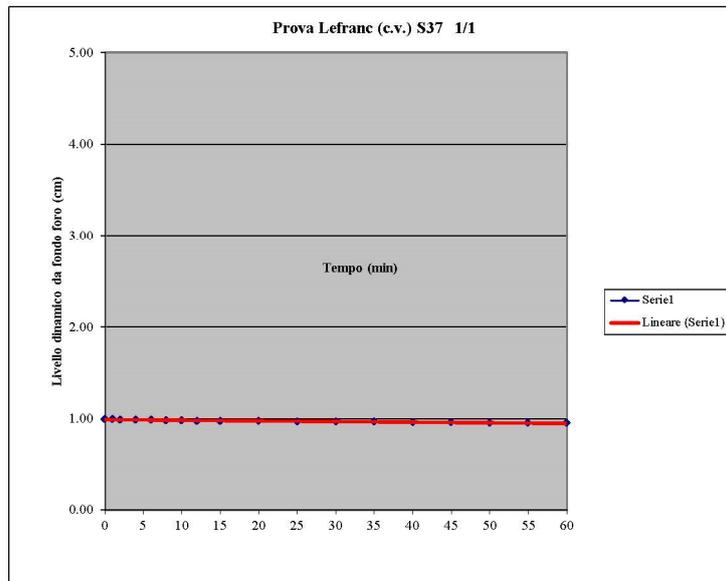
Committente: ITALFERR S.p.A.	Perforazione: CR13V		SEDE : Viale Primo Maggio 6b 20068 Peschiera Borromeo (MI) tel. 02 9542001- fax 02 95350316		
Località: Augusta - Km 283+400	Quota inizio = p.c.				
Data inizio-fine: 30/11/2011	Attrezzatura: Gelma 2	Met. perf.: rot. 130/152		RILIEVO H2O DURANTE LA PERFORAZIONE	
Operatore: P.Giunta	Responsabile: Dott. Geol. I.Gallo				
LEGENDA: 1,2,3 ... camp. indisturbati A,B,C ... camp. rimaneggiati		s = Shelby m = Mazier	d = Denison o = Osterberg	DM: corona diamantata W: corona Widia	
Decreto Ministeriale n. 5034 D.P.R. n. 380/2001 Art. 59		Certificato n. pag. 1 di 1		revisione 00	data emiss. 22/12/11
				redatto Dott. I.Gallo	approvato Dott. D.Attala

Attrezzo di perforazione	Tipo di corona	Rivestimento	Profondita'	Scala 1:100	Stratigrafia	Campioni	Descrizione	Pocket Penetrometer	Vane Test	Quota prove	Strumentazione installata										
CAROTIERE SEMPLICE Ø 130	W	Ø 152	0.50	1			limo sabbioso marrone nocciola ingl. rara ghiaia calcarenitica														
			1.00	2									limo argilloso deb. sabbioso marrone nocciola	1.50	0.70						
				3										1.50	0.80						
				4										3.00	1.40						
				5										3.25	1.50						
				6										3.00	1.40						
				7										0.50		argilla limosa nocciola da consistente a molto consistente loc. poco consistente . Loc. pres. noduli di sabbia finissima rossastra	0.50				
				8										1.25	0.60		6.00 1s 6.50	1.75	1.20		
				9										1.75	1.20			0.50		7.50	
				10										1.75	0.80			0.50		Lefranc 1	
				11										3.50	1.50		argilla loc. limosa grigia a bande giallastre consistente . Loc. pres. patine di ossidazione	1.75	0.80	8.00	
				12										3.75	1.70			3.50	1.50		
				13										12.00			argilla grigio azzurra molto consistente	2.25	1.20		
				14										12.00				3.75	1.80		
				15										12.00				3.75	1.70		
				16										12.50							
				17																	
				18																	
				19																	
				20																	

piezometro a tubo aperto Ø 2" a -15.00 m da p.c.

S	C	PROF.	C.I.	Rim	W	g	gs	G	S	L	A	WI	lp	CLX	C'tg	f'tg	TUU	ELL	CCDtrx	fCDtrx	BRAS	EDOMETRIA	FACIES
S37	C01	1.50/2.10	1	-	26.4	1.91	2.54	-	2.19	52.11	45.7	70	39	A-7-5	16.49	23	-	133.1	-	-	-		
S37	C02	7.50/8.10	1	-	32.66	1.89	2.68	-	1.08	49.5	49.42	59	32	A-7-6	-	-	168.67	-	-	-	-	SI	
S37	C04	22.50/23.10	1	-	30.93	1.88	2.59	-	0.84	50.9	48.27	71	39	A-7-5	-	-	405.02	39.29	18.16	-			

Prova di permeabilità "Lefranc" a livello variabile		Cantiere ITALFERR Augusta - Stazione FS				
Data: 18/04/2011		Sondaggio n. S37				
Coord. X (m) =		Coord. Y (m) =				
Coord. Z (m) =		Lato: Coord. Z (m) =				
SCHEMA FORO		DATI PRINCIPALI				
 <p>A = Lunghezza totale rivestimento B = Lunghezza parte esterna rivestimento C = Lunghezza rivestimento con tasca</p>		Prova n. 1 di 1 A = 300.0 cm B = 50.0 cm C = 350.0 cm D = 13.1 cm h <sub>w</sub> = 100.0 cm h <sub>0</sub> = 0.0 cm L = 50.0 cm t <sub>n</sub> = Tempo trascorso dall'inizio della prova (min) h <sub>w</sub> = Altezza della falda <b>(in assenza = C)</b> h <sub>n</sub> = Altezza dell'acqua al tempo t <sub>n</sub> h <sub>0</sub> = Altezza dell'acqua al tempo t <sub>0</sub> L = C - A = Tasca				
t <sub>n</sub> min	h <sub>n</sub> cm	H <sub>n</sub> = h <sub>n</sub> - h <sub>w</sub> cm	H <sub>0</sub> = h <sub>0</sub> - h <sub>w</sub> cm	H <sub>n</sub> / H <sub>0</sub>	ln(H <sub>n</sub> /H <sub>0</sub> )	K cm/sec
0	0.0	-100.0	-100.0	1.000	0.000	
1	0.4	-99.6	-100.0	0.996	-0.004	5.83E-05
2	0.7	-99.3	-100.0	0.993	-0.007	4.38E-05
4	1.0	-99.0	-100.0	0.990	-0.010	2.20E-05
6	1.2	-98.8	-100.0	0.988	-0.012	1.47E-05
8	1.5	-98.5	-100.0	0.985	-0.015	2.21E-05
10	1.7	-98.3	-100.0	0.983	-0.017	1.48E-05
12	2.0	-98.0	-100.0	0.980	-0.020	2.22E-05
15	2.2	-97.8	-100.0	0.978	-0.022	9.90E-06
20	2.5	-97.5	-100.0	0.975	-0.025	8.93E-06
25	2.8	-97.2	-100.0	0.972	-0.028	8.96E-06
30	3.1	-96.9	-100.0	0.969	-0.031	8.99E-06
35	3.3	-96.7	-100.0	0.967	-0.034	6.01E-06
40	3.6	-96.4	-100.0	0.964	-0.037	9.03E-06
45	3.9	-96.1	-100.0	0.961	-0.040	9.06E-06
50	4.2	-95.8	-100.0	0.958	-0.043	9.09E-06
55	4.4	-95.6	-100.0	0.956	-0.045	6.07E-06
60	4.6	-95.4	-100.0	0.954	-0.047	6.09E-06
<b>Valore permeabilità' media: K =</b>		$\frac{D^2}{8 * L * 60 * (t_2 - t_1)} \ln \left( \frac{2L/D}{H_1/H_2} \right) =$		<b>1.65E-05 cm/sec</b>		



*“PROGETTO PRELIMINARE VELOCIZZAZIONE LINEA  
CATANIA SIRACUSA TRATTA BICOCCA - TARGIA TRA I  
KM 236+800 E KM 301+890”*

**PROGETTO PRELIMINARE – 2003**

**CI2003**



**COMMITTENTE: ATP srl**

**Data perforazione: 8 maggio 2003**

R.Q.D. (%)	Percentuale carotaggio	Campioni indisturbati	Tubi rivestimento	Falda idrica	Scala 1:100	Colonna stratigrafica	Quota dal piano campagna	Terreni attraversati	PROVA S.P.T.											Profondità		
									Campionatore	Quota inizio prova	Numero di colpi Avanzamento (cm)	INDICE N30										
							0,50	Terreno vegetale														
							2,00	Detrito costituito da limo argilloso nerastro, poco consistente, con litoidi calcarenitici a spigoli arrotondati.														
							3,90	Argilla alterata di colore giallastro, da consistente a poco consistente, tendente al grigio con la profondità, con ossidazioni.														
							15,00	Argilla grigiasta, consistente, con residui di fossili e tracce di torba. Il contenuto naturale d'acqua è minore del limite di plasticità. A 9,00 m livello di circa 5 cm ossidato, con colorazione ceracea.														

Cassette catalogatrici n° 3

Caratteristiche penetrometro:  
 Mazza battente: Kg 63,5

Caduta: m 0,75  
 Campionatore Raymond (CR)







Rif. verbale di accettazione 038/2003

Richiedente: A.T.P. s.r.l.

Lavoro: Velocizzazione tratta ferroviaria Bicocca-Targia

**RIEPILOGO CARATTERISTICHE FISICHE DEI TERRENI**

Sondaggio	S7	S8		S9		S10		S11		S12	
Campione	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
Profondità	da m	10.50	3.00	8.00	9.00	18.00	2.00	6.00	3.00	7.60	2.00
	a m	11.00	3.50	8.50	9.50	18.50	2.50	6.50	3.50	8.10	2.50
$j$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.7	20.1		18.5	18.6	18.7	18.3	15.0	18.9	18.5	
$j_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]											
$j_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	27.3	26.9	27.2	27.1	27.3	27.2	27.0	26.0	26.9	27.3	
w	0.36	0.26	0.26	0.37	0.36	0.35	0.35	0.92	0.32	0.35	
w <sub>P</sub>	0.28	0.24	0.35	0.26	0.27	0.26	0.28	0.39	0.28	0.28	
w <sub>L</sub>	0.75	0.58	0.86	0.68	0.73	0.77	0.82	0.91	0.81	0.85	
w <sub>S</sub>											
I <sub>p</sub>	0.47	0.34	0.51	0.42	0.46	0.51	0.54	0.52	0.53	0.57	
I <sub>C</sub>	0.83	0.94	1.18	0.74	0.80	0.82	0.87	< 0	0.92	0.88	
n				0.50	0.49	0.49	0.51	0.68	0.48		
S				0.99	0.97	0.99	0.98	0.98	1.00		
U											
% < d = 0,002 mm	64	55	50	55	60	61	63	51	65	70	
SO [%]											
CaCO <sub>3</sub> [%]											
k [cm/sec]					9x10 <sup>-9</sup>						

Il Direttore del laboratorio  
Ing. Vincenzo Canzoneri

Rif. verbale di accettazione 038/2003

Richiedente: A.T.P. s.r.l.

Lavoro: Velocizzazione tratta ferroviaria Bicocca-Targia

### RIEPILOGO CARATTERISTICHE FISICHE DEI TERRENI

Sondaggio	S12	S13		S14		S15		S16		S17	
Campione	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
Profondità	da m	7.00	3.00	12.00	5.00	8.00	2.00	6.00	3.50	7.00	2.10
	a m	7.50	3.50	12.50	5.50	8.50	2.50	6.50	4.00	7.50	2.60
$j$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19.0	18.8	19.0		19.3	18.7	18.5	18.0	20.9	17.6	
$j_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]											
$j_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	27.1	27.3	26.9	27.1	27.0	27.2	27.1	26.7	26.5	27.3	
w	0.37	0.32	0.30	0.34	0.35	0.36	0.39	0.31	0.27	0.42	
w <sub>p</sub>	0.26	0.27		0.26	0.25	0.27	0.28	0.30	0.24		
w <sub>L</sub>	0.78	0.80		0.74	0.71	0.79	0.78	0.77	0.66		
w <sub>s</sub>											
I <sub>p</sub>	0.52	0.53		0.48	0.46	0.52	0.50	0.47	0.42		
I <sub>C</sub>	0.79	0.91		0.83	0.78	0.83	0.78	> 0	0.93		
n	0.47		0.47			0.49		0.52		0.55	
S	1.00		1.00			1.00		0.98		0.95	
U											
% < d = 0,002 mm	60	68	57	63	63	64	67	53	38	60	
SO [%]											
CaCO <sub>3</sub> [%]											
k [cm/sec]										4x10 <sup>-8</sup>	

Il Direttore del laboratorio  
Ing. Vincenzo Canzoneri