

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI

GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 69 RG GE0001 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	Rocksoil	Dic. 19	F. Romano	Dic. 19	A. Barreca	Dic. 19	M. Comedini Apr. 20
B	Emissione Esecutiva	Rocksoil	Gen. 20	F. Romano	Gen. 20	A. Barreca	Gen. 20	
C	Emissione Esecutiva	Rocksoil	Apr. 20	F. Romano	Apr. 20	A. Barreca	Apr. 20	
		<i>F. Romano</i>		<i>F. Romano</i>		<i>A. Barreca</i>		

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	2 di 257

INDICE

1	PREMESSA	18
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	20
3	DATI DI BASE	22
3.1	ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO	22
3.2	INDAGINI IN SITO	23
3.2.1	<i>Indagini precedenti – Italferr 2013</i>	23
3.2.2	<i>Indagini precedenti – Italferr 2018</i>	24
3.2.3	<i>Campagna di indagini 2019-2020</i>	25
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	31
4.1	CONTESTO GENERALE DELL'APPENNINO MERIDIONALE	31
4.2	LA CATENA APPENNINICO-MAGHREBIDE	34
4.2.1	<i>Evoluzione generale</i>	34
4.2.2	<i>Precisazioni sull'evoluzione tardo- post-tortoniana: assetto del Bacino di Caltanissetta</i>	37
4.3	EVOLUZIONE TETTONOSTRATIGRAFICA DELLA CATENA APPENNINICO-MAGHREBIDE	38
4.3.1	<i>Evoluzione dal Giurassico al Miocene medio (Langhiano)</i>	39
4.3.2	<i>Evoluzione dal Serravalliano al Tortoniano (Miocene medio-superiore)</i>	44
4.3.3	<i>Evoluzione dal Tortoniano superiore alla fine del Miocene (Messiniano)</i>	45
4.3.4	<i>Evoluzione dal Pliocene al Pleistocene</i>	55
4.4	CARATTERI STRUTTURALI	56
5	ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DI DETTAGLIO NELL'AREA DI PROGETTO	61
5.1	STRATIGRAFIA DEL SUBSTRATO DEFORMATO	63
5.1.1	<i>Unità di Nicosia</i>	63
5.1.2	<i>Unità di Geraci Siculo (FYN5)</i>	65
5.2	STRATIGRAFIA DEL BACINO DI THRUST-TOP	66
5.2.1	<i>Formazione Terravecchia (TRV)</i>	66
5.2.2	<i>Formazione del Tripoli (TPL)</i>	69
5.2.3	<i>Gruppo della Gessoso-Solfifera</i>	69
5.2.4	<i>Gruppo di Geracello</i>	72
5.3	DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI	75
5.3.1	<i>Depositi Alluvionali</i>	75

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	3 di 257

5.3.2	<i>Depositi detritici di versante</i>	76
5.3.3	<i>Coltre detritico-colluviale e/o eluvio-colluviale</i>	77
5.3.4	<i>Depositi antropici</i>	77
6	ASSETTO STRUTTURALE DI DETTAGLIO NELL'AREA DI PROGETTO	78
6.1	STRATIFICAZIONE	78
6.2	STRUTTURE DUTILI	78
6.3	STRUTTURE FRAGILI	79
7	GEOMORFOLOGIA	83
7.1	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE	83
7.1.1	<i>Dissesti e processi erosivi</i>	84
7.1.2	<i>Morfologia dei principali sistemi fluviali</i>	84
7.2	ASSETTO GEOMORFOLOGICO LOCALE	85
7.2.1	<i>Forme, processi e depositi gravitativi</i>	86
7.2.2	<i>Forme, processi e depositi legati alle acque superficiali</i>	93
7.2.3	<i>Forme antropiche</i>	94
7.3	COMPATIBILITÀ DELL'OPERA CON L'ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO	95
8	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	96
9	ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE	97
9.1	DATI IDROGEOLOGICI PREESISTENTI	97
9.2	DATI IDROGEOLOGICI DI NUOVA ACQUISIZIONE	99
9.3	CENSIMENTO POZZI E SORGENTI	112
9.4	DATI IDROGEOLOGICI RELATIVI ALLA GALLERIA MARIANOPOLI ESISTENTE	113
9.5	PERMEABILITÀ DEI LITOTIPI	114
9.6	COMPLESSI IDROGEOLOGICI	117
9.6.1	<i>Complessi delle unità del substrato</i>	117
9.6.2	<i>Complessi delle unità dei depositi quaternari</i>	121
9.7	CONDIZIONI DI DEFLUSSO IDRICO SOTTERRANEO	122
9.7.1	<i>Considerazioni generali</i>	123
9.7.2	<i>Galleria GN02 Nuova Marianopoli</i>	124
10	VALUTAZIONE DELLE PORTATE ATTESE IN GALLERIA	127
10.1	METODOLOGIA	127
10.1.1	<i>Portate transitorie</i>	127

10.1.2	<i>Portate stabilizzate</i>	129
10.2	VALUTAZIONE DELL'INFILTRAZIONE EFFICACE	135
10.2.1	<i>Piovosità</i>	136
10.2.2	<i>Evapotraspirazione</i>	136
10.2.3	<i>Infiltrazione</i>	137
10.3	PERMEABILITÀ	138
10.4	POROSITÀ	139
10.5	RISULTATI DELLE VALUTAZIONI DI PORTATA	140
10.5.1	<i>GN01 – Galleria Santa Catena</i>	140
10.5.2	<i>GN02 – Galleria Nuova Marianopoli</i>	141
10.5.3	<i>GN03 – Galleria Trabona</i>	142
10.5.4	<i>GN04 – Galleria Salito 1</i>	143
10.5.5	<i>GN05 – Galleria Salito 2</i>	143
10.5.6	<i>GN06 – Galleria Masareddu</i>	144
10.5.7	<i>GN07 – Galleria Xirbi</i>	144
11	SISMICITÀ DELL'AREA	146
11.1	PREMESSA	146
11.2	ASSETTO GEODINAMICO E TETTONICO	146
11.3	ASSETTO SISMOTETTONICO	148
11.4	ZONAZIONE SISMOGENETICA	152
11.5	FAGLIE SISMOGENETICHE E FAGLIE CAPACI NELL'AREA DI PROGETTO	153
11.6	SISMICITÀ DELL'AREA DI PROGETTO	156
11.6.1	<i>Distribuzione spazio-temporale degli eventi sismici a scala regionale</i>	156
11.6.2	<i>Distribuzione spazio-temporale degli eventi sismici a scala locale</i>	159
12	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO E POTENZIALI CRITICITÀ	180
12.1	TRATTA ALL'APERTO, PK 0+000 ÷ 1+495 CIRCA	180
12.1.1	<i>Sondaggi</i>	180
12.1.2	<i>Assetto geologico</i>	180
12.1.3	<i>Assetto geomorfologico</i>	180
12.1.4	<i>Assetto idrogeologico</i>	181
12.1.5	<i>Criticità principali</i>	181
12.2	TRATTA ALL'APERTO, PK 1+495 ÷ 2+510 CIRCA	181

12.2.1	Sondaggi.....	181
12.2.2	Assetto geologico	181
12.2.3	Assetto geomorfologico	182
12.2.4	Assetto idrogeologico.....	182
12.2.5	Criticità principali	182
12.3	TRATTA ALL'APERTO, PK 2+510 ÷ 8+011 CIRCA	182
12.3.1	Sondaggi.....	182
12.3.2	Assetto geologico	183
12.3.3	Assetto geomorfologico	183
12.3.4	Assetto idrogeologico.....	183
12.3.5	Criticità principali	184
12.4	GN01 - IMBOCCO OVEST	184
12.4.1	Sondaggi.....	184
12.4.2	Assetto geologico	184
12.4.3	Assetto geomorfologico	184
12.4.4	Assetto idrogeologico.....	185
12.4.5	Criticità principali	185
12.5	GN01 - GALLERIA NATURALE SANTA CATENA	185
12.5.1	Sondaggi.....	185
12.5.2	Assetto geologico	185
12.5.3	Assetto geomorfologico	186
12.5.4	Assetto idrogeologico.....	186
12.5.5	Criticità principali	186
12.6	GN01 - IMBOCCO EST	187
12.6.1	Sondaggi.....	187
12.6.2	Assetto geologico	187
12.6.3	Assetto geomorfologico	187
12.6.4	Assetto idrogeologico.....	187
12.6.5	Criticità principali	187
12.7	TRATTA ALL'APERTO, PK 15+866 ÷ 28+086 CIRCA	188
12.7.1	Sondaggi.....	188
12.7.2	Assetto geologico	188

12.7.3	Assetto geomorfologico	189
12.7.4	Assetto idrogeologico.....	189
12.7.5	Criticità principali	190
12.8	GN02 - IMBOCCO OVEST	190
12.8.1	Sondaggi.....	190
12.8.2	Assetto geologico	190
12.8.3	Assetto geomorfologico	190
12.8.4	Assetto idrogeologico.....	190
12.8.5	Criticità principali	191
12.9	GN02 - GALLERIA NATURALE NUOVA MARIANOPOLI	191
12.9.1	Sondaggi.....	191
12.9.2	Assetto geologico	191
12.9.3	Assetto geomorfologico	193
12.9.4	Assetto idrogeologico.....	193
12.9.5	Criticità principali	195
12.10	GN02 - IMBOCCO EST	196
12.10.1	Sondaggi.....	196
12.10.2	Assetto geologico	196
12.10.3	Assetto geomorfologico	196
12.10.4	Assetto idrogeologico.....	197
12.10.5	Criticità principali	197
12.11	TRATTA ALL'APERTO, PK 34+706 ÷ 35+246	197
12.11.1	Sondaggi.....	197
12.11.2	Assetto geologico	197
12.11.3	Assetto geomorfologico	198
12.11.4	Assetto idrogeologico.....	198
12.11.5	Criticità principali	199
12.12	GN03 - IMBOCCO OVEST	199
12.12.1	Sondaggi.....	199
12.12.2	Assetto geologico	199
12.12.3	Assetto geomorfologico	199
12.12.4	Assetto idrogeologico.....	200

12.12.5	Criticità principali	200
12.13	GN03 - GALLERIA NATURALE E GALLERIA ARTIFICIALE TRABONA.	200
12.13.1	Sondaggi.....	200
12.13.2	Assetto geologico	200
12.13.3	Assetto idrogeologico.....	202
12.13.4	Criticità principali	203
12.14	FINESTRA TRABONA	203
12.14.1	Sondaggi.....	203
12.14.2	Assetto geologico	203
12.14.3	Assetto idrogeologico.....	204
12.14.4	Criticità principali	204
12.15	GN03 - IMBOCCO EST / GN04 - IMBOCCO OVEST	204
12.15.1	Sondaggi.....	204
12.15.2	Assetto geologico	205
12.15.3	Assetto geomorfologico	205
12.15.4	Assetto idrogeologico.....	205
12.15.5	Criticità principali	206
12.16	GN04 - GALLERIA NATURALE SALITO 1	206
12.16.1	Sondaggi.....	206
12.16.2	Assetto geologico	206
12.16.3	Assetto geomorfologico	207
12.16.4	Assetto idrogeologico.....	207
12.16.5	Criticità principali	207
12.17	GN04 - IMBOCCO EST	208
12.17.1	Sondaggi.....	208
12.17.2	Assetto geologico	208
12.17.3	Assetto geomorfologico	208
12.17.4	Assetto idrogeologico.....	209
12.17.5	Criticità principali	209
12.18	TRATTA ALL'APERTO, PK 37+413 ÷ 38+192	209
12.18.1	Sondaggi.....	209
12.18.2	Assetto geomorfologico	210

12.18.3	Assetto idrogeologico.....	210
12.18.4	Principali criticità.....	210
12.19	GN05 - IMBOCCO OVEST	210
12.19.1	Sondaggi.....	210
12.19.2	Assetto geologico	210
12.19.3	Assetto geomorfologico	211
12.19.4	Assetto idrogeologico.....	211
12.19.5	Principali criticità.....	211
12.20	GN05 - GALLERIA NATURALE SALITO 2	211
12.20.1	Sondaggi.....	212
12.20.2	Assetto geologico	212
12.20.3	Assetto geomorfologico	212
12.20.4	Assetto idrogeologico.....	213
12.20.5	Principali criticità.....	213
12.21	GN05 - IMBOCCO EST	213
12.21.1	Sondaggi.....	214
12.21.2	Assetto geologico	214
12.21.3	Assetto geomorfologico	214
12.21.4	Assetto idrogeologico.....	214
12.21.5	Principali criticità.....	214
12.22	TRATTA ALL'APERTO PK 39+119 ÷ 42+505	214
12.22.1	Sondaggi.....	215
12.22.2	Assetto geologico	215
12.22.3	Assetto geomorfologico	215
12.22.4	Assetto idrogeologico.....	216
12.22.5	Principali criticità.....	217
12.23	GN06 - IMBOCCO OVEST	217
12.23.1	Sondaggi.....	217
12.23.2	Assetto geologico	217
12.23.3	Assetto geomorfologico	218
12.23.4	Assetto idrogeologico.....	218
12.23.5	Principali criticità.....	219

12.24	GN06 - GALLERIA NATURALE MASAREDDU	219
12.24.1	Sondaggi.....	219
12.24.2	Assetto geologico	219
12.24.3	Assetto geomorfologico	220
12.24.4	Assetto idrogeologico.....	220
12.24.5	Principali criticità.....	220
12.25	GN06 - IMBOCCO EST	220
12.25.1	Sondaggi.....	221
12.25.2	Assetto geologico	221
12.25.3	Assetto geomorfologico	221
12.25.4	Assetto idrogeologico.....	221
12.25.5	Principali criticità.....	221
12.26	FINESTRA MASAREDDU	221
12.26.1	Sondaggi.....	221
12.26.2	Assetto geologico	222
12.26.3	Assetto geomorfologico	222
12.26.4	Assetto idrogeologico.....	222
12.26.5	Principali criticità.....	222
12.27	TRATTA ALL'APERTO, PK 43+829 ÷ 44+224	222
12.27.1	Sondaggi.....	223
12.27.2	Assetto geologico	223
12.27.3	Assetto geomorfologico	223
12.27.4	Assetto idrogeologico.....	224
12.27.5	Principali criticità.....	224
12.28	GN07 - IMBOCCO OVEST	224
12.28.1	Sondaggi.....	225
12.28.2	Assetto geologico	225
12.28.3	Assetto geomorfologico	225
12.28.4	Assetto idrogeologico.....	225
12.28.5	Principali criticità.....	225
12.29	GN07 - GALLERIA NATURALE XIRBI	226
12.29.1	Sondaggi.....	226

12.29.2	Assetto geologico	226
12.29.3	Assetto idrogeologico.....	226
12.29.4	Criticità principali	227
12.30	GN07 - IMBOCCO EST	227
12.30.1	Sondaggi.....	227
12.30.2	Assetto geologico	227
12.30.3	Assetto geomorfologico	227
12.30.4	Assetto idrogeologico.....	227
12.30.5	Principali criticità.....	228
12.31	FINESTRA XIRBI.....	228
12.31.1	Sondaggi.....	228
12.31.2	Assetto geologico	228
12.31.3	Assetto geomorfologico	228
12.31.4	Assetto idrogeologico.....	228
12.31.5	Criticità principali	228
12.32	TRATTA ALL'APERTO, PK 46+329 ÷ 46+703 (TERMINE LOTTO).....	229
12.32.1	Sondaggi.....	229
12.32.2	Assetto geologico	229
12.32.3	Assetto geomorfologico	229
12.32.4	Assetto idrogeologico.....	229
12.32.5	Criticità principali	229
13	QUADRO DI SINTESI DELLE CRITICITÀ.....	230
13.1	CRITICITÀ GENERALI.....	230
13.1.1	Caratteristiche litotecniche delle unità del substrato.....	230
13.1.2	Eterogeneità litologica	230
13.1.3	Fenomeni di rigonfiamento	231
13.1.4	Presenza di acquiferi produttivi.....	231
13.1.5	Carsismo e fenomeni di dissoluzione.....	231
13.1.6	Presenza di gas.....	232
13.1.7	Aggressività chimica delle acque	232
13.2	SINTESI DELLE CRITICITÀ.....	233
14	AFFIDABILITÀ DEL MODELLO GEOLOGICO PER LE GALLERIE PRINCIPALI	235

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	11 di 257

14.1	PRINCIPI ALLA BASE DEL METODO GMR	235
14.2	CONSIDERAZIONI GENERALI SUI RISULTATI DELLE VALUTAZIONI	236
14.3	RISULTATI DELLE VALUTAZIONI	239
14.3.1	GN01 – Galleria Santa Catena.....	239
14.3.2	GN02 – Galleria Nuova Marianopoli	240
14.3.3	GN03 – Galleria Trabona.....	241
14.3.4	GN04 – Galleria Salito 1	242
14.3.5	GN05 – Galleria Salito 2	242
14.3.6	GN06 – Galleria Masareddu.....	242
14.3.7	GN07 – Galleria Xirbi.....	243
14.3.8	GN01 – Galleria Montestretto.....	244
14.3.9	GN02 – Galleria Salso.....	246
14.3.10	GN03 – Galleria Trinacria	247
15	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	249

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Corografia dell'area di studio con individuazione della tratta ferroviaria in progetto.....	19
Figura 2 – Domini strutturali nel Mediterraneo centrale (da Lentini et al. 1995, modificato).	31
Figura 3 – Schema tettonico della Sicilia (da Bosellini, 2005).	33
Figura 4 – Schema tettonico della Sicilia (da https://www.liceolussana.org/Sicilia19/2019/03/15/geografia-di-pantalica/). ...	33
Figura 5 – Schema dell'assetto paleogeografico riferito al Giurassico superiore, da cui evolverà successivamente la catena appenninica centro-meridionale (Lentini et al., 2004).	35
Figura 6 – Profilo schematico mostrante l'architettura strutturale dell'orogene siciliano (modificato da Finetti et al., 2015). ...	37
Figura 7 – Ricostruzione palinspastica della Tetide centrale nel Giurassico (da Scandone et al. 1974, modificato; rappresentazione alternativa e di maggior dettaglio rispetto a quella di Figura 5).....	40
Figura 8 - Areale di affioramento delle Unità Sicilidi s.l. (Lentini & Carbone, 2014).	41
Figura 9 – Schema rappresentativo della deposizione fluvio- deltizia della formazione Terravecchia (Grasso & Butler, 1991). ..	45
Figura 10 - A) Il modello classico di Decima & Wiesel (1971) della successione del Messiniano siciliano e della sua presunta correlazione con i bacini mediterranei profondi (“Trilogia Evaporitica”). B) il modello di Butler et al. (1995); l'unità inferiore registra un progressivo abbassamento del livello marino (regressione forzata) mentre l'unità superiore mostra un trend complessivamente trasgressivo, legato al graduale riempimento del Mediterraneo successivo al picco di prosciugamento (da Roveri et al., 2008).	49
Figura 11 - Sezione geologica schematica dei bacini di avanfossa e avampaese siciliani con una ricostruzione delle relazioni stratigrafiche (Roveri et al., 2008).M/P: limite Miocene/Pliocene; MES: superficie erosionale messiniana.	50

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. C	FOGLIO 12 di 257
---	-------------------------	--------------------	----------------------------	---------------------------------	------------------	----------------------------

Figura 12 - Schema della distribuzione dei diversi tipi di tessiture e associazioni sedimentarie all'interno della formazione di Cattolica (Maniscalco et al., 2010).	52
Figura 13 - Caratteristiche della sedimentazione nella formazione di Pasquasia affiorante nel bacino sintettonico di Corvillo, a N di Caltanissetta (Maniscalco et al., 2010). Il Calcare di Base del Messiniano inferiore (tratteggio obliquo) è inciso da una superficie di erosione subaerea intramessiniana. a: conglomerati fluviali e di fan-delta; b: argille sterili; c: intercalazioni gessarenitiche di delta; d: corpi gessosi lenticolari.	54
Figura 14 – Carta strutturale della Sicilia	56
Figura 15 – Ricostruzione schematica della Catena Appenninico-Maghrebide (da Finetti et al. 2005, modificato da Figura 2).	59
Figura 16 – Schema tettonico della Sicilia e delle aree adiacenti con la ricostruzione dei principali sistemi di thrust e faglie trascorrenti (Finetti et al., 2005).	60
Figura 17 – Schema tettonico del Foglio 631 Caltanissetta (ISPRA, 2014).	61
Figura 18 - Colonna stratigrafica dell'area del bacino di Caltanissetta (Maniscalco et al., 2010), estrapolabile al settore di studio. Si noti che le sigle TRVa e TRVb indicate in figura e relative alla formazione Terravecchia, non corrispondono ai codici utilizzati nelle carte e nei profili di progetto, che sono TRV e TRVa rispettivamente; la sottounità TRVc non affiora nell'area di studio.	62
Figura 19 – Affioramento della litofacies argilloso-marnosa della formazione Terravecchia (TRV), in contrada Giumentarello nel comune di Enna.	67
Figura 20 – Affioramento della litofacies arenaceo-conglomeratica della formazione Terravecchia (TRVa), in località Castellana (S.S. 121 incrocio S.P. 112).	68
Figura 21 - Gesso selenitico della formazione di Cattolica (GTL2), versante NE del Monte Stretto (Enna).	70
Figura 22 - Affioramento della litofacies marnoso-calcareo dei Trubi, versante NE del Monte Stretto (Enna).	73
Figura 23 - Calcareniti bioclastiche a resti di pettinidi, versante occidentale della Rocca di Enna.	74
Figura 24 - Litofacies sabbiosa della formazione di Enna (ENNb), ai margini dell'omonimo centro abitato.	75
Figura 25 - Faglia alla mesoscala affiorante lungo la S.P. di Marianopoli, caratterizzata da strie (groove) subparallele al piano principale (Faglia F5). La faglia è una struttura minore, probabilmente associata a un rigetto di per sé irrilevante, che si ritiene faccia parte dello sciame associato a una struttura maggiore.	81
Figura 26 - Esempio di rimodellamento antropico di un dissesto recente (frana composita, rotazionale + colamento) localizzata fuori dall'area rilevata. A: situazione ad agosto 2019; B: la stessa frana a ottobre 2019, dopo l'aratura. Il terreno viene progressivamente riportato in posto per non perdere l'estensione coltivabile e nel giro di due anni si perde gran parte dell'evidenza del dissesto.	87
Figura 27. Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nelle Argille Variegate (AV) e nei Flysch di Nicosia (FYN4) nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).	114
Figura 28 - Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nella formazione di Terravecchia (TRV e TRVa) nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).	115
Figura 29 - Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nella formazione di Cattolica (GTL1, GTL2 e GTL3) nell'ambito del	

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. C	FOGLIO 13 di 257
---	-------------------------	--------------------	----------------------------	---------------------------------	------------------	----------------------------

Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).....	115
Figura 30 - Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nelle tre formazioni Tripoli (TPL), Pasquasia (GPQ) e Trubi (TRBa) nell'ambito del Progetto Definitivo.....	116
Figura 31 - Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nei depositi alluvionali (a2 e a3) e nel detrito di versante nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).....	116
Figura 32. Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nei complessi idrogeologici CAM e CCA nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).....	118
Figura 33. Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nei complessi idrogeologici CGM e CCM nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).....	120
Figura 34. Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nel complesso idrogeologico CSL nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).	122
Figura 35 - Schema concettuale degli effetti di drenaggio di un tunnel.	131
Figura 36 - Schema concettuale per il calcolo delle portate stabilizzate con la formula proposta da Ribacchi et al. (2002).	134
Figura 37 - Coefficienti di infiltrazione (Civita, 2014).	138
Figura 38 - Porosità totale ed efficace definita per i diversi litotipi (Civita, 2014).	139
Figura 39 – Carta geologico-strutturale della Sicilia (modificata da Catalano et al. 2013); in rosso è indicato il tracciato di progetto per la sezione riguardante i Lotti 3 e 4a.	147
Figura 40 – Carta strutturale della Sicilia, dal foglio n. 6 del Modello Strutturale d'Italia 1:500'000 (Bigi et al., 1991, integrato da Lavecchia et al., 2007). In rosso il tracciato di progetto (Lotti 3 e 4a).	149
Figura 41 – Principali domini sismogenetici della Sicilia, con evidenziati gli stili deformativi dominanti (diagrammi dei meccanismi focali; i quadranti in compressione sono indicati in nero, quelli estensionali in bianco) e i principali contatti tettonici regionali. Le lettere indicano i vari domini descritti nel testo; in rosso è evidenziato il tracciato di progetto (Lotti 3 e 4a).	150
Figura 42 – Schema sismogenetico del dominio della Sicilia centrale (SBT) con distribuzione dei meccanismi focali dei terremoti. La sezione presenta un'interpretazione degli elementi strutturali e della possibile posizione degli ipocentri dei terremoti, suddivisi sulla base della loro cinematica. TF, piani a basso angolo; TS, piani a basso angolo con movimenti di trascorrenza; SS, strike-slip; NF, faglie normali; NS, faglie trascorrenti; UK, cinematismo sconosciuto; OEF, fronti estensionali esterni (Sgroi et al., 2012). Nei diagrammi polari il bianco indica i quadranti in estensione, il colore pieno quelli in compressione.	151
Figura 43 – Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 dell'area di studio, con indicazione del tracciato di progetto (Lotti 3 e 4a).	152
Figura 44 – Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti nell'area di studio (ITHACA - Italy Hazard from Capable faults). In rosso le faglie sismogeniche e/o c apaci, in giallo il tracciato dei lotti 3 e 4a.	154
Figura 45 – Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti con M>5.5 nell'area di studio (DISS 2019, Database of Individual Seismogenic Sources).	154

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. C	FOGLIO 14 di 257
---	-------------------------	--------------------	----------------------------	---------------------------------	------------------	----------------------------

<i>Figura 46 – Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti nell’area di studio (EDSF - European Database of Seismogenic Faults). In grigio le faglie sismogenetiche e/o capaci.....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 47 – Localizzazione (quadrato nero) dell’evento sismico del 361 d.C. (DBMI14; Boschi et al., 1997).</i>	<i>160</i>
<i>Figura 48 – Distribuzione degli epicentri dei terremoti relativi al periodo 01/01/1985-30/11/2019, situati in un raggio di 25-35 km circa dalla tratta principale del Lotto 3, per magnitudo $\geq 0,1$ e originatisi a profondità comprese tra 0 e 1’000 km, estrapolati dalla banca dati ISIDe. La linea rossa rappresenta la tratta in esame (Lotto 3).</i>	<i>176</i>
<i>Figura 49 – Grafico della distribuzione della profondità degli ipocentri dei terremoti registrati per il periodo temporale 1985-2019, in corrispondenza dell’area di indagine.</i>	<i>177</i>
<i>Figura 50 – Distribuzione della magnitudo dei terremoti registrati per il periodo temporale 1985-2019, in corrispondenza dell’area di indagine.</i>	<i>177</i>
<i>Figura 51 – Relazione magnitudo/profondità dei terremoti strumentali registrati nel periodo 1985-2019, in corrispondenza dell’area di indagine. In rosso sono evidenziate le profondità per le quali si verifica un brusco calo del numero di eventi sismici registrati.</i>	<i>178</i>
<i>Figura 52 – Stralcio della carta strutturale della Sicilia di Figura 40, con indicati gli eventi sismici categorizzati in base alle classi di profondità degli ipocentri (verde: 0-14 km; giallo: 14-40 km; arancione: > 40 km). In trasparenza, in verde il settore delle Madonie e in arancione il bacino di Caltanissetta. In rosso il tracciato dell’opera (lotti 3 e 4a).</i>	<i>179</i>
<i>Figura 53 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN01 Santa Catena. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.</i>	<i>239</i>
<i>Figura 54 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN02 Nuova Marianopoli. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.</i>	<i>240</i>
<i>Figura 55 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN03 Trabona. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.</i>	<i>241</i>
<i>Figura 56 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN06 Masareddu. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.</i>	<i>243</i>
<i>Figura 57 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN06 Masareddu. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.</i>	<i>244</i>
<i>Figura 58 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN01 Montestretto. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.</i>	<i>245</i>
<i>Figura 59 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN01 Salso. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.</i>	<i>246</i>
<i>Figura 60 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN03 Trinacria. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.</i>	<i>247</i>

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. C	FOGLIO 15 di 257
---	-------------------------	--------------------	----------------------------	---------------------------------	------------------	----------------------------

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 - Indagini geognostiche in sito Italferr 2013</i>	23
<i>Tabella 2 - Quadro di sintesi della campagna geognostica Italferr 2013</i>	24
<i>Tabella 3 - Sondaggi a carotaggio continuo realizzati nella fase di PP (Italferr 2018)</i>	24
<i>Tabella 4 - Quadro di sintesi della campagna geognostica Italferr 2018</i>	25
<i>Tabella 5 - Prove di permeabilità di tipo Lefranc realizzate nella campagna geognostica Italferr 2018</i>	98
<i>Tabella 6 - Prove di permeabilità di tipo Lefranc realizzate nella campagna geognostica Italferr 2013</i>	98
<i>Tabella 7 – Caratteristiche dei piezometri installati nell’ambito della campagna geognostica Italferr 2018 e letture di soggiacenza</i>	99
<i>Tabella 8 – Caratteristiche dei piezometri installati nell’ambito della campagna geognostica Italferr 2013 e letture di soggiacenza</i>	99
<i>Tabella 9 - Prove di permeabilità realizzate nella campagna geognostica Italferr 2019</i>	100
<i>Tabella 10 – Caratteristiche dei piezometri installati nell’ambito della campagna geognostica 2019</i>	105
<i>Tabella 11 – Letture di soggiacenza nei piezometri della campagna Italferr 2019-2020. In grigio sono indicate le letture eseguite qualche giorno dopo le operazioni di spurgo, laddove effettuate</i>	109
<i>Tabella 12 – Letture di soggiacenza eseguite nel 2020 sui piezometri della campagna Italferr 2018</i>	112
<i>Tabella 13 – Letture di soggiacenza eseguite nei piezometri della galleria GN02</i>	125
<i>Tabella 14 – dati di piovosità annua media</i>	136
<i>Tabella 15 – calcolo dell’evapotraspirazione, relativa al 2005</i>	137
<i>Tabella 16 – Valori del coefficiente di infiltrazione stimato per le unità geologiche nell’area di progetto. Il dato è adimensionale</i>	138
<i>Tabella 17 – valori del coefficiente di permeabilità delle unità geologiche nell’area di progetto utilizzati per la stima delle portate delle venute in galleria. Il dato è in m/s</i>	139
<i>Tabella 18 – valori della porosità efficace delle unità geologiche nell’area di progetto utilizzati per la stima delle portate delle venute in galleria. Il dato è adimensionale</i>	139
<i>Tabella 19 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN01 Santa Catena</i>	140
<i>Tabella 20 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN02 Marianopoli. In grassetto i valori utilizzati per le tratte dove si ipotizza la presenza di falda in pressione (si veda il testo per i dettagli)</i>	141
<i>Tabella 21 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN03 Trabona</i>	142
<i>Tabella 22 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN04 Salito 1</i>	143
<i>Tabella 23 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN05 Salito 2</i>	144
<i>Tabella 24 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN06 Masareddu</i>	144
<i>Tabella 25 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN07 Xirbi</i>	145
<i>Tabella 26 – Quadro riassuntivo delle sorgenti sismogenetiche composite Sciacca-Gela (DISS-ID ITCS006) e Gela-Catania (DISS-</i>	

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. C	FOGLIO 16 di 257
---	-------------------------	--------------------	----------------------------	---------------------------------	------------------	----------------------------

ID ITCS029)	156
<i>Tabella 27 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Alia (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	161
<i>Tabella 28 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Caltanissetta (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	162
<i>Tabella 29 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Castronuovo di Sicilia (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	163
<i>Tabella 30 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Lercara (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	164
<i>Tabella 31 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Marianopoli (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	165
<i>Tabella 32 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Mussomeli (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	166
<i>Tabella 33 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Petralia Sottana (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	167
<i>Tabella 34 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Polizzi Generosa (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	168
<i>Tabella 35 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Resuttano (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	169
<i>Tabella 36 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di San Cataldo (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	170
<i>Tabella 37 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Sclafani Bagni (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; lo: intensità massima; Mw: magnitudo momento.</i>	171
<i>Tabella 38 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Vallelunga Pratameno (da</i>	

Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni

macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.172

Tabella 39 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Villalba (da Database

Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del

terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.173

Tabella 40 – Tabella schematica delle aree epicentrali dei terremoti in funzione dell'anno di registrazione e del comune di

riferimento. I colori fanno riferimento ai principali comparti geologico-strutturali individuati (azzurro: arco calabro;

rosa: piattaforma iblea; verde: Monti Nebrodi/Sicilia settentrionale; giallo: Sicilia centro-occidentale/Piana di

Catania).175

Tabella 41 - Significato dell'indice GMR (Perello, 2011).235

Tabella 42 - valutazione della qualità delle indagini dirette (Perello, 2011).237

Tabella 43 - Valutazione della qualità dei rilevamenti di superficie (Perello, 2011).238

Tabella 44 - Valutazione della qualità delle indagini geofisiche (Perello, 2011).238

1 PREMESSA

Questo rapporto presenta i risultati degli studi geologici, geomorfologici, idrogeologici e sulla sismicità eseguiti nell'ambito del progetto definitivo del raddoppio della linea ferroviaria Palermo-Catania, Lotto 3 Lercara-Caltanissetta Xirbi. Il tracciato in progetto è lungo circa 46.7 km e comprende sette gallerie naturali.

In Figura 1 è riportato lo sviluppo del tracciato in progetto; la Pk 0+000 è ubicata in corrispondenza della nuova stazione di Lercara, mentre il termine della tratta (Pk km 46+703) è ubicato presso la stazione di Caltanissetta Xirbi.

Lo studio si è basato su rilievi geologici e geomorfologici di terreno e sull'interpretazione dei risultati della campagna di indagini geognostiche realizzata nel 2019 nell'ambito del progetto definitivo. Sono inoltre state analizzate e integrate nel modello geologico le indagini eseguite nell'ambito del progetto preliminare. Le interpretazioni contenute nel presente lavoro si appoggiano inoltre su una base dati bibliografica comprendente sia pubblicazioni scientifiche sia materiale cartografico, di cui è dato un elenco completo nel capitolo 15.

I rilievi geologici di terreno sono stati eseguiti nell'estate-autunno 2019 e hanno riguardato sia la revisione della cartografia geologica del progetto preliminare, sia lo studio di dettaglio delle zone di imbocco delle gallerie, delle finestre e della viabilità complementare, nonché delle tratte all'aperto, con particolare attenzione alle potenziali interferenze tra le opere e la dinamica fluviale e di versante.

Pur se oggetto di revisione, localmente anche integrale, in relazione alla disponibilità di nuove indagini, il progetto preliminare (nel seguito per brevità PP) ha costituito comunque una base di partenza per la costruzione del modello geologico di riferimento progettuale. Alcune parti derivate dal PP sono quindi state mantenute invariate nel presente rapporto, in quanto validate dagli studi eseguiti, in particolare per quanto riguarda la descrizione delle unità affioranti sul terreno.

Ai rilievi in sito si è affiancata una revisione dello studio aereofotogrammetrico eseguito nel PP, supportata dall'analisi del modello digitale del terreno a maglia 2 m della Regione Sicilia derivato dal volo LIDAR ATA 2007-2008.

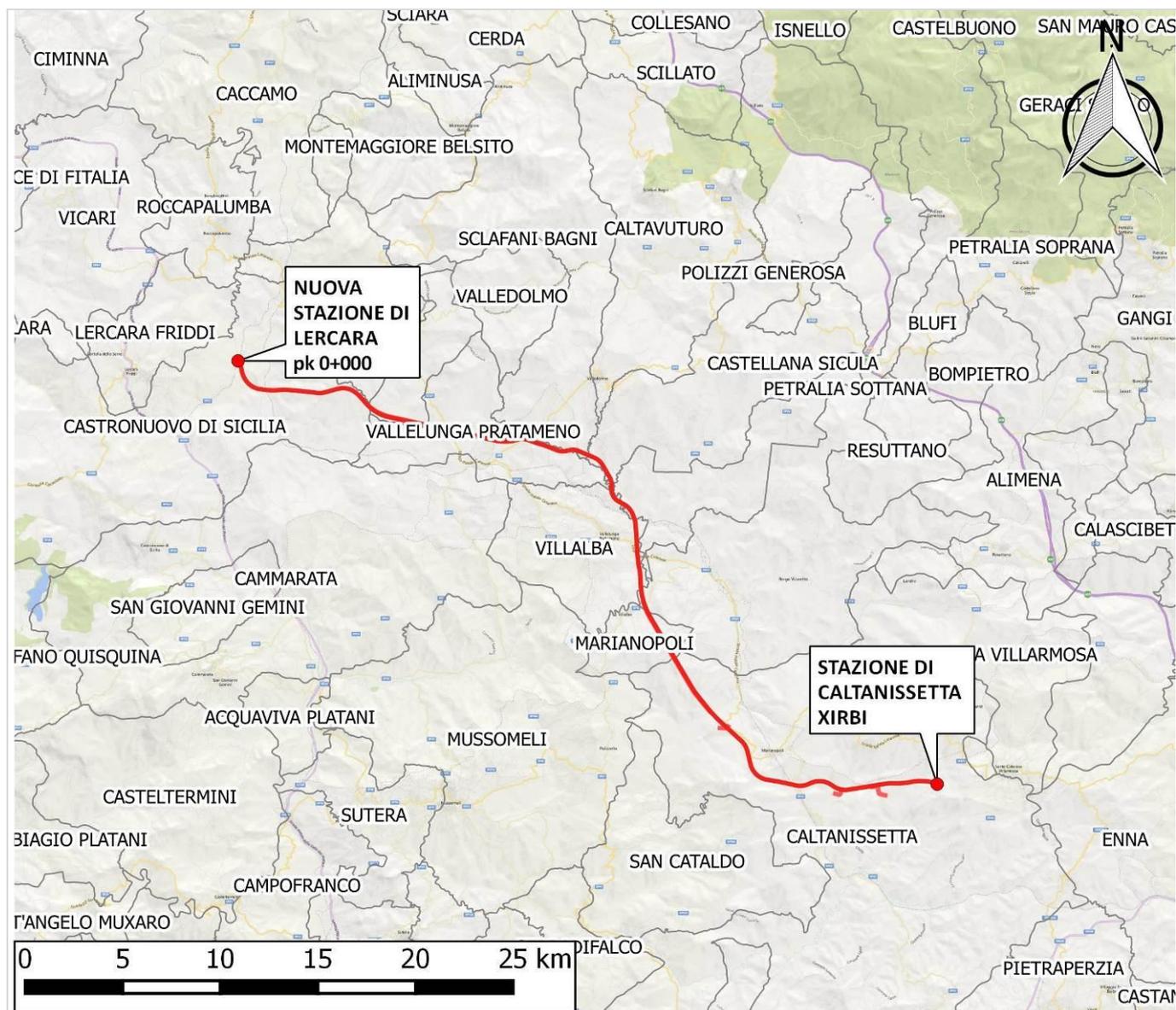


Figura 1 - Corografia dell'area di studio con individuazione della tratta ferroviaria in progetto.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio si colloca nella porzione centrale della regione Sicilia, tra le province di Palermo e Caltanissetta. In particolare, il tracciato ferroviario di progetto si sviluppa tra l'abitato di Lercara, comune di Castronuovo di Sicilia (PA) e l'abitato di Caltanissetta. I comuni attraversati dall'opera sono, in provincia di Palermo: Castronuovo di Sicilia, Sclafani Bagni, Vallelunga Pratameno, Polizzi Generosa, Castellana Sicula, Petralia Sottana; in provincia di Caltanissetta: Marianopoli, Villalba, Caltanissetta (cfr. Figura 1).

La lunghezza complessiva del tracciato in progetto è di circa 46.7 km, dei quali circa 20 in sotterraneo, è infatti prevista la realizzazione di sette gallerie naturali, in particolare GN01 (circa 7802 m), GN02 (circa 6536 m), GN03 (circa 1350 m), GN04 (circa 276 m), GN05 (circa 827 m), GN06 (circa 1225 m) e GN07 (circa 1974 m).

È prevista inoltre la realizzazione di tre finestre per le gallerie naturali GN03, GN06 e GN07.

L'area interessata dallo sviluppo del tracciato si colloca a cavallo dei fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100'000 nr. 259 (Termini Imerese), 267 (Canicattì) e 268 (Caltanissetta).

Per quanto riguarda le basi topografiche disponibili l'area è rappresentata nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10'000, dagli elementi 620080, 621050, 621060, 621070, 621100, 621110, 621150, 621160, 630030, 630040, 630080, 631010 e 631050. Per quanto concerne la Carta Topografica d'Italia alla scala 1:25'000 (IGM), l'area è rappresentata nelle Tavole 259-III-SE (Lercara Friddi), 259-II-SO (Valledolmo), 259-II-SE (Vallelunga Pratameno), 267-I-NE (Villalba), 267-I-SE (Monte Mimiani) e 268-IV-SO (Xirbi).

Ai fini del completamento del Progetto Definitivo l'area è stata ricartografata nel 2019 mediante un volo LIDAR che ha coperto un corridoio di 500 m di lato rispetto al tracciato di progetto; tale base è stata utilizzata come topografia di riferimento per i rilievi geologici, per la localizzazione delle indagini geognostiche e per la redazione dei profili di progetto, costituendo quindi a tutti gli effetti la base topografica di riferimento progettuale.

Il tracciato di progetto si sviluppa attraverso settori del territorio la cui quota varia da un minimo di circa 280 m a un massimo di circa 820 m; la livelletta di progetto si colloca a quote comprese tra circa 300 m s.l.m. e circa 485 m.

Dal punto di vista morfologico il territorio è caratterizzato da una morfologia collinare piuttosto dolce nel settore occidentale e centrale, dominati da formazioni geologico a prevalente componente pelitica, che va progressivamente inasprendosi verso est, dove compaiono alcuni rilievi più pronunciati, impostati in litotipi prevalentemente calcarei e calcarenitici, tra i quali quelli su cui sorgono gli abitati di Marianopoli e Caltanissetta.

I principali corsi d'acqua sono rappresentati dal fiume Torto, che attraversa il settore nord-occidentale con un corso di direzione E-W, i torrenti Celso e Belici, che attraversano il tratto centrale del tracciato in direzione rispettivamente NW-SE e N-S, infine la parte finale del tracciato è attraversata dal fiume Salito che si sviluppa in direzione E-W. Il reticolo idrografico secondario è costituito da una fitta rete di corsi d'acqua a carattere generalmente stagionale e/o torrentizio, che intersecano in diversi punti il tracciato ferroviario.

3 DATI DI BASE

La base documentale del presente studio è costituita principalmente dagli elaborati del Progetto Preliminare della Linea Palermo-Catania, Lotto 3, e in particolare dalla “Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica” allegata al progetto, oltre che dalla documentazione in essa citata.

La cartografia geologica del Progetto Preliminare è stata revisionata e aggiornata sulla base dei nuovi rilievi di terreno e delle indagini geognostiche della campagna 2019, verificando gli elementi geologici (limiti delle formazioni, caratteristiche litostratigrafiche del substrato, stratigrafia dei depositi quaternari), strutturali (presenza e caratteristiche di faglie e sovrascorrimenti visibili) e geomorfologici (stato dei versanti, dissesti in atto e pregressi, dinamica fluviale).

Per quanto concerne i fenomeni franosi cartografati nell’ambito del Progetto Preliminare del tracciato del Lotto 3 e nei documenti del P.A.I. Regione Sicilia, si è provveduto a verificare e validare i diversi fenomeni e a eseguire modifiche e/o integrazioni puntuali inerenti la loro perimetrazione e caratterizzazione geomorfologica.

Le indagini geognostiche pregresse (campagne 2013 e 2018) o appositamente realizzate nell’ambito del presente studio (campagna 2019) consentono di supportare adeguatamente i dati derivati dai rilievi geologici di terreno, definendo un quadro di conoscenze adeguato in relazione alla specifica fase progettuale oggetto del presente rapporto, per quanto riguarda l’assetto litostratigrafico, geologico-strutturale, geomorfologico e idrogeologico dell’area interessata dal progetto.

3.1 Attività di rilevamento geologico geomorfologico

Il rilevamento di terreno svolto nel 2019 ha avuto lo scopo di verificare in dettaglio l’assetto geologico-geomorfologico delle zone attraversate dalla linea ferroviaria, il cui tracciato è stato individuato in sede di PP con il preciso obiettivo di privilegiare le zone meno critiche dal punto di vista geomorfologico, evitando le aree interessate da dissesti importanti.

L’analisi dei singoli dissesti si è basata su un rilievo geomorfologico di dettaglio volto a individuare tutti gli elementi necessari alla comprensione dei fenomeni (meccanismo, stato di attività, estensione areale e in profondità), supportato dall’analisi dei dati delle indagini realizzate nella campagna 2019, in

particolare sondaggi a carotaggio continuo, inclinometri, prove down-hole e stendimenti sismici (MASW e linee a rifrazione).

È stato quindi possibile abbinare alle informazioni del rilevamento geologico anche dati di profondità di tipo quantitativo.

Nel corso dei rilievi di terreno sono stati effettuati diversi stop geologici finalizzati all'aggiornamento e alla verifica della cartografia geologica dell'area. Per l'ubicazione degli stop geologici e una sintesi descrittiva si rimanda alle tavole della carta geologico-geomorfologica e alle schede di rilevamento allegate.

3.2 Indagini in sito

3.2.1 Indagini precedenti – Italferr 2013

Nel 2013 è stata eseguita una prima campagna geognostica nella parte iniziale del tracciato, fino alla pk 27+000. Nella tabella seguente si riportano le coordinate e la quota dei sondaggi eseguiti. Per l'ubicazione planimetrica delle indagini geognostiche si rimanda alla cartografia geologica e geomorfologica allegata al presente studio.

Sondaggio	Sistema di coordinate: Gauss Boaga Fuso 33		
	nord	est	elevazione
S1	4175390.540	2404500.182	430.00
S2	4175242.671	2407149.426	453.50
S3	4174709.700	2408806.700	475.00
S4	4165295.900	2422810.700	340.00

Tabella 1 - Indagini geognostiche in sito Italferr 2013

Nell'ambito di questa campagna geognostica sono stati realizzati 4 sondaggi a carotaggio continuo, con prove in foro SPT, prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati e installazione di tubi piezometrici a tubo aperto tipo Norton. Nella tabella seguente si riporta il quadro di sintesi della campagna geognostica Italferr 2013.

Sondaggio	Prof.	Metodo	Campioni Prelevati		Prove in foro	Strumentazione installata
			Ind.	Rim.		
N	m					
S1	30.00	Carotaggio C.	2	5	N° 2 Prove di Permeabilità	Piezometro a tubo aperto
S2	30.00	Carotaggio C.	3	3	N° 1 Prova di Permeabilità	Piezometro a tubo aperto
S3	30.00	Carotaggio C.	3	3	N° 1 Prova di Permeabilità	Piezometro a tubo aperto
S4	30.00	Carotaggio C.	3	1	N° 1 Prova di Permeabilità	Piezometro a tubo aperto

Tabella 2 - Quadro di sintesi della campagna geognostica Italferr 2013

3.2.2 Indagini precedenti – Italferr 2018

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche del 2018, eseguita a supporto del Progetto Preliminare, sono stati eseguiti 14 sondaggi a carotaggio continuo, la cui posizione è riportata in Tabella 3. Per l'ubicazione planimetrica si rimanda alla cartografia allegata al presente studio.

Nome	Sistema di coordinate: Gauss-Boaga Fuso 33		
	nord	est	elevazione
3S01	4172341,926	2415400,735	515,100
3S02	4172459,504	2416793,817	490,018
3S03	4169277,633	2422075,863	374,039
3S04	4164678,909	2422790,570	339,740
3S05	4163501,761	2423328,106	417,314
3S06	4158657,225	2426355,280	381,749
3S07	4157334,303	2427655,430	405,738
3S08	4156227,365	2427550,063	281,830
3S09	4155300,027	2428846,200	321,659
3S10	4154891,864	2431637,808	318,449
3S11	4154605,416	2435079,253	470,397
3S12	4154677,728	2436011,746	407,518
3S13	4156076,582	2428455,249	289,229
3S14	4171944,099	2420000,235	419,934

Tabella 3 - Sondaggi a carotaggio continuo realizzati nella fase di PP (Italferr 2018).

Sondaggio	Prof.	Diam.	Metodo	Campioni Prelevati		Prove in foro	Strumentazione Installata	Operazioni supplementari svolte durante il carotaggio	
				Ind.	Rim.			Rilievo Gas Metano (m)	Carotaggio ambientale (m)
N	m	mm							
3S01	65.00	101	Carotaggio C.	3	8	N° 2 Prove di Permeabilità N°2 Pressiometriche	Piezometro da 3"	0,0 - 65.0	-
3S02	50.00	101	Carotaggio C.	6	2	N° 2 Prove di Permeabilità N°2 Pressiometriche	Piezometro da 3"	0,0 - 50.0	-
3S03	30.00	101	Carotaggio C.	5	1	N° 9 SPT N° 2 Prove di Permeabilità	Piezometro da 3"	-	0,0 -5.0
3S04	40.00	101	Carotaggio C.	2	3	N° 9 SPT N° 2 Prove di Permeabilità	Piezometro da 3"	-	0,0 -5.0
3S05	75.00	101	Carotaggio C.	4	2	N° 1 Prove di Permeabilità N°2 Pressiometriche	Piezometro da 3"	0,0 - 75.0	-
3S06	78.00	101	Carotaggio C.	4	5	N° 2 Prove di Permeabilità N°2 Pressiometriche	Piezometro da 3"	0,0 - 78.0	-
3S07	85.00	101	Carotaggio C.	5	4	N° 2 Prove di Permeabilità N° 2 Pressiometriche	Piezometro da 3"	0,0 - 85.0	-
3S08	40.00	101	Carotaggio C.	3	3	N° 9 SPT N° 2 Prove di Permeabilità	Piezometro da 3"	-	0,0 -5.0
3S09	35.00	101	Carotaggio C.	4	-	N° 5 SPT, N° 1 Prove di Permeabilità, N° 2 Pressiometriche..	-	0,0 - 35.0	-
3S10	40.00	101	Carotaggio C.	4	1	- N° 9 SPT, N° 2 Prove di Permeabilità	Piezometro da 3"	-	0,0-5.0
3S11	70.00	101	Carotaggio C.	5	4	N° 2 Prove di Permeabilità N°2 Pressiometriche	Piezometro da 3"	0,0 - 70.0	-
3S12	40.00	101	Carotaggio C.	7	1	N° 9 SPT, N° 2 Prove di Permeabilità, N° 2 Pressiometriche..	Piezometro da 3"	0,0 - 40.0	0,0-5.0
3S13	40.00	101	Carotaggio C.	4	-	N° 8 SPT, N° 2 Prove di Permeabilità,	Piezometro da 3"	-	0,0-5.0
3S14	40.00	101	Carotaggio C.	4	-	N° 8 SPT, N° 2 Prove di Permeabilità,	Piezometro da 3"	-	0,0-5.0

Tabella 4 - Quadro di sintesi della campagna geognostica Italferr 2018.

3.2.3 Campagna di indagini 2019-2020

Nell'ambito delle attività di indagine correlate alla progettazione definitiva è stata realizzata una nuova campagna di indagini (2019-2020) comprendente sondaggi a carotaggio continuo, installazione di piezometri e inclinometri, indagini geofisiche di superficie e indagini penetrometriche.

Nei fori di sondaggio sono state eseguite inoltre prove down-hole, prove SPT, prove pressiometriche, e prove di permeabilità tipo Lefranc e Lugeon ed è stato inoltre effettuato il rilievo dei gas in fase di perforazione. Sono stati altresì prelevati campioni rimaneggiati e indisturbati, inviati a laboratorio per prove geotecniche.

Nelle tabelle seguenti è riportato il quadro di sintesi delle indagini eseguite nella campagna 2019-2020, con indicazione per ogni sondaggio della profondità raggiunta, dei campioni prelevati, delle prove in foro eseguite e della strumentazione installata.

LOTTO 3 - SONDAGGI DI LINEA											
ID	Profondità (m)	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove pressiometriche e dilatometriche	Piezometro Norton	Piezometro Casagrande	Piezometro elettrico	Prova Down Hole	MASW	HVSR	Inclinometro
3a-S01	30		1			1			1	1	
3a-S02	40		1			1			1	1	
3a-S03	40		1					1			
3a-SI-01	40		1	1		1					
3a-SI-02	40		1	1		1					
3a-S05	40		1					1			
3a-S06	40		1	1	1				1	1	
3a-S07	40		1		1				1	1	
3a-S08	40		1					1			
3a-S09	40		1	1		1			1	1	
3a-S10	40		1					1			
3a-S10bis	30		1			1			1	1	
3a-S11	40		1					1			
3a-S12	40		1	1		1					
3a-S13	40		1					1			
3a-S14	40		1	1	1				1	1	
3a-S15	40		1			1			1	1	
3a-S17	40		1			1					
3a-S18	40		1			1			1	1	
3a-S19	40		1		1						
3a-S21	40		1			1			1	1	
3a-GN1-S01	30	1	1	1		1					
3a-GN1-S01a	30	1						1			
3a-GN1-S01b	30	1									1
3a-GN1-S04	40	1	1	1	1						
3a-GN1-S05	195	1	1	1		1					
3a-GN1-S06	100	1	1	1	1						
3a-GN1-S07	50	1	1	1	1						
3a-GN1-S08	30	1	1	1	1						
3a-GN1-S08a	30	1						1			
3a-S22	40		1			1			1	1	
3a-S23	30		1			1					
3a-S24	40		1			1			1	1	
3a-S25	40		1	1				1			
3a-S26	40		1		1						
3a-S27	40		1	1				1			
3a-S29	40		1			1			1	1	
3a-S30	40		1	1				1			
3a-S31	30		1			1			1	1	
3a-S32	30		1			1			1	1	
3a-S33	40		1			1			1	1	
3a-S34	40		1			1					
3a-S35	40		1	1				1			
3a-S36	40		1						1	1	1
3a-S36a	18				1						

LOTTO 3 - SONDAGGI DI LINEA											
ID	Profondità (m)	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove pressio-metriche e dilato-metriche	Piezo-metro Norton	Piezo-metro Casagran-de	Piezo-metro elettrico	Prova Down Hole	MASW	HVSR	Inclino-metro
3a-S37	40		1	1				1			
3a-S38	40		1			1			1	1	
3a-SI-05	40		1	1		1					
3a-S39	40		1	1				1			
3a-S40	40		1	1		1				1	
3a-S41	40		1	1				1			
3a-S42	40		1	1		1					
3a-S43	40		1	1				1			
3a-S44	40		1	1		1				1	
3a-S45	30		1	1		1					
3a-S46	30		1	1		1					
3a-S46bis	30								1	1	1
3a-S47	30		1	1				1			
3a-S48	30		1	1		1					
3a-S49	40		1	1		1				1	
3a-S50	40		1					1			
3a-S51	40		1	1							
3a-S52	40		1						1	1	1
3a-S52a	10				1						
3a-S52bis	30		1	1							
3a-GN2-S01	30				1						
3a-GN2-S01a	30							1			
3a-GN2-S01b	30										1
3a-GN2-S02	45		1	1	1						
3a-GN2-S03	255	1	1	1			1				
3a-GN2-S04	275	1	1	1		1					
3a-GN2-S05	225	1	1	1		1					
3a-GN2-S06	200	1	1	1		1					
3a-GN2-S07	105	1	1	1		1					
3a-GN2-S07b	105							1			
3a-GN2-S08	30	1	1	1	1						
3a-GN2-S08a	30										1
3a-GN2-S08b	30							1			
3a-S53	40		1	1		1					
3a-S54	40		1	1		1				1	
3a-S53bis	30		1	1		1					
3a-S55	40		1	1				1			
3a-GN3-S01	30	1	1	1		1					
3a-GN3-S01a	30	1						1			
3a-GN3-S01b	30	1									1
3a-GN3-S02	150	1	1	1		1					
3a-GN3-S03	30	1	1	1	1						
3a-GN3-S04	50		1	1		1					
3a-GN4-S01	30				1						
3a-GN4-S02	30	1	1	1		1					

LOTTO 3 - SONDAGGI DI LINEA											
ID	Profondità (m)	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove pressio-metriche e dilato-metriche	Piezometro Norton	Piezometro Casagrande	Piezometro elettrico	Prova Down Hole	MASW	HVSR	Inclinometro
3a-GN4-S02a	30	1	1	1				1			
3a-S56	40		1	1		1					
3a-S56bis	40										
3a-S57	40		1	1		1			1	1	
3a-GN5-S01	30	1	1	1		1					
3a-GN5-S01a	30		1					1			
3a-GN5-S01b	30										1
3a-GN5-S03	30	1	1	1		1					
3a-GN5-S03a	30							1			
3a-GN5-S03b	30										1
3a-SI-08a	30										1
3b-S01	30		1		1						
3b-S02	40		1					1			
3b-S03	40		1	1							1
3b-S03a	10					1					
3b-S04	30		1			1			1	1	
3b-S05	30		1			1					
3b-S06	40		1					1			
3b-S07	40		1	1							1
3b-S07a	10				1						
3b-S08	40		1					1			
3b-S09	40		1	1		1				1	
3b-GN6-S01	35	1	1	1				1			
3b-GN6-S01a	35										1
3b-GN6-S01b	18				1						
3b-GN6-S02	65	1	1	1	1						
3b-GN6-S03	35	1	1	1	1						
3b-GN6-S04	45	1	1	1				1			
3b-GN6-S04a	32				1						
3b-S10	40		1					1			
3b-S11	40		1	1		1				1	
3b-S12	40		1					1			
3b-GN7-S01	35	1	1	1				1			
3b-GN7-S01a	30										1
3b-GN7-S01b	30				1						
3b-GN7-S02	40	1	1	1	1						
3b-GN7-S03	40	1	1	1	1						
3b-GN7-S04	50	1	1	1	1						
3b-GN7-S05	30	1	1	1				1			
3b-GN7-S05a	30										1
3b-GN7-S05b	25				1						
3b-GN8-S01	30	1	1	1	1				1	1	
3b-S13	30		1		1				1	1	

LOTTO 3 - SONDAGGI VIABILITÀ											
ID	Profondità (m)	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove pressio-metrichee dilato-metriche	Piezometro Norton	Piezometro Casagrande	Piezometro elettrico	Prova Down Hole	MASW	HVSR	Inclinometro
3a-V04	40		1			1			1	1	
3a-V04bis	30		1			1			1	1	
3a-V06	40		1			1			1	1	
3a-V07	40		1			1			1	1	
3a-V09	40		1			1			1	1	
3a-V10	40		1			1			1	1	
3a-V13	40		1			1			1	1	
3a-SI-03	30		1	1		1					
3a-SI-04	40		1	1	1						
3a-SI-04a	40										1
3a-SI-06	30		1	1	1						
3a-SI-06a	30										1
3a-SI-07	30		1	1	1						
3a-SI-07a	30										1
3a-SI-08	30		1	1	1						
3a-SI-09	30		1	1	1						
3a-SI-09a	30										1
3a-VI19	40		1	1				1			
3a-VI20	40		1	1		1					
3a-VI21	40		1	1				1			
3a-VI22	40		1	1		1					
3a-VI23	30		1	1		1					
3b-V16	30		1		1						
3b-V18	30		1		1						
3b-SI-10	30		1	1	1						
3b-SI-10a	30										1
3b-SI-V08	30		1		1						
3b-SI-V09	40		1	1	1						
3a-SI-13	30										
3b-V19	35				1						
3b-V20	40							1			
3b-V21	35										1
3b-V21a	35				1						

LOTTO 3 - SONDAGGI FINESTRE											
ID	Profondità (m)	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove pressio-metrichee dilato-metriche	Piezometro Norton	Piezometro Casagrande	Piezometro elettrico	Prova Down Hole	MASW	HVSR	Inclinometro
3a-F01	125	1	1	1			1				
3a-F02	30	1	1	1	1						
3a-F02a	30	1						1			
3a-F03	30	1	1	1	1						
3a-F03a	30							1			

LOTTO 3 - SONDAGGI FINESTRE											
ID	Profondità (m)	Rilievo gas	Prove permeabilità	Prove pressiometriche e dilatometriche	Piezometro Norton	Piezometro Casagrande	Piezometro elettrico	Prova Down Hole	MASW	HVSR	Inclinometro
3a-F04	90	1	1	1	1						
3b-F01	30	1	1	1				1			
3b-F01a	15				1						
3b-F01b	25										1
3b-F02	70	1	1	1	1						
3b-F03	30	1	1	1	1						
3b-F03a	30							1			
3b-F04	80	1	1	1	1						

LOTTO 3 - INDAGINI PENETROMETRICHE		
ID	Profondità (m)	Tipo
3a-PP1	10	CPT
3a-PP2	14	DIN
3a-PP3	14	CPT
3a-PP4	13.4	CPT
3a-PP5	7.4	DPSH
3a-PP6	4	DPSH
3a-PP6bis	9	DPSH
3a-PP7	7	CPT
3a-PP8	8.2	DPSH
3a-PP9	10	DPSH
3a-PP10	7.4	DPSH
3a-PP11	8	DPSH
3a-PP12	8	DPSH
3a-PP13	7.6	DPSH
3a-PP1	8.2	DPSH

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

4.1 Contesto generale dell'Appennino meridionale

La Sicilia rappresenta un segmento della Catena Appenninico-Maghrebide in cui affiorano unità tettoniche di diversa attribuzione paleogeografica, che collega l'Appennino al Nordafrica attraverso l'Arco Calabro-Peloritano (Figura 2).

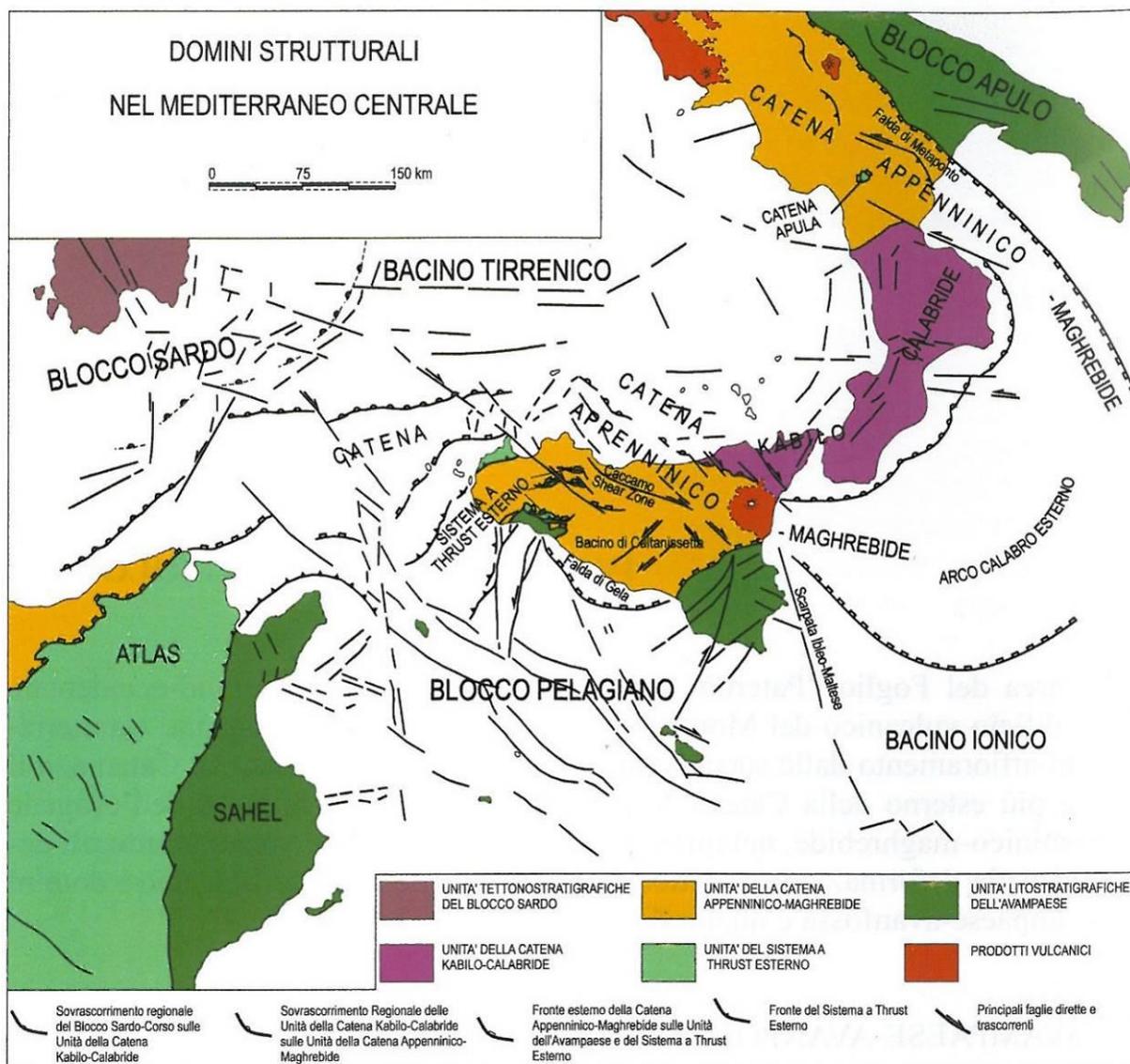


Figura 2 – Domini strutturali nel Mediterraneo centrale (da Lentini et al. 1995, modificato).

Nel Mediterraneo centrale si individuano essenzialmente tre grandi domini tettonici: i) il dominio di avampaese, ii) il dominio orogenico, iii) il dominio di hinterland.

- Il dominio di avampaese comprende le aree indeformate della placca nordafricana rappresentate dal cosiddetto Blocco Pelagiano (crosta continentale e relative coperture) e dal Bacino Ionico (crosta oceanica antica in subduzione; Figura 2).
- Il dominio orogenico comprende tre sistemi tettonici coalescenti: il sistema dei thrust esterni (o sistema a thrust siculo-pelagiano), il sistema, o catena, Appenninico-Maghrebide e il sistema, o catena, Kabilo-Calabride (Figura 2).
- Il dominio di hinterland è rappresentato dal Blocco Sardo-Corso e dal Bacino Tirrenico (Figura 2); quest'ultimo si è aperto a partire dal Serravalliano (fase di rifting continentale) ed è impostato, nella parte centrale, su crosta oceanica generatasi nel Plio-Quaternario.

I precedenti domini sono in parte sommersi al di sotto del mare e in parte affiorano nelle terre emerse che costituiscono la Sicilia e le isole minori adiacenti. Per quanto riguarda il territorio siculo, gli schemi di *Figura 2*, *Figura 3* e *Figura 4*, permettono di delineare la distribuzione di due dei tre domini sopra descritti, ovvero quello di avampaese e quello orogenico; da sud a nord si distinguono:

- l'**Avampaese Ibleo** (*dominio di avampaese*), affiorante nel settore sud-orientale 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);
- l'**Avanfossa Gela-Catania** (limite tra il *dominio orogenico* e *dominio di avampaese*), affiorante nella porzione orientale della Sicilia e costituita da una spessa successione sedimentaria tardo-cenozoica, parzialmente sovrascorsa dalle 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 parte centro-settentrionale dell'isola, 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);

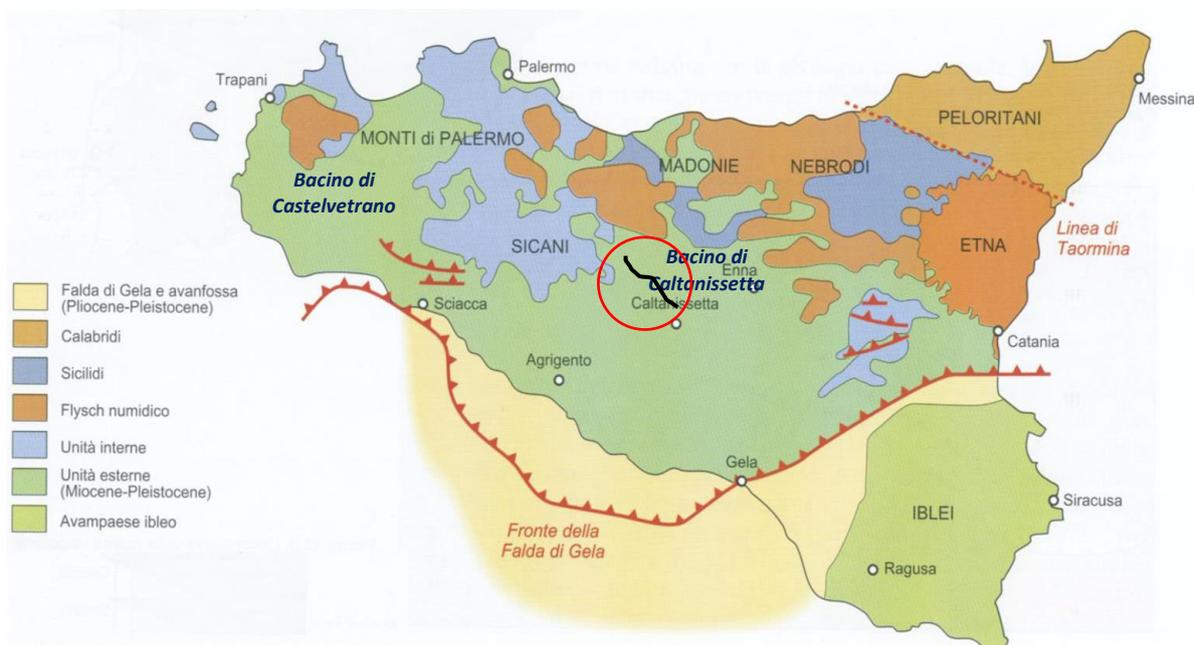


Figura 3 – Schema tettonico della Sicilia (da Bosellini, 2005).

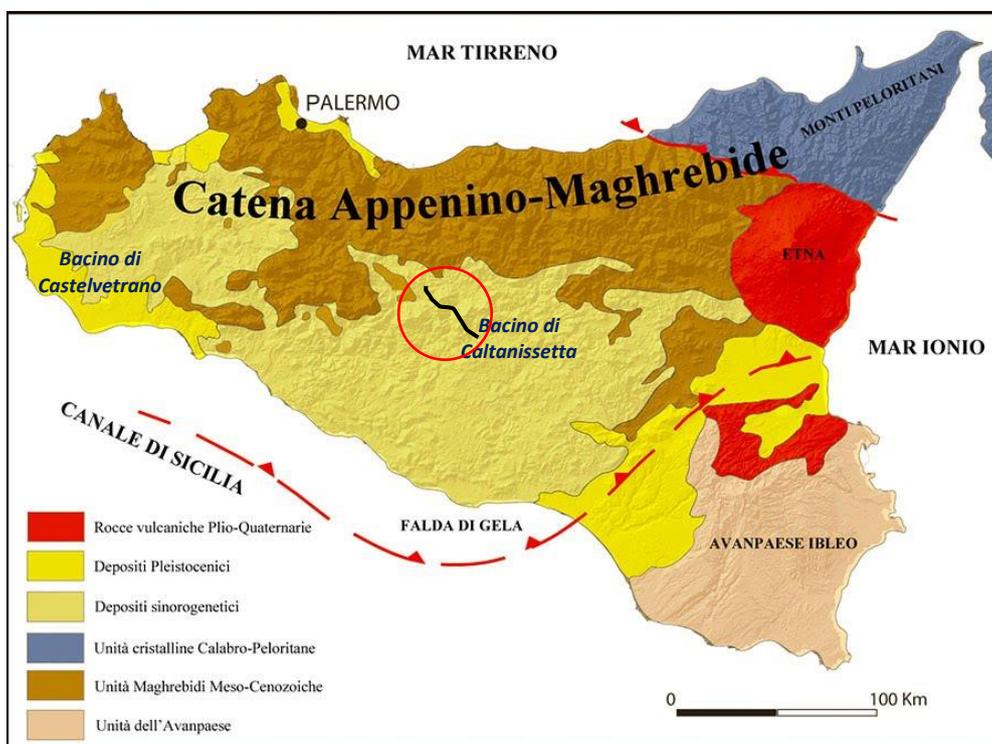


Figura 4 – Schema tettonico della Sicilia (da <https://www.liceolussana.org/Sicilia19/2019/03/15/geografia-di-pantalica/>).

- la **Catena Kabilo-Calabride**, affiorante nel settore nord-orientale e caratterizzata da un basamento

con metamorfiti di vario grado e con le relative coperture sedimentarie meso-cenozoiche, cui si associano delle unità ofiolitiche riferibili al cosiddetto Complesso Liguride (Ogniben 1969; Amodio-Morelli et al. 1976; Bonardi et al. 1982; Tansi et al. 2007).

L'area di progetto è situata nel settore centrale della regione, all'interno della Catena Appenninico-Maghrebide (*Figura 3 e Figura 4*).

4.2 La Catena Appenninico-Maghrebide

4.2.1 Evoluzione generale

La Catena Appenninico-Maghrebide è costituita da un sistema a thrust, che nel tratto siculo-maghrebide hanno vergenza verso SE e in quello appenninico verso ENE (Monaco et al. 2000; Carbone et al. 2010).

Il sistema comprende sequenze meso-cenozoiche sia di piattaforma sia di bacino, con spesse coperture flyschoidi mioceniche, probabilmente appartenenti al paleo-margine afro-adriatico (Ogniben 1969; Amodio-Morelli et al. 1976; Mostardini & Merlini 1986; Catalano et al. 1996; Monaco et al. 1998). Lo schema di *Figura 5* è utile per chiarire la possibile situazione paleogeografica al Giurassico superiore, da cui successivamente si sono sviluppati gli elementi tettonostratigrafici della Catena Appenninico-Maghrebide.



Figura 5 – Schema dell'assetto paleogeografico riferito al Giurassico superiore, da cui evolverà successivamente la catena appenninica centro-meridionale (Lentini et al., 2004).

La catena è costituita da una serie di falde più o meno alloctone di origine interna (Tetide, Blocco Panormide, parte del Bacino Paleoleonico), sovrapposte a un sistema di thrust più esterno che coinvolge elementi originariamente di pertinenza dell'avampaese (Blocco Pelagiano; Carbone et al. 2010).

Le falde di ricoprimento si sono originate a partire dal Miocene inferiore, in concomitanza con l'inizio della collisione continentale tra il margine europeo e quello afro-adriatico. In un periodo precoce rispetto alla collisione vera e propria (Oligocene superiore) si è verificato il sovrascorrimento verso sud delle Unità Kabilo-Calabridi e solo successivamente quello delle falde anzidette, che costituiscono la parte passiva della Catena Appenninico-Maghrebide, in quanto fanno parte di una catena più antica, detta appunto Kabilo-Calabride (cfr. paragrafo 4.1). Le Unità Kabilo-Calabridi (Peloritani in Figura 3 e Figura 4) sono infatti generalmente interpretate come la testimonianza di una catena orogenetica sviluppatasi in epoca cretaceo-eocenica, che rappresentava la prosecuzione verso sud-ovest della Catena Alpina s.s. Tale catena era connessa alla subduzione intraoceanica lungo il ramo più occidentale del Bacino Tetideo. Il loro sovrascorrimento verso sud a partire dall'Oligocene superiore, al di sopra di un avampaese da cui originerà la futura Catena Appenninico-Maghrebide, è legato all'inversione della subduzione all'interno del Bacino Tetideo da SE (fase eoalpina) a NW (fase balearica o prima fase

appenninica; Finetti et al. 2005)

Le falde di ricoprimento originatesi dopo la messa in posto della Catena Kabilo-Calabride, facenti quindi parte della Catena Appenninico-Maghrebide vera e propria, sono principalmente costituite dalle unità note come Sicilidi (§ 4.3.1.1; *Figura 3*); esse ricoprono la posizione strutturalmente più elevata dell'edificio appenninico e sono attribuite alla porzione del Bacino della Tetide non subdotta durante la fase eoalpina, che separava il margine europeo dal blocco paleoafricano all'inizio dell'inversione del piano di subduzione (Finetti et al. 2005; Carbone et al. 2010). Le Sicilidi sono quindi interpretate come i resti del cuneo di accrezione oceanico della fase orogenica balearica, sovrascorso sulle unità del Blocco Panormide (cfr. *Figura 5*) all'epoca della collisione continentale (chiusura definitiva del Bacino Tetideo) e rimobilizzato anche durante le fasi orogeniche successive, fino al raggiungimento dell'attuale fronte della catena.

A partire dal Miocene medio-superiore, in concomitanza con l'inizio dell'apertura del Bacino Tirrenico a nord della catena formatasi nella fase balearica, si è instaurata anche la subduzione della crosta oceanica del Bacino Paleoionico e dei suoi bacini satellite, in corrispondenza della sua terminazione settentrionale (*Figura 5*). Tali eventi hanno portato all'instaurarsi di una nuova fase orogenetica, detta fase tirrenica, all'inizio della quale si è avuta la mobilitazione delle coperture panormidi, che sono sovrascorse sulle coperture dei bacini ionici (Ionidi) e successivamente anche di questi ultimi, che sono sovrascorse sull'avampaese africano, trasportando passivamente anche le Unità Kabilo-Calabridi e le Sicilidi.

Negli stadi tardivi della fase tirrenica, a partire dal Miocene superiore, negli scollamenti sono state coinvolte anche le coperture dell'avampaese africano e si è così originato il Sistema dei Thrust Esterni, noto anche come Sistema a Thrust Siculo-Pelagiano (*Figura 2*, *Figura 6*). Il Sistema a Thrust Esterno coinvolge anche i sedimenti Tortoniani e post-Tortoniani che si sono depositi in bacini sviluppati sul fronte della prima catena formatasi nella fase di deformazione tirrenica precoce langhiano-serravalliana (messa in posto delle falde di pertinenza panormide e ionide).

L'evoluzione più recente pleistocenico-quadernaria ha portato alla duplicazione di parte dei depositi di avanfossa da parte di un sovrascorrimento che individua la cosiddetta Falda di Gela (*Figura 3* e *Figura 4*), che attualmente rappresenta l'elemento strutturale più esterno di tutto il complesso appenninico,

saturato da depositi quaternari (Finetti et al. 2005).

L'architettura finale derivante dagli eventi descritti è visibile nella sezione di *Figura 6*.

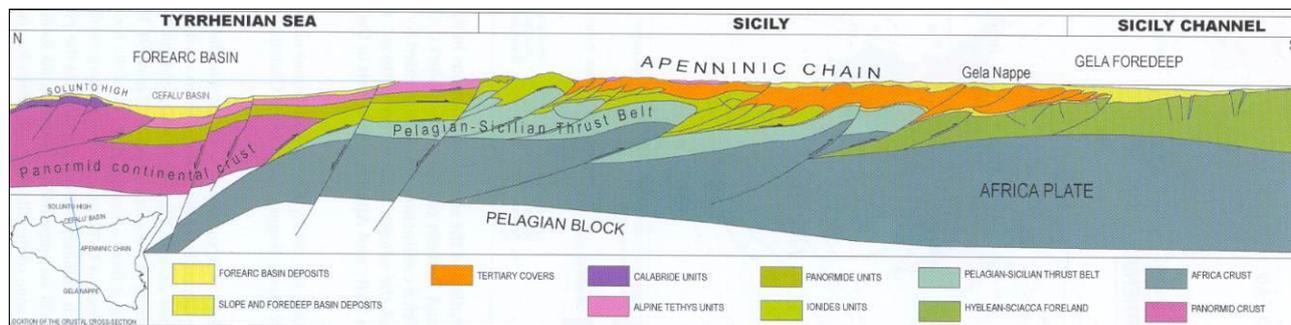


Figura 6 – Profilo schematico mostrante l'architettura strutturale dell'orogene siciliano (modificato da Finetti et al., 2015).

4.2.2 Precisazioni sull'evoluzione tarso- post-tortoniana: assetto del Bacino di Caltanissetta

L'evoluzione post-tortoniana dell'area sicula riveste una particolare importanza per il progetto infrastrutturale oggetto di questo rapporto, in quanto esso si colloca in uno dei settori in cui i depositi tortoniani e post-tortoniani hanno il loro maggiore sviluppo. Si tratta prevalentemente di depositi sinorogenici, successivamente coinvolti nella deformazione. Le porzioni più esterne della Catena Appenninico-Maghrebide, in cui prevalgono tali successioni di depositi sinorogenici sono rappresentate da due zone che sono state identificate con dei bacini deposizionali ben individuati, denominati "Bacino di Castelvetrano" (verso ovest, talora anche detto Bacino del Belice) e "Bacino di Caltanissetta" (verso est), separati dalla dorsale dei Monti Sicani (*Figura 3, Figura 4*).

Il termine "bacino" viene utilizzato per questi due settori della catena attuale in ragione del fatto che essi sono costituiti da potenti successioni sedimentarie depositatesi all'interno di depressioni localizzate a sud della paleocatena Appenninico-Maghrebide legata alla fase tirrenica precoce (Miocene medio; cfr. paragrafo 4.1)

I depositi del Bacino di Caltanissetta, all'interno dei quali si sviluppa gran parte del tracciato di progetto, sono oggi distribuiti in un areale delimitato a nord dai Monti di Trabia e di Termini Imerese, e dalle dorsali delle Madonie e dei Nebrodi; verso ovest il confine con i Monti Sicani è rappresentato da un importante elemento tettonico localizzato lungo la Valle del F. Platani; verso est l'areale del bacino si estende a comprendere l'intero settore centro-meridionale dell'Isola, attraverso l'area di Enna-

Caltanissetta fino a Centuripe-M. Judica, e verso sud ai settori di Agrigento-Licata, fino ad includere il cuneo frontale della Catena Appenninico-Maghrebide (Falda di Gela).

Il Bacino di Caltanissetta, un tempo ritenuto rappresentare una profonda depressione, delimitata da faglie dirette e riempita da vari chilometri di olistostromi, come già in parte chiarito all'inizio del paragrafo, si è in realtà sviluppato al fronte (e in parte in ricoprimento) di un sistema a thrust regolare e geometricamente ben definito, parte della Catena Appenninico-Maghrebide, formato da Unità Sicilidi, Panormidi e Ionidi scollatesi dai relativi basamenti.

Nel Tortoniano superiore il fronte della catena a sovrascorrimenti Appenninico-Maghrebide era localizzato nell'area di deposizione delle diverse facies di sedimenti silicoclastici della formazione di Terravecchia, il principale corpo sedimentario sinorogenico di interesse per questo progetto. La sedimentazione era controllata non solo dall'evoluzione tettonica locale (innalzamento locale di anticlinali di sovrascorrimento in una regione in subsidenza flessurale) ma anche da variazioni del livello del mare.

Successivamente, nel Messiniano, è iniziata all'interno del Bacino di Caltanissetta la deposizione di evaporiti, la quale è stata influenzata dalla paleogeografia ereditata dalla situazione del tardo Tortoniano. Il bordo dei paleorilievi, rappresentati soprattutto da anticlinali di sovrascorrimento, erano sede di deposizione di facies evaporitiche marginali (*patch reefs*, Calcare di Base) mentre i depocentri sub-bacinali sviluppati in un contesto di sinforme erano caratterizzati dalla deposizione di diatomiti, argille e potenti successioni di evaporiti.

4.3 Evoluzione tettonostratigrafica della catena Appenninico-Maghrebide

In questo paragrafo si forniscono alcuni approfondimenti sull'evoluzione tettonostratigrafica della Catena Appenninico-Maghrebide, utili a inquadrare il contesto dell'area di progetto. Pur senza entrare nei dettagli delle varie fasi tettoniche e deposizionali che si sono succedute esse verranno di seguito sinteticamente ricordate. Un riferimento particolare verrà fatto alle unità tettonostratigrafiche che costituiscono l'area di progetto, ovvero le Sicilidi, il Flysch Numidico e i depositi sinorogenici tortoniani e post-tortoniani

4.3.1 *Evoluzione dal Giurassico al Miocene medio (Langhiano)*

Durante il Giurassico, con il processo di rifting continentale che porta all'apertura del settore meridionale dell'oceano della Tetide, si individua un importante bacino intra-cratonico a sedimentazione prevalentemente terrigena, denominato Bacino di Lercara (Scandone et al. 1974; Catalano et al. 1996). Questo dominio evolve successivamente in due distinte unità paleogeografiche, rappresentate dal Bacino Imerese a nord e dal Bacino Sicano a sud, separati dalla Piattaforma Nord-Trapanese, a sua volta passante verso sud al dominio paleogeografico dei *Seamounts* Trapanesi (*Figura 7*; Scandone et al. 1974; Bonardi et al. 1976). Si tratta sostanzialmente di bacini di pertinenza del Bacino della Tetide Ionica (*Figura 5*).

Tra il Giurassico e l'Oligocene inferiore si verifica un processo di dissezione in blocchi della piattaforma carbonatica Panormide, collocata tra la Tetide alpina e la Tetide ionica, a nord dei precedenti domini paleogeografici (Scandone et al. 1974).

La deformazione dei domini più interni a partire dall'Oligocene superiore (fase balearica precoce; cfr. 4.1) porta alla formazione di un bacino di avanfossa primordiale, collocato al bordo del margine africano. L'età di questo bacino a sedimentazione prevalentemente terrigena, noto come "Bacino Numidico", va dall'Oligocene superiore al Miocene inferiore (Scandone et al. 1974; Bonardi et al. 1982; Bianchi et al. 1987).

I più antichi sedimenti di avanfossa coinvolti nella deformazione regionale (Benomran et al., 1987) sono le argilliti e argille varicolori di età cretacico-oligocenica e le torbiditi del Flysch Numidico (§ 5.1), di età da tardo-oligocenica a tardo-burdigaliana.

Tra l'Aquitano e il Langhiano la sedimentazione nel Bacino Numidico, ovvero nell'avanfossa della catena appenninica che si sta formando a nord (fase balearica), ha carattere regressivo, con depositi prevalentemente pelitici che caratterizzano la porzione sommitale di tutte le successioni (Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991). Nello stesso tempo, nel Bacino Sicano (*Figura 7*) si instaurano le condizioni per una sedimentazione di ambiente profondo (Catalano et al. 1996).

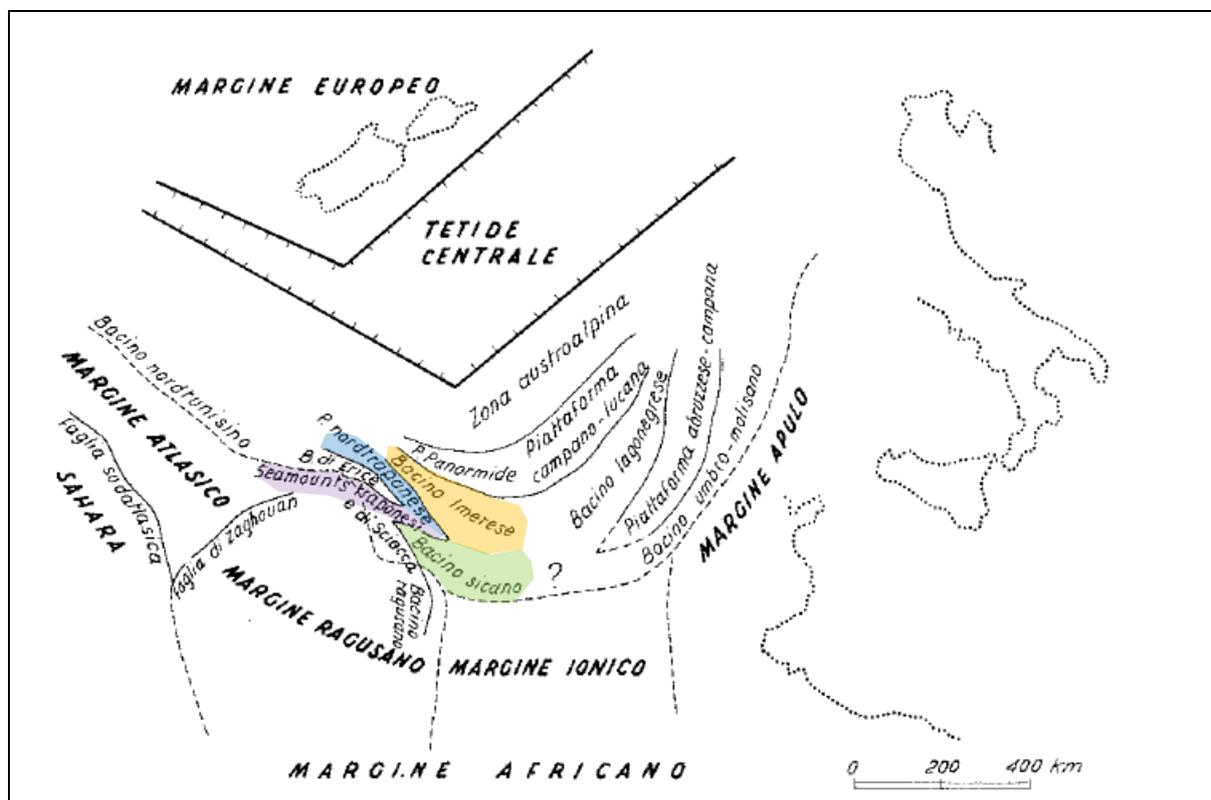


Figura 7 – Ricostruzione palinspastica della Tetide centrale nel Giurassico (da Scandone et al. 1974, modificato; rappresentazione alternativa e di maggior dettaglio rispetto a quella di Figura 5).

Subito dopo la deposizione delle torbiditi del Flysch Numidico, nel Langhiano, le sequenze di piattaforma e di bacino mesozoiche deposte sul margine passivo africano sovrascorrono verso sud, sviluppando il segmento siculo dell'arco Appenninico-Maghrebide (fase tirrenica iniziale; cfr. paragrafo 4.1). I terreni più interni (settentrionali) della Piattaforma Panormide sovrascorrono in direzione sud su quelli più esterni del Bacino Imerese e questi ultimi sovrascorrono a loro volta sugli elementi più esterni dello stesso bacino (Bianchi et al. 1987).

Su questa sequenza di unità deformate si depositano in discordanza depositi pelagici ed emipelagici del Langhiano superiore, mentre contemporaneamente le Unità Sicilidi sovrascorrono sull'insieme di falde sopra descritto (Bianchi et al. 1987; Catalano et al. 1996; Bello et al. 2000).

4.3.1.1 Le Unità Sicilidi

Nell'edificio a falde della catena il Complesso Sicilide di Ogniben (1960) raggruppava, nella sua accezione originaria, le successioni di bacino alloctone e in posizione strutturale più elevata.

La prima fase deformativa che ha interessato tali unità nell'Oligo-Miocene, risulta particolarmente precoce rispetto alle fasi che coinvolgeranno via via le aree più esterne. A causa delle ripetute fasi tettoniche sovrapposte, attive fino al Quaternario e associate a una notevole mobilità tettonica, le Unità Sicilidi si sono progressivamente estese verso sud fino a raggiungere il cuneo frontale della catena (Figura 8), il che ha talora indotto ad assegnare erroneamente tali formazioni ad aree paleogeografiche esterne. Tuttavia, l'età precoce di questi depositi flyschoidi, testimoni delle prime fasi tettoniche e la loro posizione strutturale al di sopra di coperture terrigene recenti, consentono di collocare queste unità nell'originaria posizione paleogeografica e cioè relativamente interna.

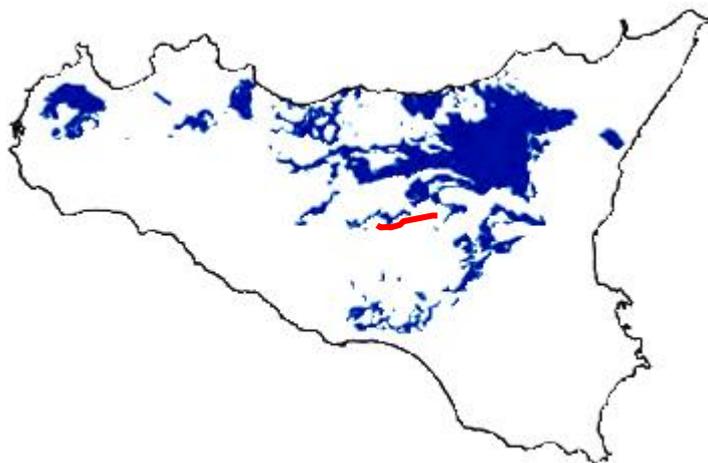


Figura 8 - Areale di affioramento delle Unità Sicilidi s.l. (Lentini & Carbone, 2014).

Nel tempo, pur mantenendo inalterato il significato e la posizione strutturale assegnati da Ogniben (1960), sono intervenute variazioni nelle attribuzioni cronologiche e sono state riferite al complesso delle Sicilidi unità prima assegnate ad altri complessi (ad es. il Flysch Numidico – membro di Nicosia).

Attualmente è confermato che si tratta di successioni sedimentarie che vanno dal Tortonico al Miocene inferiore, successivamente smembrate in unità o sottounità tettoniche, in parte suturate dalle formazioni flyschoidi tardo-orogeniche del Miocene inferiore-medio.

Le litofacies tipiche sono rappresentate dalle Argille Scagliose e/o Varicolori estesamente affioranti in prevalenza nella parte settentrionale e centro-meridionale dell'Isola.

4.3.1.2 Il Flysch Numidico

Il Flysch Numidico è la formazione maggiormente rappresentata in Sicilia, essendo presente in differenti

domini paleogeografici ed è caratterizzata da un notevole spessore (> 3'000 m) e da una grande estensione laterale (oltre 2'000 km, da Gibilterra all'Appennino meridionale).

Dal punto di vista litologico si tratta di un'alternanza di argille brune e quarzareniti, talora grossolane, in strati e banchi che nella parte alta prevalgono sulle peliti. L'intervallo basale a dominante componente argillosa è datato all'Oligocene superiore, mentre quello quarzarenitico è datato all'Aquitano-Burdigaliano. Le quarzareniti passano più o meno gradualmente, verso l'alto, a depositi prevalentemente pelitico-marnosi del Burdigaliano superiore-Langhiano (formazione Tavernola e Marne di Castelbuono).

Il termine "Flysch Numidico" è in realtà poco appropriato e ha più che altro valenza storica, in quanto questa formazione non è correlata a una fascia orogena e non ha le caratteristiche tipiche dei flysch. La sua collocazione paleogeografica e paleotettonica nell'ambito dell'orogene è stata oggetto di notevoli controversie nella letteratura geologica, che si sono tradotte in una serie di suddivisioni e denominazioni di volta in volta diverse.

Oggi appare accertato come questa formazione costituisca la copertura oligo-miocenica di successioni mesozoico-terziarie distribuite in diversi contesti paleogeografici e come il suo considerevole spessore sia in realtà determinato da ripetizioni tettoniche, con più orizzonti strutturali sovrapposti che isolano unità tettoniche distinte con nomi diversi.

Bianchi et al. (1987) hanno ordinato le diverse scaglie del Flysch Numidico, scollate dal loro originario substrato mesozoico, dal basso verso l'alto e (presumibilmente) da quelle più esterne a quelle più interne, nel modo seguente:

1. Unità Gagliano, nota solo in sottosuolo e relativamente radicata sul substrato di tipo imerese, costituisce la roccia serbatoio dei campi gassiferi di Gagliano (Enna).
2. Unità Serra del Bosco: forma delle culminazioni a nord di Leonforte (Enna); il tetto dell'unità include marne e quarzareniti glauconitiche del Langhiano che la apparenterebbero con le successioni terrigene delle Unità Maghrebidi più esterne (Unità di M. Judica).
3. Unità Maragone ("membro di Geraci Siculo" di Ogniben, 1960), affiorante estesamente nella dorsale dei Nebrodi, costituisce la copertura delle unità carbonatiche panormidi.
4. Unità di M. Salici: è costituita nella zona tipo (provincia di Enna), da circa 500 m di prevalenti

argille nerastre passanti verso l'alto ad alcune centinaia di metri di quarzareniti in grossi banchi, con un intervallo apicale di 200 m ca. di argille marnose del Langhiano inferiore (Marne di Gagliano).

5. Unità di Nicosia, a composizione mista litarenitico-quarzosa, occupa una posizione strutturale più elevata e si rinviene associata alle Unità Sicilidi.

Revisioni stratigrafiche e strutturali più recenti (Bello et al., 2000) hanno consentito di identificare un vasto orizzonte strutturale basale costituito da scaglie embricate del flysch numidico dell'Unità di Maragone (equivalente all'Unità di Gagliano della zona di Enna), sul quale appoggiano tettonicamente unità numidiche completamente flottanti (Unità di Nicosia e M. Salici-M. Castelli).

Nella Carta Geologica della Sicilia in scala 1:250'000, Lentini & Carbone (2014), riprendendo una precedente sintesi del quadro strutturale, distinguono:

- un orizzonte strutturale più profondo denominato "Flysch Numidico esterno", formato da scaglie embricate più o meno solidali con la piattaforma carbonatica panormide;
- un soprastante orizzonte strutturale ampiamente alloctono, che costituiva la parziale copertura della Tetide Alpina e che forma le sottounità di Nicosia e di M. Salici, conservate nelle depressioni strutturali della catena e in genere direttamente ricoperte dai depositi tortoniani (formazione Terravecchia).

Nell'ambito del Progetto CARG l'unità numidica di Nicosia, più interna e geometricamente superiore, ha assunto la denominazione di "Flysch Numidico - membro di Nicosia", mentre l'unità di M. Salici - M. Castelli è stata denominata "Flysch Numidico - membro di M. Salici" (Serv. Geol. It., 2010a; 2012a; 2013e). Al Flysch Numidico esterno, strutturalmente più profondo, è stato assegnato il termine di "membro di Portella Colla" per l'intervallo oligocenico, mentre le quarzareniti del Miocene inferiore sono raggruppate sotto il "membro di Geraci Siculo" (corrispondente all'Unità Maragone di Bianchi et al., 1987), a prescindere che si tratti di copertura imerese o panormide.

Le successioni numidiche di Nicosia e di M. Salici, maggiormente coinvolte nel processo orogenico, sarebbero quindi totalmente sradicate, sovrapponendosi ad altre successioni di Flysch Numidico (membro di Geraci Siculo), parzialmente scollate ma nel complesso solidali con diversi substrati mesozoici, che culminano nelle dorsali delle Madonie e dei Nebrodi.

Lentini & Carbone (2014) riferiscono il membro di Geraci Siculo principalmente alla copertura oligo-miocenica delle unità panormidi, sulla base della presenza di brecce risedimentate e, nelle argilliti brune, di noduli algali e cespi di coralli che dimostrano la contiguità con le successioni carbonatiche panormidi.

4.3.2 Evoluzione dal Serravalliano al Tortoniano (Miocene medio-superiore)

A partire dal Serravalliano e fino a tutto il Tortoniano, il parziale sollevamento delle zone più interne della catena in fase di strutturazione determina la creazione di un'avanfossa in posizione più esterna (meridionale). Inizia quindi la sedimentazione delle molasse della Formazione Terravecchia, che vanno a ricoprire le unità già deformate. Questa sedimentazione avveniva in due contesti distinti:

- verso sud, al fronte delle unità in sovrascorrimento (avanfossa s.s.);
- verso nord, all'interno di piccoli bacini di piggy-back, colmati da conglomerati, sabbie e argille di ambiente fluvio-deltizio (*Figura 9*), provenienti dallo smantellamento delle aree emerse della catena (paleo-Madonie) e dal basamento cristallino (unità calabridi).

Il bacino di sedimentazione della formazione Terravecchia può quindi essere diviso in due grandi settori:

- uno meridionale di paleo-avanfossa, con sedimenti argillosi marini depositi in discordanza angolare su un substrato debolmente deformato;
- uno settentrionale, il cui assetto tettonico (substrato costituito da unità alloctone a thrust), determina lo sviluppo di bacini satellite caratterizzati da sistemi deposizionali fluvio-deltizi.

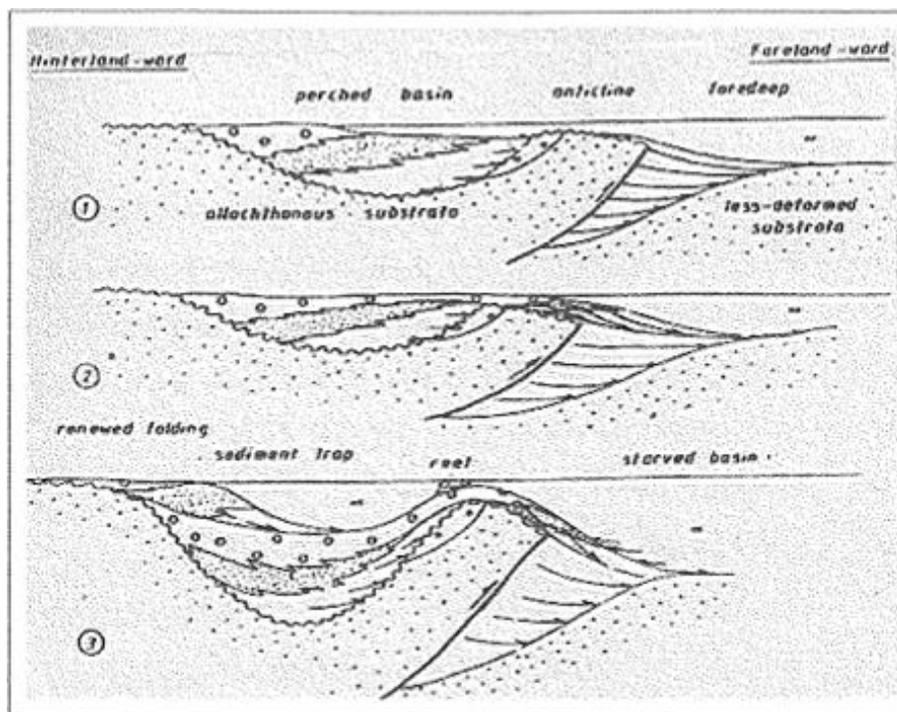


Figura 9 – Schema rappresentativo della deposizione fluvio- deltizia della formazione Terravecchia (Grasso & Butler, 1991).

Il passaggio verso l'alto a sedimenti marini suggerisce una fase di trasgressione databile al Tortoniano superiore.

Ancora più a sud, depositi analoghi colmavano un'altra depressione strutturale piuttosto estesa, il Bacino di Caltanissetta che, come si è visto (paragrafo 4.2.2), attualmente occupa una vasta zona della Sicilia centrale, delimitata dai Monti di Trabia-Termini Imerese e dalle dorsali delle Madonie e dei Nebrodi.

4.3.3 Evoluzione dal Tortoniano superiore alla fine del Miocene (Messiniano)

La fine del Tortoniano è segnata da condizioni di massima ingressione marina e da un substrato deformato, che viene ereditato dalle fasi successive (Butler & Grasso 1993). Inoltre, nel Tortoniano superiore la distribuzione delle facies di sedimenti silicoclastici della formazione Terravecchia, localizzata al fronte della thrust-belt appenninico-maghrebide, inizia ad essere controllata non solo dall'evoluzione tettonica (innalzamento locale di fronti di thrust con geometria anticlinale all'interno di una regione in subsidenza flessurale) ma anche da variazioni del livello del Mare Mediterraneo (Grasso & Butler, 1991;

Butler & Grasso, 1993), correlate all'insorgere di limitazioni della circolazione marina conseguenti alla progressiva chiusura dello stretto di Gibilterra e quindi dello scambio con l'Atlantico (transizione stratigrafica dal Tortoniano al Messiniano). In questa fase si ha la deposizione locale di laminiti diatomitiche e torbaniti¹ della formazione Tripoli (Ogniben, 1957).

Le condizioni paleogeografiche della fine del Messiniano determinano quindi la formazione di un'area con ridotta circolazione d'acqua, che porta a un progressivo abbassamento del livello del mare e alla formazione di complessi sistemi di scogliera (Lentini et al. 1991). Questi ultimi, in seguito al verificarsi della crisi di salinità, vengono ricoperti dalla sedimentazione delle successioni gessoso-evaporitiche mioceniche (*Figura 10B*; Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991).

4.3.3.1 Caratteri stratigrafici della sequenza messiniana

Butler et al. (1995) propongono per la stratigrafia delle evaporiti siciliane un modello regionale con differenti bacini satellite separati da piccole soglie che delimitano ambienti con condizioni idrodinamiche e batimetria differenti, favorevoli all'accumulo di evaporiti.

In effetti, la deposizione delle evaporiti (formazione Gessoso-Solfifera; Ogniben, 1957; Decima & Wezel, 1971, 1973) si sviluppa su una paleogeografia già definita alla fine del Tortoniano:

- le zone topograficamente più elevate, rappresentate principalmente dalle anticlinali di sovrascorrimento, possono oggi essere ricostruite in base alla distribuzione delle facies evaporitiche marginali (patch reefs, Calcarea di Base).
- Analogamente, i depocentri dei sottobacini sviluppatisi in corrispondenza di zone di sinclinale, possono oggi essere ricostruiti in base alla distribuzione di diatomiti, argille e di potenti successioni evaporitiche (Maniscalco et al., 2010; Butler et al., 1995b; Roveri et al., 2008).

Le facies marginali, sviluppate al bordo dei bacini, sono rappresentate principalmente da rocce

¹ Con il termine di torbanite si indica una varietà di oil shale ricca in materia organica (oltre 60% di sostanze volatili) e in carbonati. Dalla località-tipo di Torban Hill, Scozia.

carbonatiche (membro del Calcare di Base) che appoggiano in transizione o sulle argille della formazione Terravecchia, oppure, intorno ai rilievi topografici maggiori, direttamente sul più antico Flysch Numidico. In sostanza, la stratigrafia dei bacini messiniani sviluppati alla sommità dei fronti di sovrascorrimento (come ad esempio i bacini di Corvillo e Mandre, situati tra Caltanissetta ed Enna) è fortemente controllata da variazioni del livello eustatico marino e dal tasso di sedimentazione, oltre che dall'attività tettonica (Maniscalco et al. 2010) e da variazioni cicliche dei parametri orbitali.

Il Messiniano va da 7.25 a 5.33 Ma, ma la crisi di salinità del messiniano copre un intervallo molto più breve, di circa 700'000 anni, corrispondente al tardo Messiniano. Gli enormi depositi di evaporiti accumulati sotto al fondo dei bacini profondi del Mediterraneo sono classicamente suddivisi in tre unità sismiche principali (la cosiddetta "Trilogia Messiniana"; Roveri et al., 2008 e op. cit.) cioè, in ordine stratigrafico ascendente: i) Evaporiti Inferiori, ii) Sale, iii) Evaporiti Superiori (*Figura 10A*). Le superfici di separazione sono nette, localmente irregolari e con evidenze di erosione e dissoluzione. Esse convergono verso la superficie in un'unica discordanza che taglia i margini continentali mediterranei (Superficie Erosionale Messiniana - MES), con canyon profondamente incisi alla foce dei fiumi maggiori.

Carote estratte dalle Evaporiti Superiori mostrano una successione di anidriti, salgemma e marne interstratificate, originariamente attribuita ad acque molto poco profonde. Dall'altro lato, le Evaporiti Inferiori sono ancora un oggetto molto enigmatico, la cui natura evaporitica oppure mista silicoclastica/evaporitica è stata dedotta solamente da caratteristiche geofisiche, mentre genesi (primaria o clastica) e ambiente deposizionale (acque basse o acque profonde) rimangono ancora materia speculativa (Roveri et al., 2008).

La "Trilogia Messiniana" del Mediterraneo occidentale è stata storicamente correlata alla successione affiorante in Sicilia, riassunta nello schema stratigrafico di Decima & Wezel (1971; *Figura 10A*) che mostra tre unità evaporitiche sovrapposte:

- 1) Evaporiti inferiori ("Lower Evaporites") alla base, costituite da spessi accumuli di gesso selenitico primario di acque poco profonde (*Figura 10A*, in giallo), passanti lateralmente ai calcari evaporitici del membro del "Calcare di Base" (*Figura 10A*, in azzurro); questa successione corrisponde grosso modo alla formazione di Cattolica (Roveri et al. 2008). La porzione gessosa viene talora anche denominata in letteratura "membro selenitico inferiore".

- 2) Sale (“Salt”; talora citato in letteratura anche come “membro salifero”), costituito principalmente da salgemma con subordinati anidrite e sali di K e Mg; (Figura 10A, in arancio); localmente tale livello è assente e sostituito da uno hiatus.
- 3) Evaporiti superiori (“Upper Evaporites”), costituite da livelli di gesso selenitico e laminato ciclicamente interstratificato con spessi orizzonti marnosi e associazioni fossili di acque da salmastre ad aperte. Alcuni documenti riportano una suddivisione di questo livello in due formazioni dette “formazione di Pasquasia” e “formazione dell’Arenazzolo” (Figura 10A, in verde). In letteratura tale livello viene talora denominato “membro selenitico superiore”.

Una discordanza angolare regionale (“discordanza intra-Messiniana”, in rosso in Figura 10A) separa le Evaporiti superiori o membro Selenitico Superiore dalle unità sottostanti. In particolare, come già sopra ricordato, in corrispondenza di questa discordanza il livello intermedio di sali può essere completamente eroso, per cui spesso la successione gessoso-solfifera è sostanzialmente costituita solo dalle Evaporiti superiori e inferiori, identificate nelle già citate formazioni di Pasquasia e di Cattolica rispettivamente. La discontinuità è caratterizzata da chiari indizi di emersione ed esposizione aerea (paleocarsismo) delle sottostanti evaporiti del primo ciclo.

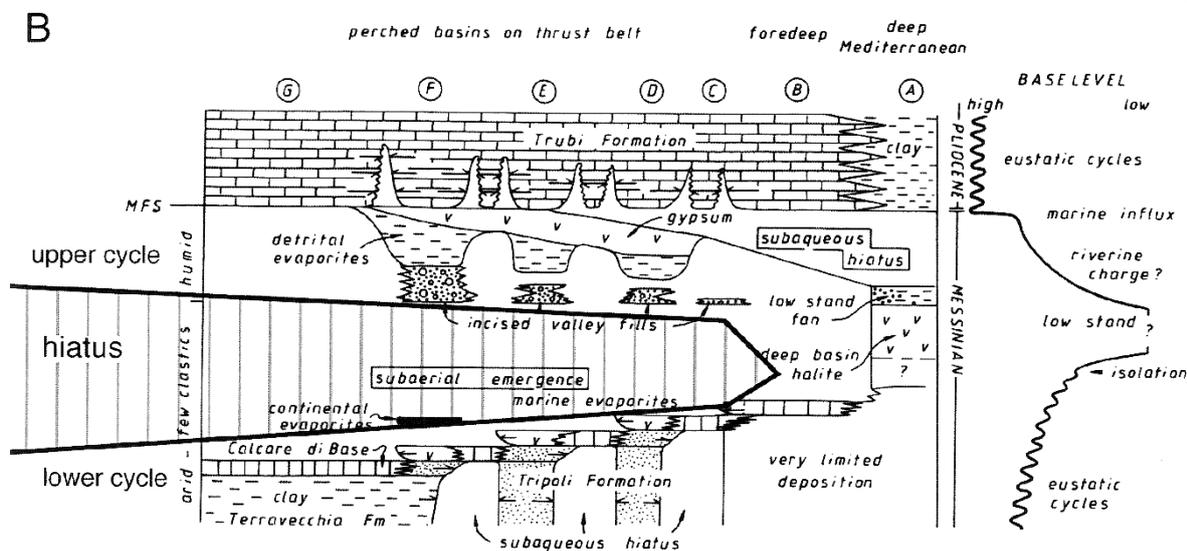
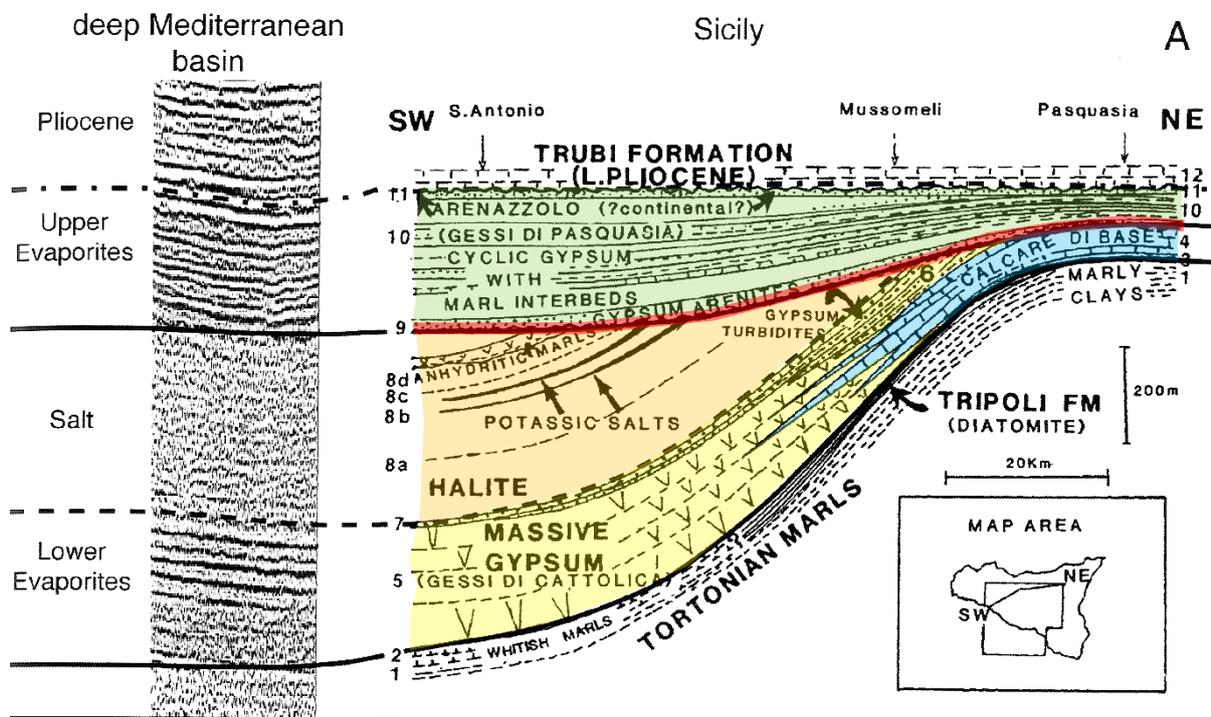


Figura 10 - A) Il modello classico di Decima & Wiesel (1971) della successione del Messiniano siciliano e della sua presunta correlazione con i bacini mediterranei profondi ("Trilogia Evaporitica"). B) il modello di Butler et al. (1995); l'unità inferiore registra un progressivo abbassamento del livello marino (regressione forzata) mentre l'unità superiore mostra un trend complessivamente trasgressivo, legato al graduale riempimento del Mediterraneo successivo al picco di prosciugamento (da Roveri et al., 2008).

Evaporiti inferiori: membro Selenitico Inferiore

Il sistema di avanfossa siciliano-maghebide include evaporitici di acque sia superficiali sia profonde, il

che si traduce in un assetto stratigrafico molto complesso. Nei bacini siciliani il membro Selenitico Inferiore è effettivamente composto da facies evaporitiche sia primarie (gesso selenitico massivo) sia risedimentate, accumulatesi in depocentri differenti, pertanto riferibili a due unità stratigrafiche distinte: il gesso inferiore primario (Primary Lower Gypsum, PLG) e il gesso inferiore risedimentato (Resedimented Lower Gypsum, RLG; Roveri et al., 2008).

I depositi PLG in posto appoggiano in discordanza su depositi di acque basse e di scogliera in corrispondenza dei bacini di *wedge-top* più interni e della scarpata dell'avampaese (*foreland ramp*) che bordano i sistemi di avanfossa siciliani (Figura 11).

I depositi RLG si trovano invece sui bacini di *wedge-top* esterni e nei principali depocentri dell'avanfossa e sono costituiti da depositi gessosi derivanti da flussi gravitativi in acque profonde, che vanno da olistostromi a torbiditi gessose finemente stratificate.

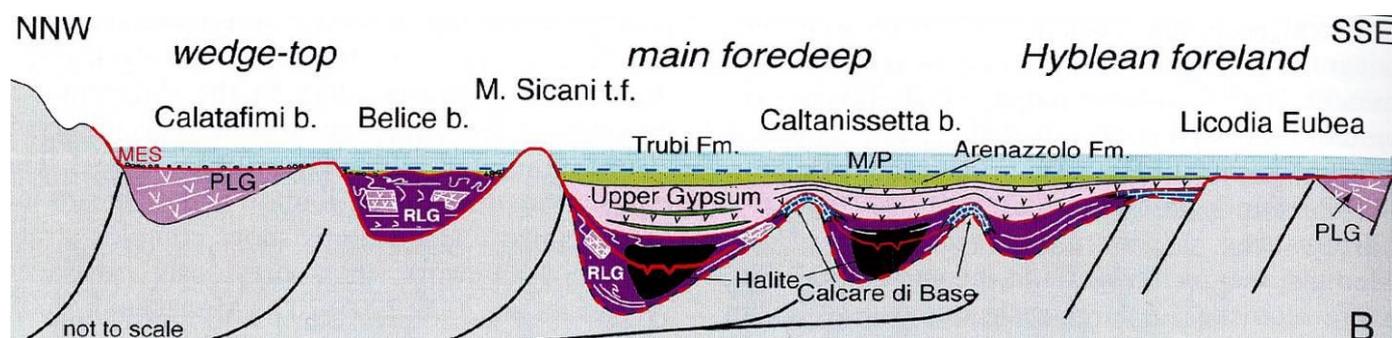


Figura 11 - Sezione geologica schematica dei bacini di avanfossa e avampaese siciliani con una ricostruzione delle relazioni stratigrafiche (Roveri et al., 2008). M/P: limite Miocene/Pliocene; MES: superficie erosionale messiniana.

I depositi RGL non sono mai associati ai PLG, che si rinvencono solo nei punti topograficamente più elevati, alla sommità dei fronti di sovrascorrimento. La base è netta e localmente erosionale, sulle diatomiti, dolomie e argille organiche interstratificate della parte alta della formazione Tripoli; una certa complicazione a livello stratigrafico deriva dal fatto che spesso, in Sicilia, i PLG si rinvencono associati a formazioni saline e al Calcare di Base.

Evaporiti inferiori: membro del Calcare di Base

Le facies evaporitiche del membro Selenitico Inferiore passano lateralmente, in eteropia, al membro del Calcare di Base (Figura 10A).

La facies più diffusa del Calcarea di Base è costituita da rocce carbonatiche autoclastiche interessate da un diffuso carsismo interstrato. La stratificazione del Calcarea di Base testimonia il ripetersi di cicli di trasgressione-regressione marina a piccola scala. Depositi di gesso selenitico primario (tipo rose del deserto) testimoniano locali situazioni di emersione temporanea, con sviluppo di carsismo. I singoli strati del Calcarea di Base, separati spesso da sottili livelli di laminiti gessose, aumentano di spessore in direzione del bacino. Il membro è troncato dalla “discordanza intra-Messiniana” (Figura 10A).

Più in dettaglio, il membro del Calcarea di Base è composto da calcari dolomitici e calcari marnosi peloidali, intercalati ad argille marnose e argilliti, con facies spesso brecciate contenenti pseudomorfi di salgemma e livelli di gesso laminato (“balatino”) e di gessareniti. Il Calcarea di Base è solitamente associato a mineralizzazioni a zolfo derivati dalla trasformazione diagenetica per riduzione batterica del gesso.

La tipica facies brecciata del Calcarea di Base è riferibile a processi autoclastici indotti dalla dissoluzione delle intercalazioni saline e gessose ad opera delle acque meteoriche di infiltrazione, con conseguente locale franamento e/o collasso in posto della sequenza stratificata (Pedley & Grasso, 1993). I debris flow che localmente ne derivavano si originavano generalmente in prossimità dei paleorilievi coevi con la deposizione dei sedimenti.

Tutte le tessiture sono controllate da una combinazione di tettonica locale e fasi di prosciugamento, all’interno di bacini sospesi tra loro strettamente interconnessi. Durante le fasi di innalzamento marino, i margini dei bacini erano diffusamente sede di deposizione di fango calcareo biomedata da batteri (Lime Mud Zone in Figura 12).

Lungo i margini meno profondi del bacino prossimale, l’intensa evaporazione ha prodotto condizioni di salinità molto elevata. In queste zone la crescita di gesso pseudomorfo era onnipresente nei sedimenti prima della diagenesi carbonatica (Pseudomorph Zone, Figura 12). A livello locale, possono essere presenti anche sottili strati di gesso intercalati.

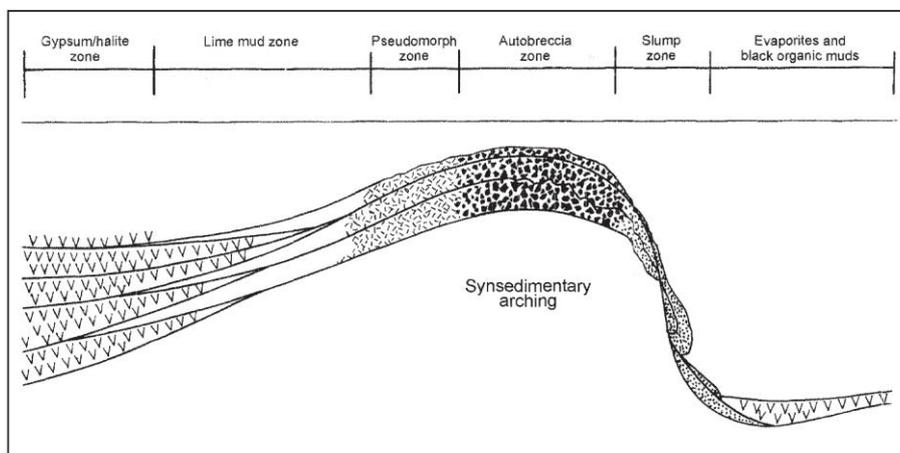


Figura 12 - Schema della distribuzione dei diversi tipi di tessiture e associazioni sedimentarie all'interno della formazione di Cattolica (Maniscalco et al., 2010).

L'inarcamento sinsedimentario dei margini del bacino superficiale (Figura 12), con o senza abbassamento eustatico, causava l'emersione dei fanghi carbonatici. Se già diagenizzati, questi calcari venivano interessati dalla dissoluzione meteorica degli pseudomorfi, cui potevano seguire dei collassi in situ (Autobreccia Zone in Figura 12). Il locale franamento lungo paleo-pendii, innescato dalla tettonica o dalle piogge che agivano su questi depositi semiconsolidati, è probabilmente all'origine della formazione di debris flows subaerei lobati, localmente ispessiti, intorno alle paleo-scarpate più ripide (Slump Zone in Figura 12).

Dall'altro lato, quando le fasi di evaporazione erano particolarmente prolungate, l'abbassamento eustatico causava il temporaneo isolamento dei bacini sospesi, che aveva come conseguenza un prosciugamento alla scala dell'intero bacino. All'interno dei bacini ossigenati (Gypsum/Halite Zone in Figura 12) avveniva la tipica precipitazione di gesso selenitico (a coda di rondine) associata a sottili intercalazioni di fanghi carbonatici.

Laddove i bacini profondi risultavano impoveriti in ossigeno, era più frequente la deposizione di fanghi neri solforosi ricchi di materia organica, in associazione a sottili livelli di evaporiti (Evaporites and Black Organic Muds, Figura 12).

Il Calcarea di Base sovrasta transizionalmente la formazione del Tripoli (quando presente) ma può anche trovarsi in transizione sulle argille della formazione di Terravecchia. L'età messiniana è determinata in base alla posizione stratigrafica. Lo spessore arriva fino a 50 m circa.

Evaporiti superiori: membro Selenitico Superiore

Il membro selenitico superiore è legato all'ulteriore abbassamento (post-Calcare di Base) del livello marino intra-messiniano, che è stato concomitante all'evoluzione di un substrato in continuo movimento tettonico. Localmente, attorno ai fianchi delle anticlinali di thrust in emersione, si sono formati dei debris-flow costituiti da brecce carbonatiche e megaruditi gessose derivanti dal collasso, verso il bacino, delle successioni marginali.

I depocentri del Messiniano superiore si sovrappongono generalmente alle strutture del Messiniano inferiore. In tal modo, le aree sopraelevate vengono bypassate dalla sedimentazione, oppure sviluppano superfici di scivolamento profonde.

Il membro superiore (Messiniano superiore; Figura 10A, in verde) è caratterizzato da spessi accumuli di gesso risedimentato e da successioni argillose che contengono interstrati ciclici di gesso balatino e selenitico. La geometria degli strati testimonia la continua deformazione tettonica della regione interessata da una lenta trasgressione.

Evaporiti superiori: la formazione di Pasquasia

La deposizione della formazione di Pasquasia, facente parte del ciclo evaporitico superiore inizia con conglomerati fluviali e di fan-delta ("a" in Figura 13), la cui attuale giacitura è dovuta alla successiva subsidenza tettonica del bacino. Essi passano stratigraficamente verso l'alto ad una spessa successione data da argille sterili ("b" in Figura 13) contenenti intercalazioni gessarenitiche di delta ("c", Figura 13) che diventano più sottili e spariscono verso sud. Corpi gessosi lenticolari ("d", Figura 13) occupano le parti più distali del bacino e probabilmente sono il risultato di brevi eventi di disseccamento. La fauna a molluschi presente nelle argille siltose sommitali intercalate alle gessareniti nelle aree distali del bacino, indica un paleoambiente iposalino.

L'unità è costituita da conglomerati e quarzareniti ciottolose alla base della successione, passanti verso l'alto ad arenarie bruno-rossastre a grana media o fine, in gruppi di strati tabulari da sottili a spessi (unità di delta-top) con base erosiva, gradazione normale, stratificazione interna da orizzontale a leggermente inclinata e stratificazione incrociata a dune. Corpi lenticolari di gesso selenitico e strati di gesso alabastrino, intercalati ad argille e marne, sono sviluppati nella parte superiore della successione e occupano le aree più distali del bacino (Figura 13).

La fauna a foraminiferi e ostracodi è stata descritta in dettaglio da Maniscalco et al. (2010) per il bacino di Corvillo: la parte inferiore contiene *Cyprideis agrigentina* dominante e/o presente insieme a *Loxoconcha mülleri* e *Candoninae indet.*, correlabili ad acque mesoaline con profondità massima di 10-15 m. La parte superiore è caratterizzata da una fauna oligotipica di ostracodi con *C. agrigentina*, *Candoninae indet.* e *Ammonia tepida*; al top di questo intervallo (calcari micritici fossiliferi) è registrata un'abbondante associazione monospecifica di ostracodi composta da *C. agrigentina* e *A. tepida* (Associazione "Cyprideis-Ammonia", Grossi et al., 2008) che indicano un paleoambiente iperalino con salinità stimata intorno al 70 ‰.

I silt e le argille del Messiniano superiore ("c" in Figura 13) contengono una fauna a molluschi oligotipica (*Dreissena rostriformis*, *Melanopsis sp.* e *Melanopsis curvicosta*) indicativa di un ambiente iposalino. L'età è tardo-messiniana.

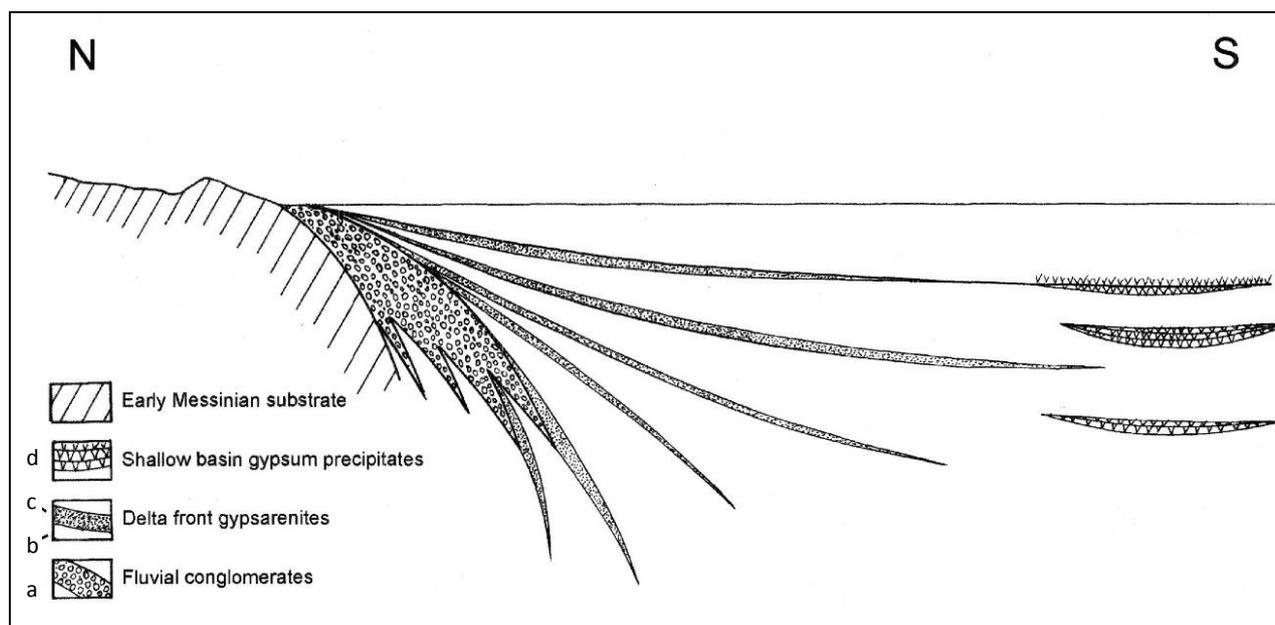


Figura 13 - Caratteristiche della sedimentazione nella formazione di Pasquasia affiorante nel bacino sintettonico di Corvillo, a N di Caltanissetta (Maniscalco et al., 2010). Il Calcare di Base del Messiniano inferiore (tratteggiato obliquo) è inciso da una superficie di erosione subaerea intramessiniana. a: conglomerati fluviali e di fan-delta; b: argille sterili; c: intercalazioni gessarenitiche di delta; d: corpi gessosi lenticolari.

4.3.4 Evoluzione dal Pliocene al Pleistocene

Nel Pliocene inferiore si instaurano nuovamente condizioni marine normali; i sedimenti del Pliocene, deposti anch'essi al di sopra e al fronte delle strutture della catena in fase di evoluzione, rappresentano una singola megasequenza, definita alla base da una superficie di massima sommersione (Pliocene inferiore) che segue il ricongiungimento del Mediterraneo con il livello marino globale, avvenuto verso la fine del Messiniano.

La stratigrafia interna di questa megasequenza comprende:

- i) la formazione dei Trubi, rocce marnoso-calcaree tipiche di un ambiente marino relativamente profondo (Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991);
- ii) la formazione delle Marne Azzurre;
- iii) una successione costiera di calcareniti con subordinate sabbie silicoclastiche.

La megasequenza registra una fase regressiva forzata dalla tettonica, in risposta al sollevamento regionale iniziato a partire dal Pliocene superiore e associato all'alleggerimento isostatico dell'hinterland dell'orogene dovuto al collasso tettonico delle falde di sovrascorrimento più interne e all'apertura del Mar Tirreno (Butler & Grasso, 1993; Butler et al., 1995a; Speranza et al., 2003).

Tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene inferiore si ha dunque un sollevamento complessivo dell'area, mentre la porzione più settentrionale della catena subisce un generale sollevamento e un successivo smembramento in blocchi lungo linee tettoniche ad andamento NW-SE e NE-SW (Ghisetti & Vezzani 1984), che determinano sollevamenti differenziati da luogo a luogo (Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991).

Alla fine del Pleistocene si verifica la definitiva emersione della catena, in concomitanza con un sollevamento regionale che coinvolge anche ampi settori di avanfossa e avampaese (Bianchi et al. 1987; Monaco et al. 2002).

I terrazzi quaternari distribuiti a varie quote lungo la fascia costiera testimoniano le oscillazioni eustatiche del livello marino medio e i movimenti tettonici a prevalente componente verticale verificatisi in questo ultimo periodo (Lentini et al. 1991; Monaco et al. 2002).

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	56 di 257

4.4 Caratteri strutturali

Dal punto di vista strutturale, la Catena Appenninico-Maghrebide è un sistema a pieghe e sovrascorrimenti (*thrust-and-fold belt*) sviluppatosi a partire dal Miocene inferiore che, come si è visto nei paragrafi precedenti, è essenzialmente costituito da successioni sedimentarie meso-cenozoiche di ambiente marino (Bianchi et al. 1987; Catalano et al. 1996; Monaco et al. 2000; Bello et al. 2000; Lavecchia et al. 2007).

La propagazione della catena a sovrascorrimenti ha interessato il dominio di avampaese fino all'area di Sciacca, dove intersecherebbe una zona deformazione crostale di cui si dirà brevemente più avanti (Ghissetti & Vezzani 1984; Lavecchia et al. 2007). Come rappresentato in *Figura 14*, il livello basale dei *thrust* della catena si estende quindi a partire dall'estremità occidentale dell'isola, forma un arco convesso che attraversa il Canale di Sicilia tra Sciacca e Gela e rientra quindi nella parte sudorientale dell'isola proseguendo da Gela fino a Catania (Bonardi et al. 1976; Lentini et al. 1995; Catalano et al. 1996; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000).

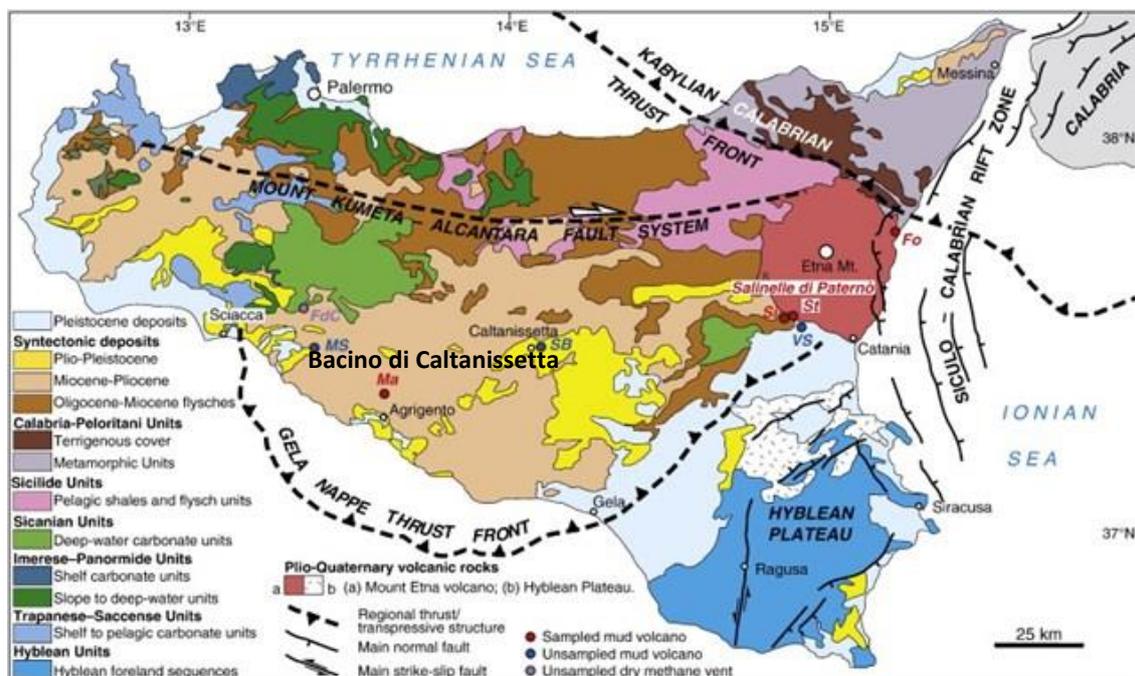


Figura 14 – Carta strutturale della Sicilia

La configurazione regionale della catena e i rapporti geometrici tra le differenti successioni tettonostratigrafiche affioranti, si sono delineati nell'arco di tutta la storia deformativa polifasica.

I contatti tettonici di sovrascorrimento sono essenzialmente di due tipi, distinguibili in base al loro significato tettonico e alla geometria delle strutture:

- I **contatti di ricoprimento tettonico** corrispondono a superfici a geometria suborizzontale, estese decine di chilometri, associate a una notevole traslazione tra successioni di diversa origine paleogeografica. Queste strutture sono associate a grandi fenomeni di scollamento, che si propagano dagli elementi litosferici più profondi agli orizzonti cristallini superficiali, tra le coperture sedimentarie e il basamento, o tra le sequenze flyschoidi e il loro substrato carbonatico.

Questi sovrascorrimenti possono verificarsi a varie scale, localmente anche all'interno delle singole successioni meso-cenozoiche, con la caratteristica comune di mantenere inalterati i rapporti tra le unità al letto e al tetto della struttura, anche per grandi distanze.

L'età dei ricoprimenti varia, con un generale ringiovanimento verso le aree esterne della catena.

Nell'assetto attuale i ricoprimenti non conservano sempre la giacitura originaria, essendo ripiegati e dislocati da strutture contrazionali più recenti che si sono costantemente succedute agli eventi di ricoprimento. La geometria dei piegamenti all'interno dei ricoprimenti sembra seguire le lunghezze d'onda delle pieghe delle unità al letto, mentre le strutture plicative delle unità al tetto sono, nella maggior parte dei casi, totalmente disarmoniche rispetto a quelle del contatto tettonico basale.

- I **sovrascorrimenti secondari** derivano dall'attivazione di faglie inverse che tagliano i contatti di ricoprimento e possono dare origine a sovrapposizioni fuori sequenza rispetto ai rapporti tettonostratigrafici originari. Queste strutture possono essere confuse con superfici di sovrascorrimento ad alto angolo radicate nei sovrascorrimenti basali dei ricoprimenti tettonici.

Sono anche frequenti fenomeni di retrovergenza che generano sistemi sia di thrust sia di pieghe con fianchi rovesciati verso nord.

Come già detto, i fenomeni di scollamento hanno comportato la migrazione di notevoli volumi di terreni flyschoidi verso le aree esterne della catena. Il Sistema a Thrust Esterno, legato alle fasi più recenti, ha notevolmente influenzato l'evoluzione delle coltri soprastanti, che tendono a rimobilizzarsi, subendo ulteriori fenomeni di trasporto orogenico, o ad adeguarsi in varia maniera al cambiamento di geometria

della catena.

Meccanismi di adeguamento di elementi superficiali alla tettonica profonda, sovente espressa da culminazioni strutturali, possono spiegare l'estensione chilometrica delle coltri argillose come le Sicilidi, le Argille Brecciate, o le alternanze argilloso-arenacee del Flysch Numidico alloctono.

L'intero sistema a thrust è inoltre interrotto da numerose faglie inverse e transpressive (Lavecchia et al. 2007). In particolare, l'interpretazione dei profili sismici CROP (Finetti et al. 2005) ha permesso di evidenziare come la tettonica trascorrente osservata in superficie sia radicata in profondità, ove la sua espressione è rappresentata da discontinuità ad alto angolo che interrompono l'edificio a falde e giungono anche a dislocare la crosta profonda. Le principali faglie di questo tipo hanno direzione da NW-SE a WNW-ESE e presentano localmente un sistema coniugato NE-SW (*Figura 15*). A tali faglie principali sono associate strutture transpressive a direzione E-W (Linea Kumeta-Alcantara), originariamente ritenute strutture principali (Ghisetti e Vezzani, 1984) e recentemente reinterpretate come correlabili alle principali NW-SE.

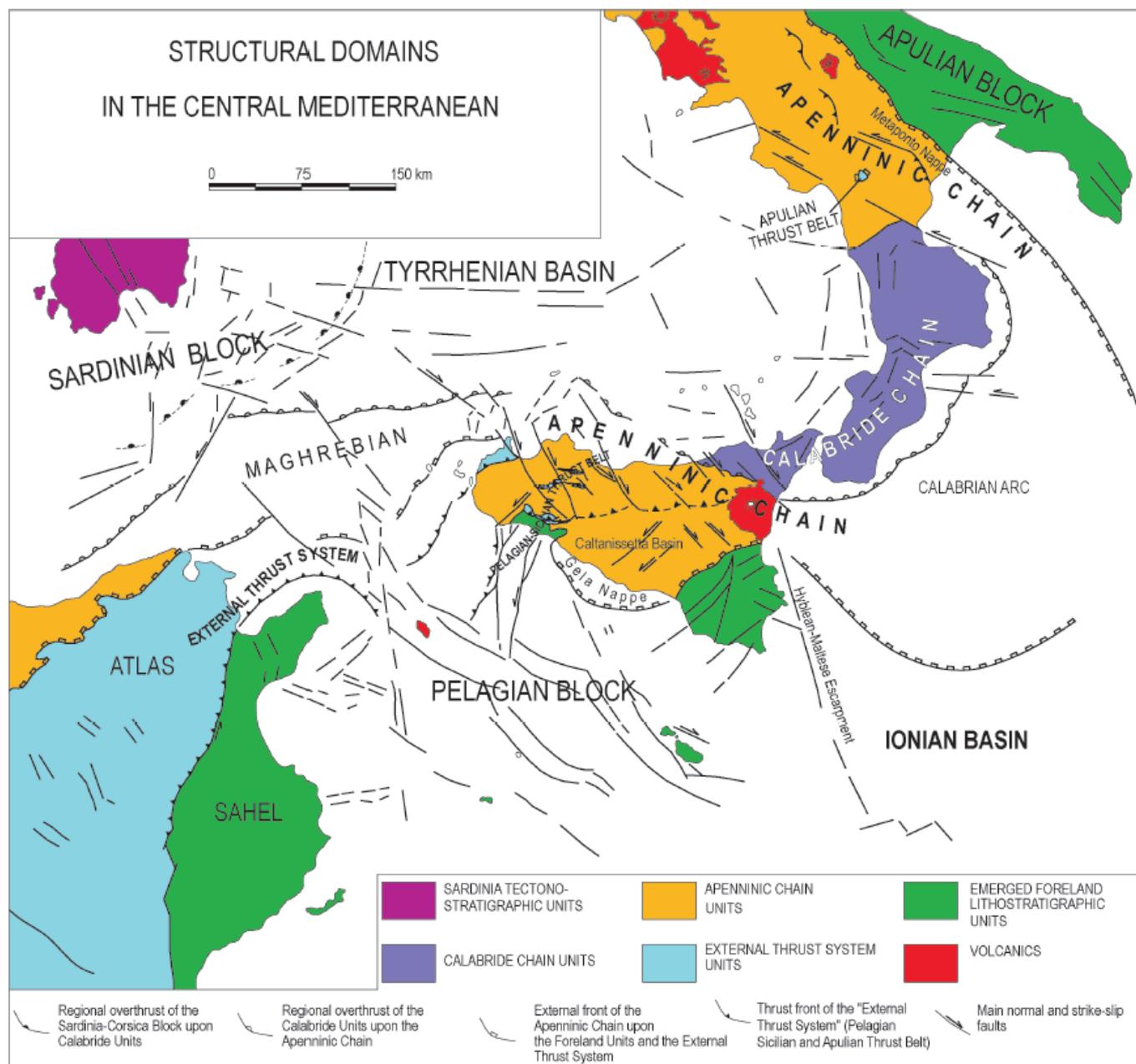


Figura 15 – Ricostruzione schematica della Catena Appenninico-Maghrebide (da Finetti et al. 2005, modificato da Figura 2).

Il thrust basale di cui si è detto in precedenza, nella zona di Sciacca sembra interrompersi contro un fascio di strutture trascorrenti ad alto angolo con direzione NW-SE nel settore a nord del thrust e NNE-SSW a sud del thrust. Queste strutture dovrebbero costituire delle discontinuità primarie a livello di tutta la crosta che svincolano lateralmente settori di catena attigui ma con evoluzione strutturale

reciprocamente indipendente. Lo schema di *Figura 16* permette di chiarire in maggior dettaglio la situazione appena illustrata e più in generale l'assetto strutturale del settore siculo.

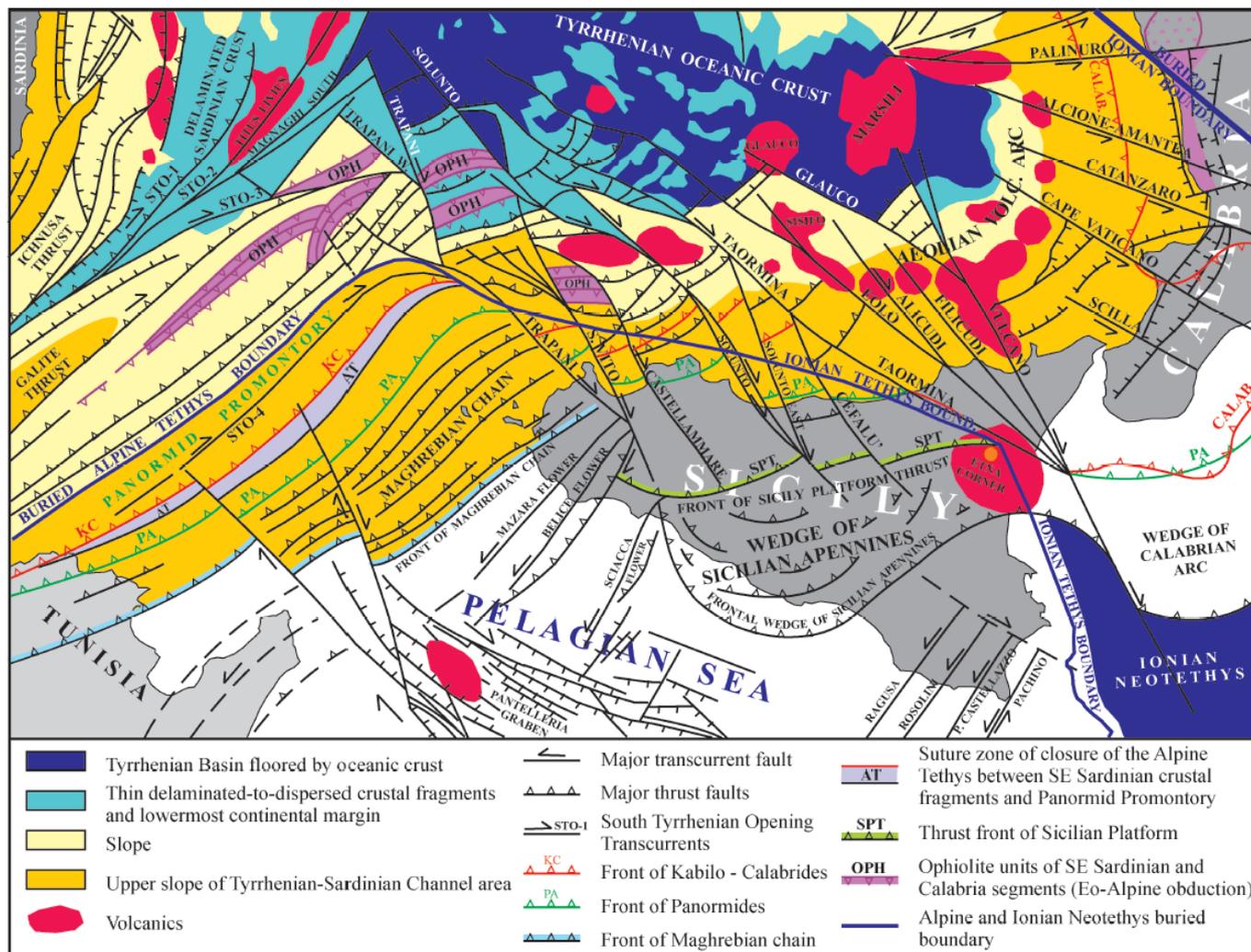


Figura 16 – Schema tettonico della Sicilia e delle aree adiacenti con la ricostruzione dei principali sistemi di thrust e faglie trascorrenti (Finetti ed al., 2005).

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. C	FOGLIO 61 di 257
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	---------------------

5 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DI DETTAGLIO NELL'AREA DI PROGETTO

L'assetto litostratigrafico dell'area di progetto è stato ricostruito integrando i dati bibliografici disponibili con le informazioni dedotte da fotointerpretazione e da rilievi geologici di terreno, oltre che attraverso il confronto con i dati delle indagini in sito, eseguite sia nella presente fase di progettazione definitiva, sia nella precedente fase di progettazione preliminare.

Lo schema strutturale generale di Figura 17, derivato dal foglio CARG "Caltanissetta" e quindi riferito all'estremità orientale del tracciato di progetto, ma tuttavia valido nei suoi caratteri generali per l'intero lotto in esame, mostra una serie di unità di substrato, formatesi a partire dal Burdigaliano inferiore, strutturate in sovrascorrimenti con vergenza meridionale che formano l'ossatura della catena.

La successione stratigrafica è riassunta schematicamente nella colonna di *Figura 18*, anche questa riferita al solo bacino di Caltanissetta (Maniscalco et al., 2010), ma estrapolabile, per quanto riguarda la schematizzazione dei rapporti stratigrafici, all'intero corridoio di progetto.

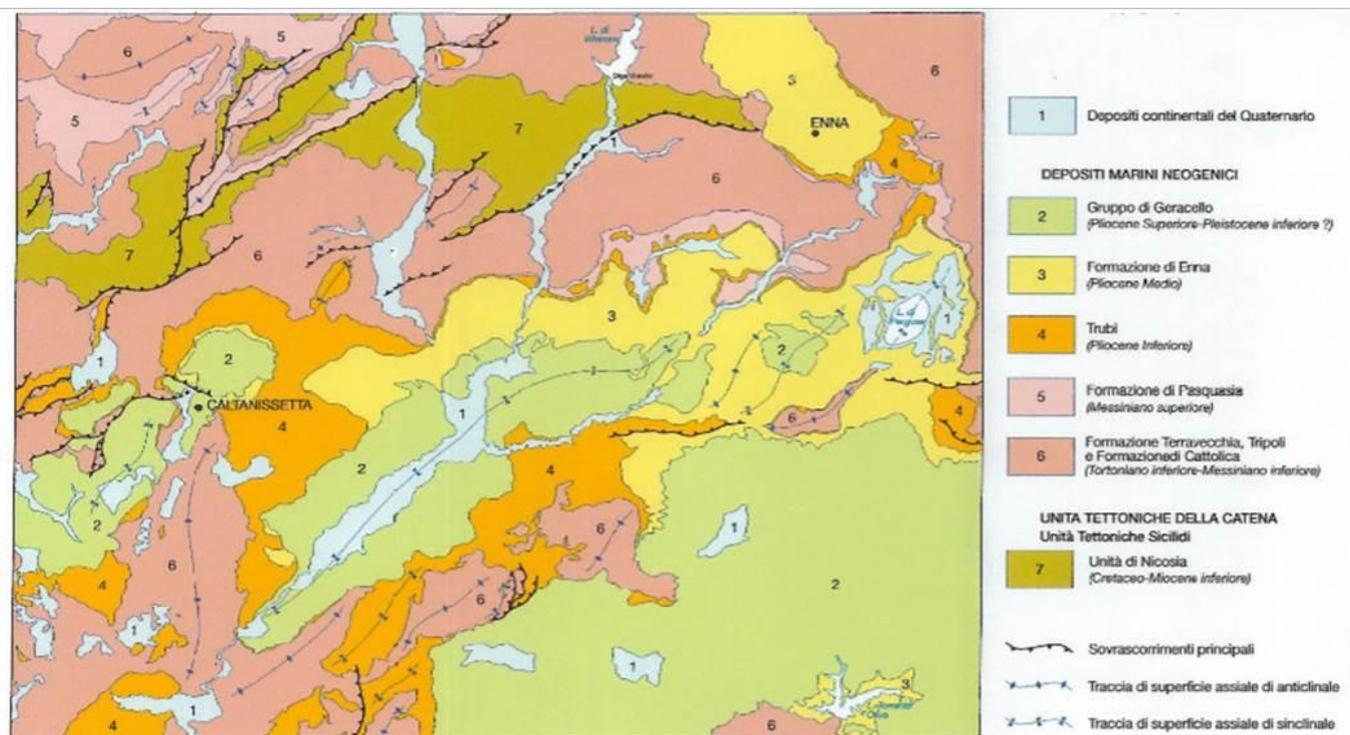


Figura 17 – Schema tettonico del Foglio 631 Caltanissetta (ISPRA, 2014).

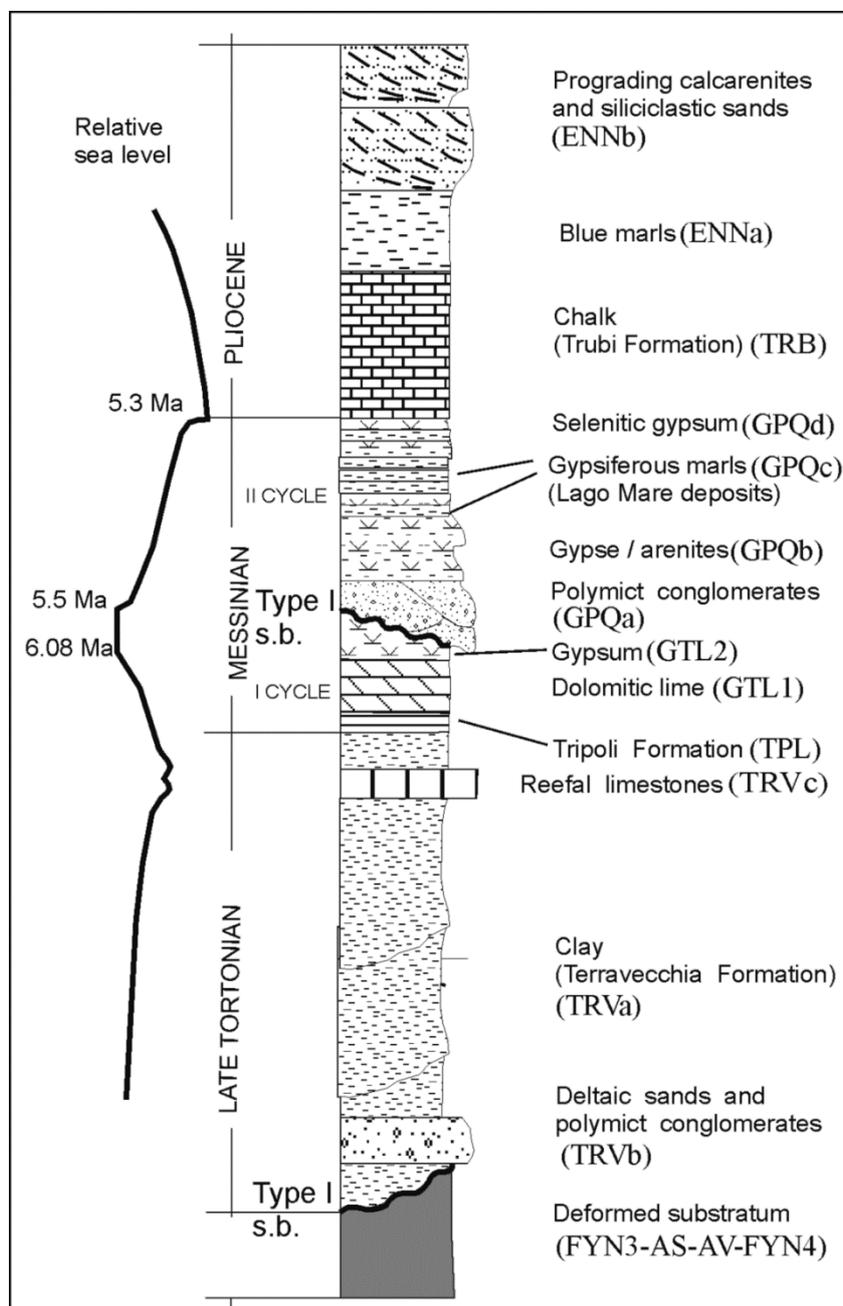


Figura 18 - Colonna stratigrafica dell'area del bacino di Caltanissetta (Maniscalco et al., 2010), estrapolabile al settore di studio. Si noti che le sigle TRVa e TRVb indicate in figura e relative alla formazione Terravecchia, non corrispondono ai codici utilizzati nelle carte e nei profili di progetto, che sono TRV e TRVa rispettivamente; la sottounità TRVc non affiora nell'area di studio.

Si distinguono in sostanza due elementi principali: i) il substrato deformato cretaco-burdigaliano a dominante componente argillosa, esposto lungo i margini meridionali e settentrionali dei bacini e

localmente al nucleo di alcune delle anticlinali maggiori e ii) la sequenza stratigrafica dei bacini di *thrust-top*.

Il termine substrato viene qui riferito alle successioni tettonostratigrafiche della Catena Appenninico-Maghrebide già impilate per sovrascorrimento prima o durante la sedimentazione dei depositi sin-orogenici (ovvero dei termini del cosiddetto Bacino di Caltanissetta). Nel settore in esame esso è costituito da elementi sicilidi e numidici.

I bacini di *thrust-top* sono invece quelli in cui si sono formati i depositi sin-orogenici, la cui stratigrafia è dominata dalle argille e marne della formazione Terravecchia (Tortoniano superiore), dalle evaporiti messiniane e dalle marne e calcareniti plioceniche che chiudono la successione.

5.1 Stratigrafia del substrato deformato

Il substrato deformato della regione comprende due principali unità tettoniche appartenenti al Bacino del Flysch Numidico: a) Unità di Nicosia e b) Unità di Geraci Siculo.

5.1.1 Unità di Nicosia

L'unità di Nicosia è un'unità di pertinenza Sicilide. Essa è costituita, dal basso verso l'alto, dalle seguenti formazioni (Maniscalco et al., 2010):

- Argille Scagliose (AS)
- Argille Variegate (AV)
- Flysch Numidico - membro di Nicosia (FYN4).

Solo le ultime due formazioni sono rappresentate nell'area di studio.

5.1.1.1 Argille scagliose (AS)

Le Argille Scagliose sono costituite da argille da grigie a rosse e verdi, mal stratificate e con struttura caotica a scala decimetrica, con interstrati di radiolariti grigio-verdi e rosse e interstrati da centimetrici a decimetrici di quarzareniti e calcareniti. Contengono associazioni di foraminiferi del Cretacico superiore con *Rotalipora spp.*, *Globigerinelloides spp.*, *Hedbergella spp.*, *Heterohelix spp.* L'età è compresa tra il Cretacico superiore e, dubitativamente, l'Eocene inf. (Carbone et al., 1990). Vengono qui citate solo a

scopo di completezza e perché affiorano in aree molto prossime a quella rilevata, ma di fatto nella zona di studio non sono presenti.

5.1.1.2 Argille Variegata (AV).

Questi depositi sono costituiti da argille grigio-verdi e rosse scagliettate e debolmente stratificate, a struttura caotica, con intercalazioni decimetriche di radiolariti grigio-verdi e rossastre a frattura prismatica, silt micacei, quarzareniti fini, calcisiltiti e calcareniti grigie e nocciola con patine manganesifere e interstrati di microconglomerati. Verso l'alto passano gradualmente ad argille rosse con *Tubotumaculum*. Le Argille Varicolori (o Argille Variegata) si presentano in affioramenti poco estesi, generalmente alla base del Flysch Numidico.

Il contenuto faunistico comprende foraminiferi agglutinati come *Cyclamina acutidorsata*, *Glomerina sp.* e *Hyperammina sp.* I livelli superiori contengono una fauna con *Globorotalia opima nana*, *Catapsydrax stainforthi*, *Globigerinoides trilobus immaturus*.

Si tratta di una successione estremamente tettonizzata caratterizzata dalla presenza di numerose zone di taglio, al cui interno si possono rinvenire, inclusi tettonicamente, blocchi di dimensioni variabili da poche decine di metri fino a qualche chilometro, riferibili a formazioni appartenenti a differenti domini paleogeografici. In particolare, blocchi di basalti afirici (γ), calcari detritici di piattaforma con frammenti di echinidi, rudiste e alghe (cr), calcari marnosi biancastri e marne rosate tipo "Scaglia" con associazioni a foraminiferi planctonici (sc) e blocchi di arenarie glauconitiche grigio-verdastre con intercalati livelli di marne grigio-brune (ag).

La formazione affiora localmente nei settori centrale e occidentale dell'area di studio, in corrispondenza del versante NW del Cozzo del Corvo (Monte Capodarso) e presso la stazione di Caltanissetta-Xirbi. Lo spessore di questa successione è difficilmente definibile e in affioramento è comunque superiore a 300 metri. L'ambiente di deposizione è riferibile a una piana batiale e base scarpata; l'età è Cretacico - Oligocene inferiore.

5.1.1.3 Flysch Numidico - membro di Nicosia (FYN4).

Il membro di Nicosia è composto da prevalenti argille e argille siltose di colore bruno, con interstrati siltitici di spessore da decimetrico a centimetrico e di quarzoareniti torbiditiche bruno-giallastre e

conglomerati giallo-marroni in strati spessi 1-2 m. Questi livelli silicoclastici torbiditici mostrano frequenti strutture di flusso (groove, load cast) e strati gradati.

Le argille contengono i seguenti foraminiferi planctonici del Miocene inferiore (burdigaliano): *Globoquadrina dehiscens*, *Globigerinoides subquadratus*, *Globigerinoides trilobus* e *Paragloborotalia acrostoma*.

I litotipi che compongono le bancate più competenti sono molto fratturati e sono frequenti livelli di breccie di frizione concentrati lungo numerose strutture di taglio. In affioramento la formazione presenta spessori massimi di circa 300 metri, mentre è stata attraversata al di sotto dei sedimenti tortoniani della formazione Terravecchia, per circa 700 metri dal sondaggio Caltanissetta 001² e per circa 2000 metri dal sondaggio Morello 001³.

5.1.2 Unità di Geraci Siculo (FYN5)

Benché questa unità sia stata formalizzata nell'ambito di questo lavoro, essa non è ufficialmente definita in letteratura, poiché include solo il così detto membro di Geraci Siculo (FYN 5) del Flysch Numidico. Tale membro costituisce una parte del Flysch Numidico originariamente più esterno che rappresentava la copertura oligo-miocenica delle Unità Panormidi e corrisponde al membro di Geraci di Ogniben (1960) ("Unità Maragone" di Bianchi et al., 1987). L'unità è strutturata in una serie di duplicazioni tettoniche embricate, che tendono a radicarsi in profondità al tetto delle piattaforme carbonatiche panormidi.

La successione è caratterizzata da litofacies pelitiche o pelitico-arenacee fino a esclusivamente arenitiche. L'intervallo basale è costituito da argilliti nerastre a stratificazione indistinta, passanti verso l'alto a sottili alternanze di argilliti nerastre e quarzosiltiti brunastre e ad argille brune, cui si intercalano quarzareniti giallastre in grossi banchi, più frequenti nella parte medio-alta della successione. Le areniti hanno grana da fine a grossolana; sono inoltre presenti livelli e passate di conglomerati gradati e/o caotici in abbondante matrice quarzosa.

² http://www.videpi.com/deposito/pozzi/profilo/pdf/caltanissetta_001.pdf

³ http://www.videpi.com/deposito/pozzi/profilo/pdf/morello_001.pdf

La porzione argillosa basale della formazione contiene diatomee, radiolari e rari foraminiferi planctonici tra cui *Catapsydrax cf. dissimilis* e *Globorotalia opima nana* di età Oligocene superiore. Nei livelli sommitali sono presenti *Paragloborotalia siakensis* e *Globigerinoides trilobus* riferibili al Burdigaliano superiore, e nannofossili caratterizzati da *Helicosphaera ampliapertura* e *Sphenolithus heteromorphus*. I livelli quarzoarenitici sono sterili o contengono rare forme di foraminiferi agglutinanti.

L'età della formazione è Oligocene superiore–Burdigaliano. La successione è più volte scagliata tettonicamente, simulando uno spessore apparente tra 400 e 800 m. L'ambiente è riferibile a una conoide torbiditica.

5.2 Stratigrafia del bacino di thrust-top

5.2.1 Formazione Terravecchia (TRV).

La formazione Terravecchia è composta nella parte basale da conglomerati fluvio-deltizi e da sabbie di ambiente marino poco profondo (TRVa), cui segue un'unità a grana più fine, argilloso-marnosa (TRV), spesso caratterizzata da un'associazione faunistica francamente marina. Localmente si rinvencono facies argilloso-limose a struttura brecciata, scagliosa o indistinta (TRVb), con livelli di sabbie limose grigie, ghiaie poligeniche da angolose a subangolose, argille marnose e argilliti di colore grigio-verdastro, a struttura brecciata o finemente scagliosa, e olistoliti eterometrici di quarzareniti derivanti dal Flysch Numidico e argille variegata.

Nella carta del CARG (Foglio Caltanissetta) queste tre facies principali sono descritte come segue:

- TRV: membro pelitico argilloso (Figura 19). Argille limose e argille marnose di colore grigio, grigio-azzurro e grigio-verdastro, marrone per alterazione, a struttura scagliosa o sottilmente stratificata, talora laminate e con strati irregolari e lentiformi, con frequenti livelli millimetrici di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; a luoghi si rinvencono passaggi di marne, marne argillose e argilliti di colore grigio e grigio-verdastro, a struttura scagliosa o sottilmente stratificata.
- TRVa: membro sabbioso–conglomeratico (Figura 20). Arenarie e conglomerati a clasti poligenici ad elementi eterometrici carbonatici, silicei, cristallini, graniti e porfiriti dacitico-andesitiche, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, rosso e

giallastro, generalmente abbondante, da poco a ben cementata; a luoghi sono presenti intercalazioni di arenarie giallastre e livelli di sabbie grossolane grigie e rossastre, in strati da sottili a spessi.

- TRVb: membro brecciato. Argille, argille limose e limi argillosi di colore grigio e marrone, a struttura brecciata o a blocchetti poliedrici, talora scagliosa o indistinta, con locali livelli di sabbie limose grigie e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose; a luoghi si rinvencono passaggi di argille marnose e argilliti di colore grigio-verdastro, a struttura brecciata o finemente scagliosa, e olistoliti eterometrici di quarzareniti derivanti dal Flysch Numidico e argille variegata.



Figura 19 – Affioramento della litofacies argilloso-marnosa della formazione Terravecchia (TRV), in contrada Giumentarello nel comune di Enna.



Figura 20 – Affioramento della litofacies arenaceo-conglomeratica della formazione Terravecchia (TRVa), in località Castellana (S.S. 121 incrocio S.P. 112).

L'unità mostra brusche variazioni laterali di facies e di spessore, essendosi depositata alla sommità e al fronte degli alti strutturali in fase di innalzamento. Essa include anche formazioni di patch-reef che occupano la sommità di paleorilievi locali, non affioranti nell'area di studio.

La formazione Terravecchia affiora con continuità nell'area di studio e appoggia in discordanza sopra alle unità del substrato deformato (Argille Variegate e Flysch Numidico). Le argille e argille marnose della formazione Terravecchia sono caratterizzate da associazioni di microfauna a *Neogloboquadrina acostaensis*, *Globigerinoides obliquus extremus*, *Globorotalia suterae* e *G. saheliana* della Zona a *Globigerinoides obliquus extremus* del Tortoniano superiore (Iaccarino, 1985).

La parte superiore della formazione Terravecchia, poggiante sugli alti strutturali e passante superiormente alla formazione del Calcere di Base, contiene i foraminiferi planctonici *Globorotalia conomiozea* e *Globorotalia mediterranea* indicanti un'età Messiniana inferiore (Zona a *Globorotalia conomiozea*), coeva con la base della formazione del Tripoli.

Lo spessore in affioramento è di 100-150 m e l'età va dal Tortoniano superiore al Messiniano inferiore.

5.2.2 *Formazione del Tripoli (TPL)*

Localmente, la formazione di Terravecchia passa superiormente alla formazione nota come Tripoli, rappresentata da depositi di bacino euxinico del Messiniano inferiore, costituiti da diatomiti e marne diatomitiche laminate e fissili da bianche a grigio chiaro con resti di pesci, alternate a marne laminate con abbondanti foraminiferi planctonici, talora bituminose, torbaniti (sapropel) e calcari marnosi. Lo spessore non supera di norma i 40 metri.

I depositi del Tripoli, formati all'interno di bacini marini confinati o isolati, sono parzialmente equivalenti nel tempo alla formazione di Terravecchia e sono caratterizzati da una ciclicità litologica ben sviluppata. L'analisi della microfauna mostra associazioni dominate da foraminiferi planctonici, abbondanti diatomee e coccoliti, meno frequentemente da radiolari, spicole di spugna e resti di pesci (*Bregmaceros sp.*, *Myctophum sp.* e *Syngnathus sp.*; Grasso et al., 1990) e dinoflagellati.

La presenza di *Globigerinoides obliquus extremus*, *Turborotalita multiloba* e *Neogloboquadrina acostaensis destrorsa* è indicativa del Messiniano pre-evaporitico (Iaccarino et al., 2008). Gli spessori arrivano fino a 40 m, raggiungendo localmente 70-80 m (Contrada Gaspa, Grasso et al., 1990).

5.2.3 *Gruppo della Gessoso-Solfifera*

Il termine "Gruppo della Gessoso-Solfifera" è qui utilizzato informalmente per riunire in un unico elemento tutti i depositi riferibili al ciclo evaporitico messiniano. L'area di progetto include termini di entrambe le formazioni principali del Gruppo della Gessoso-Solfifera, ovvero:

- la formazione di Cattolica, che include a sua volta il Calcare di Base, il membro Selenitico Inferiore e il membro Salino Inferiore;
- La formazione di Pasquasia.

5.2.3.1 *Formazione di Cattolica (GTL).*

Membro del Calcare di Base (GTL1).

In affioramento il Membro del Calcare di Base comprende calcari cristallini bianco-grigiastri massivi, calcari laminati e calcari stromatolitici in banchi talora disarticolati, contenenti livelli lenticolari di calcari brecciati, separati a luoghi da livelli centimetrici di peliti grigiastre.

Talora, all'interno dei banchi carbonatici sono presenti pseudomorfi di cristalli di salgemma e lamine di gesso le quali possono a luoghi costituire livelli lenticolari potenti fino a circa 2 metri.

Lo spessore di questa litofacies è variabile da pochi metri fino a circa 50 metri.

Membro Selenitico (GTL2).

Il membro è costituito da gesso selenitico primario (Figura 21), dominato da grandi cristalli geminati a coda di rondine e da laminiti gessose ("Gessi di Cattolica", Decima & Wezel, 1971) in strati fino a 2 m di spessore. Questi si alternano a strati a scala decimetrica di gessi microcristallini sottilmente laminati argille gessose da bianche a grigio-nere, marne bituminose spesso prive di foraminiferi e locali intercalazioni di laminiti algali e gessosiltiti di colore grigio e biancastro, in strati da molto sottili a sottili.



Figura 21 - Gesso selenitico della formazione di Cattolica (GTL2), versante NE del Monte Stretto (Enna).

Il membro Selenitico si trova in posizione stratigrafica sia al di sopra del Calcare di Base sia in eteropia con quest'ultimo, o anche direttamente sopra alle formazioni di Terravecchia o del Tripoli. È spesso ampiamente coperto da depositi antropogenici derivanti dall'attività estrattiva presso diverse miniere abbandonate. Nell'area di studio si rinviene in affioramento a intorno ai rilievi del Monte Stretto e della Rocca di Enna.

Lo spessore varia da pochi metri fino a circa 80-100 metri ma localmente il membro può ridursi fino a

scompare. L'età è messiniana.

Membro Salifero (GTL3).

Queste evaporiti non affiorano in superficie nell'area di studio, ma sono state incontrate in diversi sondaggi a carotaggio continuo nell'area a SE dell'imbocco SE della Galleria Marianopoli. In generale, anche quando potrebbero essere presenti in affioramento, esse sono in genere completamente smantellate da fenomeni di dissoluzione superficiale e mascherate da depositi di versante. La loro presenza in sottosuolo è spesso testimoniata dalla diffusa presenza di sorgenti, con portata estremamente ridotta, da cui fuoriescono acque sature in sali e brine.

Le evaporiti sono principalmente costituite da NaCl (salgemma) con intercalati livelli di sali potassico-magnesiaci (kainite). La roccia è caratterizzata da un agglomerato cristallino, con tipici cristalli di cloruro di sodio a morfologia cubica e talvolta con mineralizzazioni solfifere. A luoghi si riconoscono intercalazioni di anidriti (1-10 cm) e argilliti rosse. Lo spessore varia da pochi metri fino ad un massimo di circa 500 metri.

I log dei pozzi minerari spesso non raggiungono la base dei sali. Tuttavia, in alcuni pozzi è possibile trovare sedimenti riferiti alle formazioni di "Cattolica" e "Tripoli" (argille, gesso, sedimenti bituminosi). L'età è messiniana.

5.2.3.2 Formazione di Pasquasia (GPQ).

La formazione di Pasquasia (ciclo evaporitico superiore) è un deposito clastico che giace in discordanza sulla formazione di Cattolica, ma localmente anche sopra alle argille della formazione di Terravecchia.

Comprende depositi marini di laguna e di bacino evaporitico, costituiti da una singola litofacies a composizione marnoso-gessosa, in contatto stratigrafico discordante sulla Formazione di Cattolica. Lo spessore generalmente non supera i 100 m.

Litologicamente l'unità comprende marne, marne argillose e argille marnose di colore grigiastro con livelli di sabbie rosso brunastre. Sono inoltre molto frequenti, soprattutto in sondaggio, delle argille di tipo "mud-breccia", con tessitura caotica a supporto di matrice e con clasti da centimetrici a pluridecimetrici prevalentemente gessosi e carbonatici.

Ai litotipi suddetti si aggiungono, inoltre, delle argille con fitte intercalazioni di lamine gessose e con

alternati strati e banchi di potenza metrico-decаметrica (GPQa) di gessoareniti, talora a struttura alabastrina, di gesso selenitico, di torbiditi gessose e, nei livelli apicali, di limitati intervalli di gesso balatino. Localmente le gessoareniti sono mineralizzate a salgemma.

5.2.4 Gruppo di Geracello

I depositi che seguono il ciclo messiniano e che concorrono a costituire la megasequenza pliocenico-pleistocenica sono stati qui informalmente inclusi nel Gruppo di Geracello.

5.2.4.1 Formazione dei Trubi (TRB)

La formazione dei Trubi è rappresentata da depositi marini di scarpata e di bacino pelagico profondo del Pliocene inferiore (Zancleano), poggianti in discordanza sulla Formazione di Pasquasia e costituiti da due differenti litofacies a composizione marnoso-calcareo (TRB) e argilloso-brecciato (TRBa).

La litofacies marnoso-calcareo (TRB) consiste di marne calcaree (Figura 22) e calcari micritici marnosi di colore biancastro, talora bruno e giallastro, in strati da sottili a medi (decimetrici), in genere intensamente fratturati e a frattura concoide, con abbondanti foraminiferi planctonici. Localmente si rinvencono livelli calcareo-marnosi in strati di spessore metrico e strutture da deformazione sinsedimentaria, quali livelli caoticizzati e brecce intraformazionali.

La litofacies argilloso-brecciato (TRBa) comprende argille, argille limose e limi argillosi di colore grigio, grigio-verdastro e marrone, a struttura brecciata o a blocchetti poliedrici, talora scagliosa o indistinta, con locali livelli di sabbie limose grigie e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose; localmente si rinvencono livelli di argille marnose e argilliti di colore grigio-verdastro, a struttura brecciata o finemente scagliosa e olistoliti eterometrici di gessi, calcari evaporitici e argille variegata.

L'abbondante associazione planctonica alla base della formazione è caratterizzata dalla concomitante presenza di *Globorotalia margaritae* e *G. puncticulata*.

Lo spessore massimo riconosciuto della formazione è di circa 100 m.



Figura 22 - Affioramento della litofacies marnoso-calcareo dei Trubi, versante NE del Monte Stretto (Enna).

5.2.4.2 Formazione di Enna

Si tratta di depositi marini di piattaforma continentale e piana fluvio-deltizia, costituiti da due differenti litofacies a composizione arenaceo-sabbiosa e argilloso-marnosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui Trubi, sul Gruppo della Gessoso-Solfifera e sulla Formazione Terravecchia. Lo spessore massimo è di circa 320 m.

La formazione di Enna è costituita da un intervallo basale di marne azzurre (Marne di Enna, ENNa) e nella parte superiore da una successione di calcareniti costiere con subordinati apporti di sabbie silicoclastiche (Calcareniti di Capodarso, ENNb; Roda, 1967).

Le Marne di Enna (ENNa) sono argille marnose e marne di colore grigio e grigio-azzurro, grigio-biancastre all'alterazione, a frattura concoide e stratificazione poco evidente, con locali passaggi di marne grigie; localmente si rinvencono sottili intercalazioni di sabbie, sabbie limose e arenarie grigie e giallastre, più frequenti verso il top della successione, gradualmente passante verso il membro soprastante. Le marne contengono un'associazione di foraminiferi planctonici con *Globigerina bulloides*, *Globigerinoides elongatus*, *Globorotalia bononiensis*, *G. crassaformis aemiliana* e rara

Sphaeroidinellopsis seminulina.

Lo spessore massimo è di 200 m, l'età è riferibile al Pliocene medio.

Le Calcareniti di Capodarso (ENNb) sono costituite da calcareniti e arenarie a cemento calcareo di colore grigio e giallastro, clinostratificate e a stratificazione incrociata, con diffusi livelli di biocalcareniti a frammenti di molluschi (Figura 23), rodoliti ed echinodermi; localmente si rinvencono passaggi di sabbie silicoclastiche e sabbie limose grigie e giallastre, in strati da molto sottili a medi con laminazione incrociata e cliniformi, da sciolte a poco cementate (Figura 24).

Contengono una ricca fauna (non diagnostica) a *Pecten sp.*, *Venus sp.*, *Lucina sp.*, *Ostrea sp.* Lo spessore è di 50-70 m. L'età è dubitativamente assegnata al Pliocene superiore data l'assenza di fauna distintiva.



Figura 23 - Calcareniti bioclastiche a resti di pettinidi, versante occidentale della Rocca di Enna.



Figura 24 - Litofacies sabbiosa della formazione di Enna (ENNb), ai margini dell'omonimo centro abitato.

5.3 Depositi continentali quaternari

I depositi quaternari che si rinvengono lungo il corridoio di progetto sono costituiti essenzialmente da depositi alluvionali di diverse età e da depositi detritico-colluviali derivanti dall'accumulo dei prodotti della disgregazione e alterazione dei litotipi del substrato.

5.3.1 Depositi Alluvionali

5.3.1.1 Depositi alluvionali antichi

I depositi alluvionali antichi (Pleistocene sup. - Olocene) si rinvengono in genere lungo superfici subpianeggianti e a morfologia attenuata, sopraelevate rispetto all'alveo attuale dei corsi d'acqua. Si tratta di depositi di alveo fluviale, piana esondabile, meandro e conoide alluvionale, a dominante composizione sabbioso-ghiaiosa, di spessore massimo inferiore a 20 m.

Comprendono:

- ghiaie poligeniche ed eterometriche, a clasti da subangolosi ad arrotondati, con tessitura da clast- a matrix-supported in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone, bruno e giallastro, da scarsa ad abbondante;
- limi sabbiosi e sabbioso-argillosi, con livelli di argille e argille limose nei quali la frazione

grossolana è subordinata o assente.

- locali paleosuoli nerastri poco evoluti e livelli di sabbie limose, limi sabbiosi e limi argillosi di colore marrone, con diffuse ghiaie poligeniche da subangolose ad arrotondate.

5.3.1.2 *Depositi alluvionali recenti*

I depositi alluvionali recenti (Olocene) costituiscono la maggior parte delle piane alluvionali dei fondovalle attuali (sia principali sia secondari); nei fondovalle principali i depositi recenti risultano sovente terrazzati o incisi da paleoalvei non riattivabili. Sono inclusi in questo gruppo depositi di alveo fluviale, piana esondabile, meandro e conoide alluvionale a dominante composizione sabbioso-ghiaiosa, con spessore massimo dedotto dalle stratigrafie dei sondaggi dell'ordine dei 15 m ca.

Dal punto di vista litologico comprendono limi e limi argillosi con subordinate sabbie e sabbie limose di colore marrone, grigio e giallastro, a stratificazione più o meno ben definita, talora con laminazione incrociata, con abbondanti ghiaie poligeniche da subangolose ad arrotondate; sovente si rinvencono lenti e livelli da metrici a plurimetrici di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da subangolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone e grigio-giallastro, da scarsa ad abbondante.

5.3.1.3 *Depositi alluvionali attuali*

I depositi alluvionali attuali costituiscono il riempimento degli alvei di piena attuali, anche temporaneamente abbandonati, e di piana esondabile. Lo spessore massimo è dell'ordine di alcuni metri.

Comprendono ghiaie eterometriche a ciottoli poligenici da arrotondati a subarrotondati, con tessitura clast-supported in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa a abbondante; sabbie e sabbie limose in matrice limoso-argillosa con intercalazioni di argille limose e locali livelli ghiaiosi. Il colore è generalmente da marrone a ocra, la tessitura è massiva o laminata.

5.3.2 *Depositi detritici di versante*

Il materiale sciolto classificato come "depositi detritici di versante" deriva dal trasporto ed accumulo, lungo i versanti e alla loro base, dei prodotti di disgregazione/alterazione del substrato, in particolare se

di natura litoide (calcari, calcareniti, ecc.). Possono essere localmente eteropici con i depositi della coltre eluvio-colluviale, o essere da questa ricoperti. Lo spessore massimo è di circa 5-8 m.

Si tratta di depositi a tessitura massiva da clast- a matrix-supported, costituiti da ciottoli, blocchi e ghiaie poligeniche ed eterometriche, con clasti da angolosi a subangolosi, immersi in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, bruno e giallastro. Localmente passano a prevalenti sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone e giallastro, a tessitura massiva, con subordinate ghiaie poligeniche.

5.3.3 Coltre detritico-colluviale e/o eluvio-colluviale

Depositii sottili derivanti dalla degradazione meccanica e in parte dall'alterazione dei litotipi del substrato, che ricoprono in maniera pressoché ubiquitaria. Lo spessore massimo è di circa 2-3 m, localmente maggiore al piede dei versanti, laddove possono essere presenti accumuli più consistenti; nei primi 1-1.5 m dalla superficie sono spesso intensamente rimaneggiati dalle attività agricole (aratura).

Comprendono argille limose e argille sabbiose, localmente passanti a sabbie argillose e a limi argilloso-sabbiosi, con frequenti livelli sabbioso-ghiaiosi a clasti poligenici da angolosi a subarrotondati. Il colore varia a seconda del litotipo di origine da grigio a marrone e bruno-rossastro; la tessitura è massiva, con abbondanti resti vegetali.

5.3.4 Depositi antropici

Pur non rientrando nella stratigrafia geologica s.s., questi depositi vengono qui sinteticamente citati in quanto costituiscono alcuni accumuli di dimensioni rilevanti, in particolare nei pressi dell'imbocco della Galleria Marianopoli della linea ferroviaria esistente, dove lo smarino di galleria è stato stoccato in cumuli, oggi completamente rinaturalizzati, di spessore anche dell'ordine di 15-20 m.

Si tratta in genere di depositi caotici, costituiti da frammenti (blocchi, ciottoli e ghiaie) eterolitologici, da angolosi a subangolosi, immersi in una matrice dalle caratteristiche molto variabili, da sabbioso-limosa ad argillosa, da scarsa ad abbondante.

Altri corpi detritici di origine artificiale possono essere rappresentati da rilevati stradali e ferroviari, discariche di terre e rocce da scavo, discariche di RSU. In generale questi materiali non interferiscono con il tracciato in progetto.

6 ASSETTO STRUTTURALE DI DETTAGLIO NELL'AREA DI PROGETTO

La geometria delle unità di substrato affioranti nell'area riflette la strutturazione tettonica della catena, tuttavia la maggior parte delle strutture tettoniche di cui si suppone l'esistenza è mascherata al di sotto dei depositi continentali quaternari e della coltre eluvio-colluviale che ricopre i versanti con continuità.

Inoltre, le caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti, in cui prevalgono nettamente le facies argilloso-siltose e la ridotta percentuale di affioramento che caratterizza il corridoio di progetto non consentono di individuare con precisione la presenza di strutture tettoniche, neanche con l'ausilio della fotointerpretazione.

Fanno eccezione rari casi in cui è stato possibile osservare direttamente delle zone di deformazione fragile in affioramento oppure in alcune delle carote estratte dai sondaggi.

In generale quindi, l'esatta definizione dei rapporti geometrici tra le varie unità geologiche lungo il corridoio di progetto è ipotetica e non facile da definire in dettaglio, data la scarsità di affioramenti chiave che permettano di analizzare la deformazione tettonica che ha interessato l'area.

6.1 Stratificazione

Alla scala dell'intera area di studio si osserva nelle diverse unità tettonostratigrafiche una stratificazione sedimentaria, mal definita nelle litofacies a dominante componente argilloso-marnosa, molto più evidente nelle facies sabbioso-arenacee e conglomeratiche, soprattutto grazie alla presenza di corpi lenticolari di arenarie e/o conglomerati più cementati all'interno della formazione di Terravecchia (membro arenaceo). La giacitura della stratificazione immerge generalmente a basso-medio angolo con direzione di immersione mediamente verso E e verso W ma con una notevole variabilità che riflette probabilmente ondulazioni a scala ettometrico-chilometrica all'interno delle unità tettonostratigrafiche, legate alla fase di sovrascorrimento reciproco tra le unità.

6.2 Strutture duttili

Nell'area di studio non sono state osservate evidenze di strutture plicative a grande scala, tuttavia, alla scala dell'intero corridoio di progetto si possono apprezzare graduali variazioni nell'immersione degli

strati che riflettono quelle ondulazioni strutturali di cui si è fatto cenno nel paragrafo precedente. A una generale prevalenza di giaciture con immersione tra SW e NW nella parte occidentale del lotto 3, segue una zona centrale in cui le unità del gruppo della Gessoso-solfifera mostrano una generale immersione tra SE e SW, pur con varianti anche significative a scala locale. Nel settore orientale del lotto la direzione di immersione prevalente è di nuovo verso i quadranti occidentali, pur se con locali variazioni.

6.3 Strutture fragili

In base ai dati bibliografici, l'area risulta interessata da sovrascorrimenti e faglie con direzione media circa NE-SW, oltre che da faglie ad alto angolo, da normali a trascorrenti, con direzione variabile da SSE-NNW a E-W.

In linea generale i sovrascorrimenti non risultano visibili date le condizioni geomorfologiche e di affioramento locali, se non in base ai rapporti litologici a grande scala tra le unità. In alcuni casi si sono mantenute invariate le informazioni derivate dalla cartografia CARG (dove questa copre il tracciato di progetto), mentre in altri è stata ipotizzata la presenza di un contatto anomalo in base a rapporti di sovrapposizione geometrica, laddove si è riscontrata un'unità più vecchia in posizione soprastante a un'unità più recente; questa circostanza può risultare più o meno evidente, a seconda se le differenze litologiche siano più o meno marcate.

In particolare, si localizzano dei presunti sovrascorrimenti nelle posizioni seguenti:

- Nel tratto compreso tra le pk 36+900 e 37+600 i litotipi della formazione di Pasquasia si sovrappongono geometricamente alle più recenti argille marnose della formazione di Terravecchia; in questa zona è ipotizzato un sovrascorrimento, in parte dislocato da una zona di faglia visibile sul terreno, che emerge in più punti a causa dell'intersezione con la morfologia locale.
- Un secondo sovrascorrimento è ipotizzato tra le pk 42+000 e 44+000 dove le Argille Varicolori (AV) sono in contatto anomalo con i più recenti terreni del membro di Nicosia (FYN4).
- Una situazione analoga viene infine ipotizzata in corrispondenza della nuova stazione di Caltanissetta Xirbi, dove nuovamente le argille AV sono in contatto anomalo con l'unità FYN4.

Per quanto riguarda le zone di faglia, sia osservate sia presunte, per maggiore chiarezza di

esposizione esse sono state numerate in ordine progressivo crescente (F1, F2, ecc.) in base alla progressiva chilometrica di intersezione (cfr. carta geologica e profilo geologico allegati al presente rapporto). Le strutture più importanti identificate sul terreno sono le seguenti:

- tra le pk 31+400 e 34+000 si incontra un sistema di faglie che controlla la geometria di affioramento del Calcarea di Base e il suo contatto con i litotipi del membro Selenitico. Una prima struttura (F4; cfr. profilo geologico allegato) interseca l'asse del tracciato tra le pk 31+400 e 31+500. La faglia corrisponde a un canalone dal bordo rettilineo che incide la dorsale di Marianopoli con direzione N-S e immersione ad alto angolo verso W.
- Altre strutture, che determinano un generale abbassamento della successione litostratigrafica verso SE, sono state ipotizzate alle pk 32+200 e 32+800 ca. (F5, F6, F7). In particolare, sul versante meridionale del monte di Marianopoli la struttura F4 sopra descritta incontra e probabilmente disloca una seconda zona di faglia (F5), una delle poche di cui si osservino le tracce in affioramento, lungo la strada provinciale 42 di Marianopoli. I calcari affioranti a bordo strada sono interessati da diversi piccoli piani di faglia, associati a brecce cataclastiche di potenza da pochi cm ad alcuni dm (Figura 25), probabilmente appartenenti a una zona di faglia principale, non affiorante, con giacitura media stimata intorno a 140/50, che intersecherebbe l'asse di linea (in superficie) tra le pk 32+100 e 32+200, controllando la geometria del contatto tra il margine SSE del Calcarea di Base e il membro Selenitico per un tratto di circa 500 m.



Figura 25 - Faglia alla mesoscala affiorante lungo la S.P. di Marianopoli, caratterizzata da strie (groove) subparallele al piano principale (Faglia F5). La faglia è una struttura minore, probabilmente associata a un rigetto di per sé irrilevante, che si ritiene faccia parte dello sciame associato a una struttura maggiore.

- Verso la pk 37+370 si osserva nell'alveo del F. Salito una zona di faglia (F9) immergente ad alto angolo verso E (291/80), che verticalizza in direzione SE, verso l'asse della valle, le alternanze di argille marnose e sabbie limose qui affioranti. L'uncinatura della stratificazione suggerisce un movimento prevalente di tipo inverso o obliquo inverso; la fascia di disturbo è potente circa 4 m.
- Una zona di faglia è infine stata tracciata tra le pk 38+200 e 38+300 in base ai dati del sondaggio 3a-GN5-S01 (F10), le cui carote mostrano abbastanza chiaramente, nella parte alta, la transizione da una sequenza di argille più o meno marnose regolarmente stratificate a una litofacies caotica in cui si riconoscono elementi di deformazione tettonica, come superfici di frattura centimetriche con strie e/o lucide, anche se non si può parlare di vera e propria cataclasi, dato che la reologia dei litotipi argillosi coinvolti non consente lo sviluppo di tessiture brecciate.

Altre strutture disgiuntive minori (F1, F2, F3, F8) sono state ipotizzate in base a rapporti litologici anomali, talora mantenendo l'interpretazione delle carte del Progetto Preliminare, ma in generale di queste strutture non si hanno riscontri diretti di terreno, poiché in generale mancano affioramenti e

marker stratigrafici utili a confermarne la presenza.

7 GEOMORFOLOGIA

7.1 Inquadramento geomorfologico regionale

L'evoluzione geomorfologica dell'area oggetto di studio è strettamente legata all'evoluzione geodinamica della catena Appenninico-Maghrebide e dell'avanfossa Gela-Catania (Lentini et al. 1995; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000), particolarmente intensa nel Pleistocene medio-superiore e nell'Olocene (Carbone et al. 2010), nonché ai fenomeni di erosione superficiale che hanno interessato la regione durante il Quaternario (Carbone et al. 2010).

Le aree montuose, che costituiscono una parte piuttosto ridotta della zona di interesse, sono caratterizzate da un'orografia relativamente aspra e sono generalmente delimitate da versanti da mediamente a fortemente inclinati. In questi settori il controllo strutturale sulla morfologia è piuttosto accentuato; ad esso si sommano effetti di processi morfogenetici quali il carsismo, l'erosione differenziale, fenomeni di dissesto e/o deformazioni gravitative profonde. Il rilievo principale nell'ambito del corridoio di progetto è rappresentato dalla dorsale su cui sorge l'abitato di Marianopoli; il rilievo è impostato, lungo il versante orientale, da litotipi di pertinenza del Gruppo della Gessoso-Solfifera, in particolare il Calcarea di Base, con giacitura approssimativamente monoclinale subparallela al pendio; sul lato occidentale, la giacitura a reggipoggio del calcarea forma una barra allungata in direzione NE-SW, in parte condizionata da lineamenti tettonici.

Il settore collinare, che contraddistingue la maggior parte del tracciato, è caratterizzato da una morfologia molto meno accentuata, condizionata prevalentemente dalla presenza diffusa di unità litostratigrafiche a dominante componente pelitica. L'evoluzione di queste aree, caratterizzate da rilievi collinari poco acclivi, è essenzialmente controllata dall'azione dei corsi d'acqua che hanno generato ampie vallate a morfologia pianeggiante (Catalano et al. 2011). Fra le forme fluviali sono frequenti le incisioni connesse all'abbassamento del livello di base dell'erosione, come valli a V, vallecicole a fondo concavo e brevi gole fluviali, inoltre forme legate all'erosione laterale durante le fasi di stazionamento del livello di base, come meandri, scarpate di erosione, terrazzi e superfici di spianamento.

7.1.1 *Dissesti e processi erosivi*

I versanti vallivi che caratterizzano il settore collinare sono spesso interessati da processi di dilavamento ed erosione superficiale e dall'innesco di frequenti movimenti franosi che interessano i primi metri dei terreni di copertura ma che molto raramente vanno a incidere i litotipi del substrato (Alfieri et al. 1994; Agnesi et al. 2000; Contino, 2002).

Le forme di ruscellamento consistono solitamente in superfici di erosione superficiale diffusa, con formazione di rivoli e solchi di erosione sul cui fondo si depositano accumuli colluviali, oppure calanchi in stadio da embrionale a evoluto, particolarmente frequenti nelle litofacies a prevalente componente argilloso-marnosa.

I dissesti superficiali costituiscono un agente morfogenetico importante. I fenomeni più diffusi sono rappresentati da frane di colamento e frane composite, cioè frane caratterizzate dalla concomitanza di più meccanismi evolutivi, tipicamente una combinazione di movimento rotazionale iniziale che evolve in colamento. La maggior parte delle frane cartografate lungo il corridoio di progetto appartengono a queste due categorie. Laddove vengono coinvolti litotipi con una componente litoide importante, ad esempio le successioni della Gessoso-Solfifera o del Gruppo di Enna, possono svilupparsi movimenti franosi di grandi dimensioni in cui una componente iniziale di crollo evolve successivamente o in maniera concomitante in colamento. Alcune di queste frane, cartografate a livello regionale, possono generare forme di accumulo lunghe fino a un massimo di 3-4 km, con spessori che per i corpi di maggiore estensione possono superare 100 m, mentre per i dissesti più piccoli sono generalmente compresi tra 2 e 10 m (Catalano et al. 2011).

7.1.2 *Morfologia dei principali sistemi fluviali*

L'area di studio ricade all'interno di tre distinti bacini idrografici: il settore nordoccidentale attraversa la parte alta del bacino del Fiume Torto, il settore centrale rientra interamente nel bacino del T. Belici, mentre il settore sudorientale ricade nel bacino del Fiume Salito.

Il Fiume Torto è un corso d'acqua perenne che rappresenta la principale direttrice di drenaggio superficiale dell'area. Il bacino si estende complessivamente per circa 421 km², dalla catena montuosa delle Madonie al Mar Tirreno, comprendendo i territori comunali di Alia, Aliminusa, Cerda, Lercara

Friddi, Montemaggiore Belsito, Roccapalumba. Il Fiume Torto nasce nella parte centrale della Sicilia in corrispondenza di Serra Tignino e si sviluppa per circa 64 km in direzione prima E-W e poi N-S, fino a sfociare nel Mar Tirreno all'altezza del Golfo di Termini Imerese.

Il Torrente Belici è un corso d'acqua perenne il cui bacino si estende per circa 287 km², comprendendo i territori comunali di Valledolmo, Vallelunga Pratameno, Villalba e Marianopoli. Il corso d'acqua nasce nella parte centrale della Sicilia presso il centro abitato di Valledomo e si sviluppa per circa 40 km fino alla confluenza col fiume Salito, tributario del più importante fiume Platani.

Il bacino del Fiume Salito si colloca nel versante meridionale della Sicilia e si estende per circa 633 km², includendo il centro abitato di Mussomeli e una parte dei centri abitati di S. Caterina Villarmosa e Caltanissetta. Il Fiume Salito nasce dalle pendici del Monte Zagara, presso S. Caterina Villarmosa e si sviluppa per circa 42 km fino a confluire nel fiume Gallo d'Oro, presso C. da Pantanazzo, al confine tra il territorio di Sutera, Mussomeli e Bompensiere a quota 170 m. Lungo il suo percorso riceve le acque di diversi affluenti, tra i quali il Torrente Belici che affluisce in destra presso C. da Cappello d'Acciaio nel territorio di Mussomeli.

Oltre ai corsi d'acqua principali sopra descritti, sono presenti numerosi corsi d'acqua secondari a carattere marcatamente stagionale e/o torrentizio, con portate estremamente variabili e fortemente condizionate dal regime delle piogge. I bacini dei tributari presentano generalmente un andamento circa ortogonale a quello dei corsi d'acqua principali e sono caratterizzati da strette vallate incise nei litotipi del substrato. Ad essi si aggiungono, infine, numerosi valloni e solchi di erosione concentrata attivi solo in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi.

Le direzioni di deflusso dei principali corsi d'acqua sono indubbiamente condizionate dall'assetto circa E-W della catena Appenninico-Maghrebide, che ha favorito lo sviluppo di aste fluviali con direzione prevalente N-S (Contino 2002; Catalano et al. 2011). Alcune marcate deviazioni verso est o verso ovest sono probabilmente riferibili a un controllo strutturale sullo sviluppo della rete idrografica.

7.2 Assetto geomorfologico locale

L'area di studio presenta molte delle caratteristiche descritte nei paragrafi precedenti in relazione alla morfologia del settore collinare, in cui le forme e i processi che le originano sono fortemente

condizionati dalla dominante natura argillosa delle formazioni geologiche che costituiscono il substrato prequaternario.

Il controllo strutturale, sia pur importante a livello regionale, appare poco evidente alla scala del corridoio di progetto, se si escludono alcune situazioni particolari, soprattutto in confronto all'insieme dei processi di disgregazione ed erosione (anche di tipo fluviale o torrentizio) del substrato che si innescano lungo i versanti e che seguono un'evoluzione ciclica condizionata dall'andamento stagionale delle precipitazioni.

Di seguito vengono descritti i principali elementi geomorfologici presenti nell'area e i relativi fattori condizionanti, con riferimento a quanto riportato nella cartografia geologica allegata.

7.2.1 Forme, processi e depositi gravitativi

Nell'attuale contesto morfoclimatico i fenomeni gravitativi rappresentano un fattore di particolare importanza nell'evoluzione geomorfologica del territorio.

I processi gravitativi sono più diffusi in corrispondenza dei rilievi collinari caratterizzati dall'affioramento di litotipi a dominante componente pelitica, principalmente il membro pelitico-argilloso della formazione Terravecchia (TRV), le argille che compongono a più livelli stratigrafici le formazioni messiniane di Cattolica (GTL2, GTL3) e Pasquasia (GPQ), infine le argille ± marnose di pertinenza del substrato deformato pre-Tortoniano (Argille Variegate, AV e Flysch Numidico, FYN).

I rilievi collinari sono in genere caratterizzati da fenomeni di deformazione viscosa delle coltri (soliflusso) e localmente dall'innescarsi di movimenti franosi, generalmente di estensione e spessore alquanto ridotti, che coinvolgono principalmente la coltre eluvio-colluviale e localmente la porzione più superficiale del substrato alterato.

I movimenti franosi sono essenzialmente riconducibili a colamenti, scivolamenti e frane composite (o complesse) in terra (Varnes, 1978; Cruden & Varnes, 1996), per lo più attive o quiescenti, dove per "attivo" si intende un fenomeno di cui si abbiano evidenze morfologiche di movimenti avvenuti per lo meno nell'ultimo anno. Molti dei fenomeni osservati sono caratterizzati da un marcato rimodellamento che avviene sia per fattori naturali (progressiva erosione delle scarpate nella zona di distacco, redistribuzione e assestamento dell'accumulo, erosione al piede da parte dei corsi d'acqua, ecc.) sia per

fattori antropici, in particolare legati alle attività agricole intensive che caratterizzano la regione, tra cui le arature periodiche che tendono a obliterare completamente le tracce di eventuali dissesti più vecchi di 1-2 anni (Figura 26). Proprio in considerazione di questo rimodellamento continuo, e delle caratteristiche intrinseche dei versanti dal punto di vista sia litologico sia geotecnico, non si può del tutto escludere che aree riconosciute come prive di dissesti al momento dello studio possano evolvere sviluppando forme di dissesto di qualche tipo, in risposta, per esempio, a periodi di piogge intense e/o prolungate, particolarmente per quei versanti con pendenze superiori a 15°.

L'insieme delle frane identificate nell'area di studio è descritto in sintesi nei paragrafi seguenti, che riassumono i caratteri morfologici e geometrici distintivi, fornendo inoltre una valutazione sintetica del livello di interferenza che ciascun tipo di dissesto presenta nei confronti del tracciato. La terminologia e le descrizioni adottate fanno riferimento al manuale APAT (2006) e al Vol. 13 dei Quaderni ISPRA della Carta Geomorfologica d'Italia (2018).



Figura 26 - Esempio di rimodellamento antropico di un dissesto recente (frana composta, rotazionale + colamento) localizzata fuori dall'area rilevata. A: situazione ad agosto 2019; B: la stessa frana a ottobre 2019, dopo l'aratura. Il terreno viene progressivamente riportato in posto per non perdere l'estensione coltivabile e nel giro di due anni si perde gran parte dell'evidenza del dissesto.

Di seguito vengono descritte le principali tipologie di dissesto riscontrate nell'ambito dell'area di studio. Per una descrizione dettagliata dei singoli dissesti potenzialmente interferenti con il tracciato si rimanda alle schede dissesti allegate.

7.2.1.1 Crolli e/o ribaltamenti a carico di porzioni di affioramenti rocciosi fratturati e rilasciati

Profondità tipica osservabile:

variabile

Definizione:

Per crollo si intende il movimento di caduta in aria libera di materiali di qualunque dimensione e tipologia (rocce, detriti e terre). È un fenomeno da rapido a estremamente rapido, caratteristico di pendii molto acclivi. Generalmente il distacco avviene in corrispondenza di superfici di discontinuità preesistenti, ma non sono rare le superfici di neoformazione. Tali discontinuità sono costituite generalmente da giunti, stratificazione, piani di faglia, piani di scistosità o di laminazione, superfici di contatto tra materiali con caratteristiche geomeccaniche differenti.

I materiali spostati se la morfologia lo consente possono continuare il movimento a salti e rimbaldi lungo il versante. Il distacco iniziale e i successivi impatti possono provocare un'intensa frantumazione del materiale coinvolto, in diversi elementi di dimensioni molto variabili.

Localizzazione e principali caratteristiche osservate nell'area di studio

Nell'area di studio gli accumuli di crollo sono localizzati essenzialmente alla base delle, pareti impostate in materiali litoidi, che formano i rilievi su cui sorgono gli abitati di Marianopoli ed Enna.

I depositi di crollo sono in genere frammisti a depositi detritici di versante derivanti dalla disgregazione graduale e progressiva delle pareti, che avviene per distacco di singoli blocchi o piccole porzioni rocciose. Gli eventi di crollo vero e proprio di cui siano stati riconosciute le forme sono rari nell'area di studio e non interferiscono con il tracciato di progetto.

Nell'ambito del Lotto 3 è stato rilevato un unico fenomeno di crollo a carico di una parete in calcareniti e gessareniti all'interno della fm. di Pasquasia, nei pressi della PK 34+500. Il fenomeno non interferisce con il tracciato.

7.2.1.2 Frana rotazionale

Profondità tipica osservabile:

Variabile

Definizione:

Gli scorrimenti rotazionali avvengono con un movimento di rotazione intorno a un punto o un asse esterno al versante, posto al di sopra del baricentro della massa spostata. La superficie di rottura ha di solito forma arcuata con concavità verso l'alto. La massa in movimento si scompone frequentemente in più blocchi ruotati in diverse direzioni, sia verso monte sia verso valle, che talvolta possono rimanere relativamente integri al proprio interno. La massa dislocata si muove oltre la superficie di rottura, sovrapponendosi al pendio sottostante indisturbato.

Nella parte bassa della frana si possono verificare rigonfiamenti e avvallamenti trasversali. Se lo scorrimento coinvolge litotipi prevalentemente argillosi e marnosi, l'alterazione delle caratteristiche geotecniche dei materiali coinvolti comporta la frequente evoluzione del movimento in un colamento lento (cfr. "frana complessa").

Localizzazione e principali caratteristiche osservate nell'area di studio

Nell'area di studio si osservano poche frane a carattere francamente rotazionale poiché, data la natura dei terreni affioranti, queste frane evolvono naturalmente verso altri tipi di processo, in primo luogo i colamenti lenti.

Sono in genere frane superficiali che coinvolgono solo la parte di coltre detritico-colluviale e in misura minore la porzione di substrato più alterata, per uno spessore che non supera i 5 m.

Nessuno di questi dissesti interferisce (anche solo marginalmente) con il tracciato in progetto.

7.2.1.3 Colamento lento

Profondità tipica osservabile:

Da 1 a 3 m

Definizione:

Fenomeno superficiale a lenta evoluzione che coinvolge la coltre detritica superficiale e localmente la parte alterata del substrato.

Questa tipologia di movimento interessa con maggiore diffusione detriti e terre, ed è tipica dei terreni ad elevato contenuto in argilla.

Il colamento è causato generalmente dalla saturazione del materiale per aumento del contenuto d'acqua e implica un'intensa deformazione plastica differenziale all'interno del corpo di frana.

Il movimento all'interno di una frana di colamento non è omogeneo: la distribuzione delle velocità e degli spostamenti all'interno della massa in movimento può essere paragonata a quella di un fluido viscoso, con velocità maggiori al centro rispetto ai bordi, e in superficie rispetto alle parti più profonde. Questa distribuzione genera la caratteristica morfologia del colamento.

La superficie di scorrimento può essere netta o può corrispondere a una zona di deformazione in cui l'entità dei movimenti tende a diminuire con la profondità.

Tali fenomeni sono caratterizzati da basse velocità di spostamento, comunque dipendenti dal contenuto in acqua e dalla pendenza del versante.

Elementi morfologici tipici dei colamenti sono avvallamenti, rigonfiamenti e contropendenze che favoriscono il ristagno d'acqua e aggravano di conseguenza le condizioni di equilibrio. I corpi di accumulo presentano una caratteristica morfologia allungata e lobata.

Localizzazione e principali caratteristiche osservate nell'area di studio

Nell'ambito dell'area di studio i colamenti lenti rappresentano la principale tipologia di dissesto riconosciuta, essendo caratteristici delle formazioni argillose come la formazione Terravecchia, che affiora in maniera continua lungo tutto il tracciato.

Si tratta invariabilmente di fenomeni superficiali, che interessano la coltre detritica che ricopre i versanti e talora la parte superiore del substrato argilloso-marnoso in posto, laddove questa sia interessata da

fenomeni di alterazione.

I colamenti osservati nell'area di studio non si propagano in profondità a causa della bassissima permeabilità del substrato argilloso su cui si sviluppano, che impedisce l'infiltrazione dell'acqua piovana a livelli profondi.

Lo spessore di materiale che può essere coinvolto in questi processi di dissesto è chiaramente determinabile in base ai numerosi sondaggi realizzati lungo il tracciato.

Dato il carattere superficiale, questo tipo di dissesti tende a venire progressivamente rimodellato e completamente obliterato dalle attività di aratura periodica dei campi, che si spingono fino 1.5 m ca. dalla superficie. L'aratura tende a riomogeneizzare il pendio in dissesto, di fatto mitigandone almeno in parte le condizioni di instabilità.

7.2.1.4 *Movimenti complessi*

Profondità tipica osservabile:

Variabile

Definizione:

Combinazione di due o più tipi di movimento, generalmente scivolamenti rotazionali che evolvono in colamenti lenti o veloci.

Questi movimenti presentano caratteristiche di innesco ed evoluzione nel tempo e nello spazio non riconducibili a una sola delle categorie precedentemente descritte. Il relativo movimento deriva quindi dalla combinazione di due o più tipi di movimento, verificatisi in successione temporale.

Frane con movimento complesso sono piuttosto frequenti nell'area e si originano principalmente nei terreni a forte componente argillosa (formazione Terravecchia, Flysch Numidico, ecc.).

Analogamente ai colamenti s.s. osservati nell'area di studio anche questi fenomeni hanno carattere generalmente superficiale, interessando la coltre detritica ed eventualmente la parte superiore del substrato alterato (se presente), per una profondità fino a 2-3 m dal piano campagna.

Localizzazione e principali caratteristiche osservate nell'area di studio

Il fenomeno si origina tipicamente come scivolamento rotazionale, nel momento in cui uno strato di

coltre si destabilizza lungo una superficie di distacco/scivolamento di forma arcuata e con coronamento pressoché.

L'elevato contenuto in acqua che caratterizza invariabilmente il materiale così destabilizzato e la perdita di coesione innescata dal movimento fanno sì che la massa spostata si destrutturi rapidamente fluidificandosi ed evolvendo a colamento.

Fenomeni di questo tipo sono stati individuati in corrispondenza dell'imbocco lato Palermo della galleria Masareddu. Si tratta di fenomeni che interessano uno spessore di coltre detritica (in alcuni casi misurabile direttamente in corrispondenza del coronamento) di non più di 2,5-3 m.

Dato il carattere superficiale, questo tipo di dissesti tende a venire progressivamente rimodellato e completamente obliterato dalle attività di aratura periodica dei campi, che si spingono fino 1.5 m ca. dalla superficie.

7.2.1.5 Aree a franosità diffusa

Profondità tipica osservabile:

< 2 m

Definizione:

Il termine è utilizzato per descrivere aree caratterizzate da numerose piccole frane superficiali (generalmente con cinematismo di tipo colamento) di dimensioni generalmente non cartografabili, che coinvolgono uno spessore di terreno inferiore a 2 m.

Il tipo di cinematismo delle frane che interessano queste aree può variare da crolli, scivolamenti e colamenti.

Gli interventi in queste aree devono essere mirati a migliorare le condizioni di stabilità, agendo soprattutto sulla regolarizzazione e il drenaggio delle acque superficiali ed il rinverdimento delle scarpate e delle aree denudate.

Localizzazione e principali caratteristiche osservate nell'area di studio

Aree a franosità diffusa si rinvengono in diversi punti lungo il tracciato ma **non interferiscono con le opere in progetto** e hanno, in ogni caso, un carattere estremamente superficiale.

Queste aree di solito non sono rimodellate dalle attività agricole in quanto corrispondono a settori di pendio troppo acclivi perché ne sia possibile l'aratura.

7.2.1.6 Aree in soliflusso

Profondità tipica osservabile:

< 1.5 m

Definizione:

Il soliflusso consiste in un movimento lento e discontinuo, che coinvolge le porzioni più superficiali del pendio senza una precisa superficie di scivolamento ma con un movimento viscoso rispetto al substrato integro. Il fenomeno aumenta significativamente durante le stagioni piovose.

È tipico di terreni poco permeabili, ricchi di limo e argilla e capaci di imbibirsi d'acqua.

Il movimento si verifica anche su pendii di modesta acclività; l'inclinazione minima, affinché avvenga il soliflusso si aggira intorno a 5°.

In generale coinvolge spessori modesti (1-2 metri) ed è caratterizzato da velocità dell'ordine di alcuni decimetri per anno.

Localizzazione e principali caratteristiche osservate nell'area di studio

Nell'area di studio il soliflusso è un fenomeno molto diffuso che interessa la maggior parte dei campi arati. L'aratura crea un disturbo superficiale nel terreno, fino a circa 1-2 m di profondità, che ne favorisce l'imbibizione e quindi l'insorgere di una lenta deformazione gravitativa determinata da scorrimenti intergranulari diffusi.

Trattandosi di un fenomeno estremamente lento ed estremamente superficiale, esso non interferisce in maniera significativa con le opere in progetto, fatta salva l'adozione degli opportuni accorgimenti per il sostegno temporaneo e definitivo di tutti i fronti di scavo aperti su pendio e per il drenaggio delle acque di ruscellamento superficiale.

7.2.2 **Forme, processi e depositi legati alle acque superficiali**

Nell'area esaminata le forme di accumulo connesse al deflusso idrico superficiale derivano essenzialmente dai processi di erosione e deposizione dei principali sistemi fluviali. I depositi che

colmano i fondovalle presentano al loro interno notevoli variazioni granulometriche legate all'alternarsi di fasi di erosione e trasporto a energia differenziata.

Nei tratti vallivi con gradiente topografico meno accentuato si manifesta sovente la tendenza del corso d'acqua di fondovalle, sia esso un corso principale o un tributario laterale, a sviluppare un corso meandriforme che lo porta gradualmente a erodere i fianchi vallivi determinando la creazione di scarpate di meandro piuttosto acclivi, per lo più incise nel substrato prequaternario. Su queste scarpate si innesca frequentemente un'evoluzione di tipo calanchivo che porta al denudamento di porzioni sempre più estese di substrato, come si osserva ad esempio al piede dei versanti che bordano a est il corso del T. Belice.

Gli alvei secondari mostrano in generale una marcata tendenza all'approfondimento, andando a erodere spesso il substrato prequaternario; il trasporto solido abbastanza consistente che si verifica lungo queste aste torrentizie, spesso a carattere stagionale, determina localmente la formazione di apparati di conoide allo sbocco del tributario sul fondovalle principale.

In corrispondenza dei litotipi meno erodibili (Gessoso-Solfifera, Gruppo di Enna) si sviluppano versanti e rilievi più acclivi, interessati da fenomeni erosivi concentrati e dallo sviluppo di forme di microcarsismo locale, che comporta la formazione di un reticolo idrografico superficiale più irregolare e discontinuo.

7.2.3 *Forme antropiche*

I principali elementi connessi con l'attività antropica derivano da opere di regimazione delle acque correnti superficiali, da interventi di sistemazione dei principali corsi d'acqua presenti nell'area, o da attività di scavo e discariche.

In genere, i riporti antropici costituiti da materiali provenienti da cave e sbancamenti localizzati hanno estensione molto ridotta, data l'assenza, lungo il corridoio di progetto, di attività estrattive a livello industriale. Rare piccole cave abbandonate, di tipo artigianale, si possono rinvenire in corrispondenza di affioramenti rocciosi di gessi e calcareniti, principalmente nei dintorni di Marianopoli.

Da segnalare sono i consistenti accumuli di smarino che si osservano presso l'imbocco est della galleria ferroviaria di Marianopoli, una delle prime e più importanti opere in sotterraneo realizzate in Italia nella seconda metà dell'800.

Questi accumuli, oggi completamente rinaturalizzati, hanno profondamente modificato la morfologia dell'area circostante l'imbocco del tunnel ferroviario.

7.3 Compatibilità dell'opera con l'assetto geomorfologico del territorio

Il tracciato in progetto ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Regione Sicilia. Gli studi condotti nell'ambito della presente fase progettuale sono stati indirizzati, tra l'altro, a una verifica puntuale delle interferenze tra l'assetto geomorfologico della regione e l'opera in progetto nonché a una verifica puntuale dei dissesti indicati nella cartografia del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) per i bacini idrogeologici del Fiume Torto e del fiume Patani.

In sintesi, allo stato attuale non sono stati identificati dissesti di grandi proporzioni in grado di interferire con il tracciato di progetto. I dissesti che possono in qualche misura interferire con il tracciato o con le opere accessorie (es. viabilità) sono frane a carattere superficiale, che interessano uno spessore di coltre eluvio-colluviale generalmente non superiore a 3 m. Questi dissesti sono descritti in dettaglio nelle schede presentate in allegato al presente rapporto (Elaborato "Schede di rilevamento dei dissesti e degli stop geologici").

I risultati di questa analisi sono presentati separatamente, nella "Relazione di compatibilità geomorfologica" allegata alla documentazione di progetto.

8 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

In generale, la variabilità geologica caratteristica dell'area in cui ricade il progetto genera la presenza di più complessi idrogeologici. Inoltre, la presenza di interventi antropici rilevanti nei confronti dell'andamento degli acquiferi (es. Galleria ferroviaria Marianopoli e gallerie autostradali), determina un'ulteriore variabilità idrogeologica a livello locale.

Nell'area si riconoscono principalmente acquiferi impostati nelle unità costituenti il basamento prequaternario, caratterizzati generalmente da permeabilità medio-basse perché a composizione prevalentemente argilloso-marnosa, con eccezioni di limitata estensione nei depositi a granulometria maggiore e nei livelli a composizione carbonatica

Gli acquiferi impostati nelle unità quaternarie hanno generalmente limitato spessore e si rinvencono nelle aree dei fondovalle, all'interno dei depositi alluvionali, solitamente caratterizzati da significativa continuità laterale. Gli acquiferi all'interno dei depositi detritici (accumuli di frana) o nella coltre eluvio-colluviale mostrano potenze molto esigue e carattere locale.

Per quanto riguarda la produttività degli acquiferi ai fini dell'utilizzo, gli acquiferi più significativi sono presenti nei livelli più grossolani e permeabili dei principali corsi d'acqua (F. Torto, T. Belici e del F. Salito) (Catalano et al. 2011). La presenza dei litotipi appartenenti alle unità messiniane, caratterizzati da elevato contenuto in mineralizzazioni facilmente solubili, rende le acque sotterranee in taluni casi molto mineralizzate e pertanto poco utilizzabili.

Nei capitoli successivi si descrivono le caratteristiche più specifiche degli acquiferi nell'area di progetto, definite sulla base dei dati geologici acquisiti nel presente lavoro, e dei dati relativi ai punti di osservazione delle acque sotterranee (sorgenti, piezometri, pozzi) e delle acque superficiali (corsi d'acqua).

9 ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE

La definizione del modello geologico di riferimento dell'area di progetto ha permesso di determinare anche l'assetto idrogeologico locale con maggior dettaglio rispetto a quanto definito negli studi precedenti.

Inoltre, durante la campagna di indagini geognostiche realizzata durante questa fase progettuale, sono stati acquisiti ulteriori dati relativi alla soggiacenza della falda e alle caratteristiche di permeabilità degli acquiferi lungo l'area interessata dal tracciato dell'opera principale. Questi dati sono stati analizzati e, insieme a quelli acquisiti nelle fasi progettuali precedenti, hanno permesso una miglior definizione del contesto idrogeologico.

Parallelamente all'acquisizione dei dati mediante indagini geognostiche, sono stati condotti rilevamenti di terreno finalizzati ad individuare le caratteristiche geologiche che influenzano fortemente l'assetto idrogeologico, quali ad esempio, l'individuazione delle lenti più grossolane nella formazione di Terravecchia e della loro continuità laterale.

9.1 Dati idrogeologici preesistenti

Nell'ambito delle campagne di indagine eseguite nelle precedenti fasi progettuali condotte da Italferr nel 2018 e nel 2013, erano state effettuate prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc, i cui risultati sono riportati in Tabella 5 e Tabella 6. Si specifica che l'individuazione dell'unità geologica a cui sono state riferite le prove è stata rivista sulla base del nuovo modello geologico realizzato nel presente progetto definitivo.

Codice Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	K (m/s)	Geologia
3S1	45.50÷46.00	3.25E-07	TRVa
3S1	55.50÷56.00	1.35E-08	TRVa
3S10	4.50÷5.00	1.42E-07	FYN4
3S10	19.50÷20.00	3.15E-08	AV
3S11	51.50÷52.00	8.33E-09	FYN4
3S11	62.50÷63.00	2.53E-08	FYN4
3S12	8.10÷8.60	4.80E-08	AV
3S12	15.10÷15.60	2.55E-08	AV
3S13	7.00÷7.50	1.72E-08	FYN4
3S13	14.00÷14.50	1.15E-04	FYN4
3S14	5.00÷5.50	3.18E-07	a2
3S14	14.50÷15.00	7.46E-08	TRVa
3S2	34.50÷35.00	3.11E-09	TRV
3S2	41.00÷41.50	2.68E-09	TRV
3S3	5.50÷6.00	3.43E-06	a2
3S3	20.00÷20.50	9.18E-08	TRVa
3S4	5.00÷5.50	5.78E-07	a2
3S4	19.50÷20.00	9.39E-08	TRV
3S5	58.00÷58.50	6.84E-09	TRV
3S6	5.00÷5.50	2.34E-07	GTL3
3S6	20.00÷20.50	2.01E-07	GTL3
3S7	73.80÷74.30	7.54E-10	TRVb
3S7	82.70÷83.20	2.38E-09	TRVb
3S8	5.50÷6.00	3.76E-07	FYN4
3S8	20.50÷21.00	7.30E-08	FYN4
3S9	26.50÷27	1.74E-09	FYN4

Tabella 5 - Prove di permeabilità di tipo Lefranc realizzate nella campagna geognostica Italferr 2018.

Codice Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	K (m/s)	Geologia
S2	7.00÷8.00	6,87E-06	a2
S3	8.20÷9.20	6,70E-08	TRV
S4	8.50÷9.00	6,74E-07	a2

Tabella 6 - Prove di permeabilità di tipo Lefranc realizzate nella campagna geognostica Italferr 2013.

Inoltre, nei mesi di maggio e giugno 2018 erano state eseguite delle misure di soggiacenza nei sondaggi attrezzati con piezometro realizzati nel 2018. Sebbene i dati acquisiti allora non siano del tutto confrontabili con quelli della presente fase progettuale a causa del differente periodo stagionale in cui sono stati misurati questi ultimi, si riportano in Tabella 7 per esaustività dell'informazione sia le letture che le caratteristiche dei piezometri installati.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	99 di 257

Analogamente, si riportano in Tabella 8 i dati relativi ai piezometri realizzati nella campagna geognostica del 2013 e le letture di soggiacenza effettuate in dicembre 2013 e gennaio 2014.

Sondaggio		Piezometro			Soggiacenza (m da p.c.)	
Codice	Profondità (m da p.c.)	Tipo	Tratto fenestrato (m da p.c.)	Tratto cieco (m da p.c.)	11/05/2018	14/06/2018
3S01	57	Norton 3"	50.00÷57.00	0.00÷50.00	0.85	51.05
3S02	42	Norton 3"	33.00÷42.00	0.00÷33.00	0.39	41.77
3S03	12	Norton 3"	3.00÷12.00	0.00÷3.00	4.32	3.34
3S04	15	Norton 3"	3.00÷12.00	0.00÷3.00	5.5	5.7
3S05	69	Norton 3"	60.00÷69.00	0.00÷60.00	55.1	61.53
3S06	71	Norton 3"	60.00÷68.00	0.00÷60.00/68.00÷71.00	69.4	69.89
3S07	82	Norton 3"	73.00÷82.00	0.00÷73.00	6.65	75.44
3S08	15	Norton 3"	3.00÷9.00	0.00÷3.00/9.00÷15.00	13.1	7.9
3S10	15	Norton 3"	3.00÷9.00	0.00÷3.00/9.00÷15.00	6.53	6.08
3S11	60	Norton 3"	51.00÷60.00	0.00÷51.00	7.25	51.14
3S12	30	Norton 3"	6.00÷30.00	0.00÷6.00	6.4	16.64
3S13	12	Norton 3"	3.00÷12.00	0.00÷3.00	7	4.9
3S14	21	Norton 3"	3.00÷21.00	0.00÷3.00	Non disponibile	19.38

Tabella 7 – Caratteristiche dei piezometri installati nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2018 e letture di soggiacenza.

Sondaggio		Piezometro			Soggiacenza (m da p.c.)			
Codice	Profondità (m da p.c.)	Tipo	Tratto fenestrato (m da p.c.)	Tratto cieco (m da p.c.)	lettura 1 12/2013	lettura 2 12/2013	lettura 3 12/2013	lettura 4 1/2014
S01	30	Norton 3"	0.00÷24.00	24.00÷30.00	-	-	6.55	5.20
S02	30	Norton 3"	0.00÷15.00	15.00÷30.00	5.50	5.12	5.07	5.05
S03	30	Norton 3"	0.00÷30.00	-	-	19.95	21.35	21.35
S04	30	Norton 3"	0.00÷15.00	15.00÷30.00	4.55	4.60	-	4.50

Tabella 8 – Caratteristiche dei piezometri installati nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2013 e letture di soggiacenza.

9.2 Dati idrogeologici di nuova acquisizione

Nell'ambito della campagna di indagini eseguita nel Progetto Definitivo sono state realizzate ulteriori prove di permeabilità in foro, sia di tipo Lefranc che Lugeon, i cui risultati sono riportati nella Tabella 9. Si precisa che per le prove Lugeon i valori di conducibilità idraulica indicati derivano dall'interpretazione effettuata in considerazione dell'andamento della curva pressione-portata unitaria durante il ciclo di carico-scarico.

La posizione delle prove e i risultati delle stesse sono anche rappresentate sul profilo idrogeologico redatto in scala 1:5.000/1:500.

Tabella 9 - Prove di permeabilità realizzate nella campagna geognostica Italferr 2019.

Codice Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Tipo prova	K (m/s)	Geologia
3A F01	90÷91	Lefranc	7.96E-07	TRVa
3A F01	101÷103.8	Lefranc	3.93E-07	TRVa
3A F01	111÷113.75	Lefranc	8.71E-07	TRVa
3a F02	5.5÷6	Lefranc	3.86E-07	TRV
3a F02	11.5÷12	Lefranc	1.25E-07	TRV
3a F03	11.5÷12	Lefranc	1.25E-07	GPQ
3a F03	25.5÷26	Lefranc	2.53E-06	GPQ
3a F04	34÷34.5	Lefranc	3.69E-07	GPQ
3a F04	42.5÷43	Lefranc	2.24E-08	GPQ
3a F04	51.5÷52	Lefranc	2.39E-08	GPQ
3a GN1 S01	4÷4.5	Lefranc	3.67E-06	TRVa
3a GN1 S01	15÷16	Lefranc	2.00E-06	TRVa
3a GN1 S04	22÷23	Lefranc	4.61E-07	TRVa
3a GN1 S04	17÷18	Lefranc	7.23E-07	TRVa
3a GN1 S05	165÷170	Lugeon	1.45E-07	TRVa
3a GN1 S05	171÷176	Lugeon	5.28E-08	TRVa
3a GN1 S05	180÷185	Lugeon	6.17E-08	TRVa
3a GN1 S06	74÷78.2	Lugeon	9.20E-09	TRVa
3a GN1 S06	81÷86	Lugeon	2.60E-09	TRVa
3a GN1 S07	36÷37	Lefranc	1.14E-08	TRV
3a GN1 S07	43.5÷44	Lefranc	1.60E-08	TRV
3a GN1 S08	7.5÷8	Lefranc	9.30E-08	TRV
3a GN1 S08	11.5÷12	Lefranc	6.22E-08	TRV
3a GN2 S02	38÷38.5	Lefranc	1.36E-08	TRV
3a GN2 S06	158÷159.5	Lugeon	1.49E-08	GTL2
3a GN2 S06	167÷168.5	Lugeon	2.13E-07	GTL2
3a GN2 S06	177÷178.5	Lugeon	1.64E-07	GTL1
3a GN2 S07	74÷77.15	Lugeon	1.90E-09	GTL2
3a GN2 S07	80÷83.55	Lugeon	2.50E-09	GTL2
3a GN2 S07	86÷89	Lugeon	3.90E-08	GTL1
3a GN2 S08	12÷15	Lefranc	3.08E-08	GTL3
3a GN2 S08	4.5÷6	Lefranc	1.73E-07	GTL3
3a GN3 S01	3.5÷4	Lefranc	3.16E-05	Detrito di versante
3a GN3 S01	9.5÷10	Lefranc	2.14E-07	GPQ
3a GN5 S01	12.5÷15.5	Lefranc	1.42E-08	FYN4
3a GN5 S01	21÷23	Lefranc	8.47E-09	FYN4
3A S02	8.5÷9	Lefranc	3.07E-04	a2
3A S02	21÷21.5	Lefranc	2.99E-04	TRVa
3A S03	10.5÷11	Lefranc	4.15E-05	TRVa
3A S03	17.8÷18.3	Lefranc	9.04E-06	TRVa
3A S05	9÷9.5	Lefranc	1.85E-04	TRVa
3A S05	19.5÷20	Lefranc	4.32E-08	TRVa
3A S07	7.5÷8.4	Lefranc	5.89E-05	TRVa
3A S07	20.5÷21	Lefranc	3.53E-07	TRVa

Codice Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Tipo prova	K (m/s)	Geologia
3A S08	7.3÷7.8	Lefranc	6.73E-07	a2
3A S08	19.4÷19.9	Lefranc	5.32E-07	TRVa
3A S09	6.9÷7.4	Lefranc	5.40E-07	a2
3A S09	29.5÷30	Lefranc	2.45E-07	TRVa
3A S10	5.5÷6	Lefranc	1.09E-07	a2
3A S10	24÷25	Lefranc	8.03E-09	TRVa
3A S10bis	7÷8	Lefranc	1.61E-04	TRV
3A S10bis	29÷30	Lefranc	6.95E-07	TRV
3A S11	9÷10	Lefranc	3.05E-04	a2
3A S11	28÷28.5	Lefranc	8.91E-08	TRV
3A S12	7.5÷8	Lefranc	6.23E-04	a2
3A S12	19.5÷20	Lefranc	6.43E-08	TRV
3A S13	4.5÷5	Lefranc	4.14E-06	a2
3A S13	22.5÷23	Lefranc	4.46E-08	TRV
3A S14	9.5÷10	Lefranc	3.25E-04	a2
3A S14	16.5÷17	Lefranc	3.57E-08	TRV
3A S15	7÷8	Lefranc	1.78E-04	a2
3A S15	24÷25	Lefranc	4.21E-07	TRV
3A S17	8.5÷9	Lefranc	1.47E-04	a2
3A S17	19.5÷20	Lefranc	8.18E-08	TRV
3A S18	5.5÷6	Lefranc	6.28E-06	a2
3A S18	17.5÷18	Lefranc	8.89E-08	TRV
3A S19	7.5÷8	Lefranc	1.65E-07	a2
3A S19	14.5÷15	Lefranc	1.19E-07	TRV
3a S21	22÷22.5	Lefranc	1.13E-07	TRVa
3a S21	5.5÷6	Lefranc	1.03E-05	TRVa
3a S22	9÷10	Lefranc	4.55E-05	a2
3a S22	17.5÷18	Lefranc	1.68E-07	TRV
3A S23	7.5÷8.5	Lefranc	4.32E-05	a2
3A S23	14.5÷15	Lefranc	8.39E-07	TRV
3A S24	8.5÷9	Lefranc	1.68E-04	a2
3A S24	22÷23	Lefranc	5.13E-07	TRV
3A S25	4.5÷5	Lefranc	1.82E-06	a2
3A S25	24÷25	Lefranc	8.30E-08	TRV
3A S26	5÷6	Lefranc	3.33E-06	a2
3A S26	29÷30	Lefranc	1.12E-06	TRV
3A S27	5.5÷6	Lefranc	2.45E-05	a2
3A S27	28.5÷30	Lefranc	2.76E-07	TRV
3A S29	3.5÷4.5	Lefranc	2.72E-05	a2
3A S29	28.5÷30	Lefranc	2.45E-07	TRV
3A S30	4÷5	Lefranc	1.51E-05	a2
3A S30	29÷30	Lefranc	1.66E-06	TRV
3A S31	7÷8.5	Lefranc	6.23E-06	a2
3A S31	13.5÷15	Lefranc	4.28E-08	TRV
3A S32	7÷8	Lefranc	8.28E-05	a2
3A S32	19.5÷21	Lefranc	1.50E-07	TRV

Codice Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Tipo prova	K (m/s)	Geologia
3A S33	6÷7	Lefranc	1.91E-05	a2
3A S33	23÷24	Lefranc	2.85E-07	TRV
3A S34	5÷6	Lefranc	1.34E-05	a2
3A S34	18÷19	Lefranc	6.31E-07	TRV
3A S35	4÷4.5	Lefranc	1.13E-06	a2
3A S35	21÷22	Lefranc	1.09E-07	TRVa
3A S36	8.5÷9	Lefranc	5.95E-07	a2
3A S36	24÷25	Lefranc	6.25E-08	TRVa
3A S37	9÷10	Lefranc	1.92E-05	a2
3A S37	22.5÷23	Lefranc	2.57E-07	TRVa
3A S38	8÷9.2	Lefranc	3.85E-05	a2
3A S38	18.5÷19	Lefranc	3.90E-07	TRVa
3A S39	11.1÷11.6	Lefranc	6.96E-06	TRVa
3A S39	24÷25	Lefranc	4.07E-06	TRVa
3A S40	12.5÷13	Lefranc	6.97E-06	TRVa
3A S40	25.5÷26	Lefranc	6.06E-06	TRVa
3A S41	13.5÷14	Lefranc	3.21E-06	TRVa
3A S41	26.5÷27.1	Lefranc	1.91E-06	TRVa
3A S42	11.5÷12	Lefranc	6.33E-06	a2
3A S42	24.5÷25	Lefranc	2.09E-08	TRVa
3A S43	7÷7.5	Lefranc	2.03E-05	a2
3A S43	25.5÷26	Lefranc	1.30E-08	TRV
3A S44	14÷15	Lefranc	2.71E-07	TRV
3A S44	26.5÷27	Lefranc	2.65E-06	TRV
3A S45	11.5÷12	Lefranc	1.61E-04	a2
3A S45	24.3÷24.7	Lefranc	2.92E-08	TRV
3A S46	6÷7	Lefranc	5.94E-05	a2
3A S46	25÷26	Lefranc	7.38E-08	TRV
3A S47	11.9÷12.4	Lefranc	1.86E-06	a2
3A S47	24÷25	Lefranc	5.78E-09	TRV
3A S48	11÷12	Lefranc	8.12E-07	TRV
3A S48	24÷25	Lefranc	5.35E-09	TRV
3A S49	5÷5.5	Lefranc	3.90E-06	a2
3A S49	25÷25.5	Lefranc	2.61E-06	TRV
3A S50	6÷6.5	Lefranc	3.01E-06	a2
3A S50	19.5÷20	Lefranc	5.37E-07	TRV
3A S51	4.5÷5	Lefranc	1.38E-04	a2
3A S51	20÷20.5	Lefranc	1.38E-08	TRV
3A S52bis	4.1÷4.6	Lefranc	8.47E-08	TRV
3A S52bis	21.5÷22	Lefranc	2.91E-08	TRV
3a S53	13.5÷14	Lefranc	3.82E-06	GTL3
3a S53	26.5÷27	Lefranc	4.10E-06	GTL3
3a S53bis	4.5÷5	Lefranc	2.42E-06	GTL3
3a S53bis	25.5÷26	Lefranc	3.33E-07	GTL3
3A S54	11.5÷12	Lefranc	4.04E-07	GPQ
3A S54	18.5÷19	Lefranc	3.69E-07	GPQ

Codice Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Tipo prova	K (m/s)	Geologia
3A S55	12÷12.5	Lefranc	3.76E-07	GPQ
3A V04	9÷10	Lefranc	9.51E-09	TRVa
3A V06	4÷5	Lefranc	8.60E-05	a2
3A V07	9÷10	Lefranc	8.09E-06	a2
3A V09	9÷10	Lefranc	2.13E-06	TRV
3A V10	4.3÷4.8	Lefranc	3.82E-05	a2
3A V13	4.5÷5	Lefranc	2.62E-05	a2
3A VI19	11.5÷12	Lefranc	7.16E-04	a2
3A VI19	24÷25	Lefranc	7.12E-07	TRVa
3A VO4bis	6.7÷7.2	Lefranc	2.56E-08	TRV
3A56	4.5÷6	Lefranc	1.19E-04	a2
3A56	7.5÷9	Lefranc	5.45E-06	FYN4
3A56Bis	4.5÷6	Lefranc	7.18E-05	GPQa
3A56Bis	7.5÷9	Lefranc	2.80E-06	GPQa
3A57	6÷7.5	Lefranc	2.46E-03	a2
3A57	16.5÷18	Lefranc	7.55E-05	FYN4
3AGN2S01	9.5÷10.5	Lefranc	3.89E-07	TRV
3AGN2S01	27.5÷28.5	Lefranc	9.26E-08	TRV
3AGN2S03	231.5÷232.5	Lefranc	1.44E-08	TRV
3AGN2S03	237.5÷238.5	Lefranc	2.23E-08	TRV
3AGN2S03	245÷246	Lefranc	3.50E-09	TRV
3AGN2S04	236.5÷238	Lugeon	2.78E-08	TPL
3AGN2S04	245÷246.5	Lugeon	1.74E-08	TPL
3AGN2S04	250.5÷252	Lugeon	3.23E-08	TPL
3AGN3S02	141÷142	Lugeon	1.27E-09	GTL3
3AGN3S02	148÷149	Lugeon	8.15E-10	GTL3
3AGN3S02	155÷156	Lugeon	7.37E-10	GTL3
3AGN3S03	6÷9	Lefranc	5.74E-07	TRVb
3AGN3S03	15÷18	Lefranc	3.02E-07	TRVb
3AGN3S04	29÷30	Lefranc	8.89E-09	TRVa
3AGN3S04	38÷39	Lefranc	8.79E-09	TRVa
3AGN4S01	3÷4.5	Lefranc	1.39E-06	TRV
3AGN4S02	24÷27	Lefranc	5.19E-06	TRV
3AGN4S02	36÷39	Lefranc	9.75E-06	TRV
3AGN4S02	48÷50	Lefranc	9.43E-06	TRV
3AGN5S03	3÷5	Lefranc	6.97E-05	FYN4
3AGN5S03	10.6÷12	Lefranc	1.79E-06	FYN4
3aS01	6.4÷7.4	Lefranc	1.01E-05	a2
3aS01	27.9÷28.4	Lefranc	1.27E-04	TRVa
3ASI01	29÷30	Lefranc	5.34E-08	TRVa
3ASI01	12÷13	Lefranc	6.79E-07	TRVa
3ASI02	30÷31	Lefranc	9.41E-08	TRVa
3ASI02	10÷11	Lefranc	1.11E-05	a2
3ASI03	28÷29	Lefranc	1.77E-08	TRVa
3ASI03	9÷10	Lefranc	1.11E-08	TRVa
3b F01	24÷24.5	Lefranc	1.82E-08	FYN4

Codice Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Tipo prova	K (m/s)	Geologia
3b F01	12.5÷13	Lefranc	1.05E-07	AV
3b F01	5÷5.5	Lefranc	5.88E-07	AV
3b F02	56.5÷57	Lefranc	3.32E-09	AV
3b F02	48÷48.5	Lefranc	5.81E-09	AV
3b F03	24÷24.5	Lefranc	1.73E-08	FYN4
3b F03	10÷10.5	Lefranc	5.65E-08	FYN4
3b F03	3.5÷4	Lefranc	1.12E-06	FYN4
3b F04	68÷68.5	Lefranc	2.18E-09	FYN4
3b F04	58÷58.5	Lefranc	2.47E-09	FYN4
3b GN6 S01	20.5÷21	Lefranc	1.26E-08	FYN4
3b GN6 S01	8.5÷9	Lefranc	3.07E-08	FYN4
3b GN6 S02	58.1÷58.6	Lefranc	5.05E-09	FYN4
3b GN6 S02	49÷49.5	Lefranc	3.69E-09	FYN4
3b GN6 S02	40.5÷41	Lefranc	4.76E-09	FYN4
3b GN6 S03	23÷23.5	Lefranc	1.35E-08	FYN4
3b GN6 S03	13.1÷13.6	Lefranc	1.55E-08	FYN4
3b GN6 S04	35÷35.5	Lefranc	7.12E-09	AV
3b GN6 S04	23÷23.5	Lefranc	4.47E-08	AV
3b GN6 S04	18÷18.5	Lefranc	1.75E-08	AV
3b GN7 S01	24÷24.5	Lefranc	1.13E-08	TRVa
3b GN7 S01	12.5÷13	Lefranc	4.39E-08	TRV
3b GN7 S01	4÷4.5	Lefranc	5.77E-06	TRV
3b GN7 S02	40.5÷41	Lefranc	3.02E-08	TRVa
3b GN7 S02	36÷36.5	Lefranc	3.27E-08	TRVa
3b GN7 S02	28.5÷29	Lefranc	1.37E-08	TRVa
3b GN7 S03	31÷31.5	Lefranc	1.17E-08	FYN4
3b GN7 S03	23÷23.5	Lefranc	1.60E-08	FYN4
3b GN7 S04	39÷39.5	Lefranc	3.75E-08	AV
3b GN7 S04	32÷32.5	Lefranc	4.23E-08	FYN4
3b GN7 S04	24÷24.5	Lefranc	1.44E-08	FYN4
3b GN7 S05	27÷27.5	Lefranc	1.16E-08	AV
3b GN7 S05	12.5÷13	Lefranc	2.93E-07	AV
3b GN7 S05	4÷4.5	Lefranc	4.41E-07	AV
3b GN8 S01	23.5÷24	Lefranc	2.08E-08	AV
3b GN8 S01	15.5÷16	Lefranc	2.03E-08	AV
3b GN8 S01	7÷7.5	Lefranc	5.76E-08	AV
3b S01	4.5÷5	Lefranc	4.08E-07	a2
3b S01	25÷26	Lefranc	2.04E-08	FYN4
3b S02	8.5÷9	Lefranc	4.90E-05	a2
3b S02	21÷22	Lefranc	6.13E-08	FYN4
3b S03	9÷10	Lefranc	1.20E-05	a2
3B S03	8.5÷9	Lefranc	3.06E-08	a2
3B S04	6.3÷7.5	Lefranc	2.51E-06	a2
3B S04	17÷17.5	Lefranc	7.54E-07	FYN4
3B S05	4.5÷5.5	Lefranc	1.54E-07	a2
3B S05	19.5÷20	Lefranc	2.51E-07	FYN4

Codice Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Tipo prova	K (m/s)	Geologia
3B S06	4÷5	Lefranc	2.25E-08	a2
3B S06	7÷8	Lefranc	4.92E-06	FYN4
3B S06	20÷24	Lefranc	4.09E-09	FYN4
3B S07	18÷19	Lefranc	7.87E-08	FYN4
3B S08	3.5÷5	Lefranc	4.42E-06	a2
3B S08	20÷21	Lefranc	5.82E-08	FYN4
3B S09	4.2÷5	Lefranc	2.96E-06	a2
3B S09	21÷22	Lefranc	6.54E-08	AV
3B S10	6÷6.5	Lefranc	9.52E-08	AV
3B S10	24÷24.5	Lefranc	1.94E-08	FYN4
3B S11	4.5÷5	Lefranc	4.08E-06	a2
3B S11	25.5÷26	Lefranc	7.35E-08	FYN4
3B S12	5÷5.5	Lefranc	1.29E-07	Detrito di versante
3B S12	21÷21.5	Lefranc	3.12E-08	FYN4
3B S13	4.2÷5.2	Lefranc	1.13E-08	FYN4
3B S13	14÷15	Lefranc	9.64E-09	FYN4
3B V16	4÷5	Lefranc	5.49E-07	FYN4
3B V16	13.2÷14.2	Lefranc	2.24E-07	FYN4
3B V18	2÷2.5	Lefranc	5.65E-07	Detrito di versante
3B V18	22.5÷23	Lefranc	6.46E-08	FYN4
3BV19	5÷5.5	Lefranc	8.67E-06	FYN4
3BV19	15÷15.5	Lefranc	4.23E-08	FYN4
3BV19	26÷26.5	Lefranc	1.29E-08	FYN4
3BV20	5÷6	Lefranc	3.94E-05	a2
3BV20	12÷12.5	Lefranc	6.65E-07	FYN4
3BV20	25÷25.5	Lefranc	1.80E-07	FYN4

Inoltre, la quasi totalità dei sondaggi è stata attrezzata a piezometro per il monitoraggio della falda, utilizzando i piezometri a tubo aperto tipo Norton, o per la misurazione del carico idraulico, mediante dispositivi elettrici (celle di Casagrande o a corda vibrante). L'ubicazione dei piezometri e i dati delle letture effettuate sono riportati nella carta e nel profilo idrogeologico. L'elenco dei sondaggi attrezzati e i risultati delle letture sono elencati nella Tabella 10.

Tabella 10 – Caratteristiche dei piezometri installati nell'ambito della campagna geognostica 2019.

	Codice sondaggio	Lunghezza (m)	Quota boccaforo (m s.l.m.)	Tipo piezometro	Profondità tratto fenestrato (m da p.c.)	Profondità cella Casagrande o elettrica (m da p.c.)
SONDAGGI IN LINEA	3a-S01	30	412	Piezometro T.A. da 3"	2÷8	
	3a-S02	40	412	Piezometro T.A. da 3"	2÷28	
	3a-S07	40	443	Piezometro T.A. da 3"	2÷13	
	3a-S09	40	435	Piezometro T.A. da 3"	2÷27	

Codice sondaggio	Lunghezza (m)	Quota boccaforo (m s.l.m.)	Tipo piezometro	Profondità tratto fenestrato (m da p.c.)	Profondità cella Casagrande o elettrica (m da p.c.)
3a-S10bis	30	439	Piezometro T.A. da 3"	2÷8.5	
3a-S12	40	445	Piezometro T.A. da 3"	2÷8.5	
3a-S14	40	445	Piezometro T.A. da 3"	2÷11	
3a-S15	40	455	Piezometro T.A. da 3"	2÷8	
3a-S17	40	417	Piezometro T.A. da 3"	2÷9	
3a-S18	40	463	Piezometro T.A. da 3"	2÷10	
3a-S19	40	477	Cella Casagrande		20
3a-S21	40	482	Piezometro T.A. da 3"	2÷8	
3a-GN1-S01	30	491	Piezometro T.A. da 3"	2÷12	
3a-GN1-S04	40	500	Cella Casagrande		30
3a-GN1-S05	195	649	Piezometro T.A. da 3"	150÷180	
3a-GN1-S06	100	551	Cella di Casagrande		81.00
3a-GN1-S07	50	504	Cella Casagrande		35
3a-GN1-S08	30	474	Cella Casagrande		18
3a-S22	40	453	Piezometro T.A. da 3"	2÷10	
3a-S23	30	444	Piezometro T.A. da 3"	2÷14	
3a-S24	40	434	Piezometro T.A. da 3"	2÷10	
3a-S26	40	422	Cella Casagrande		20
3a-S29	40	411	Piezometro T.A. da 3"	2÷6	
3a-S31	30	402	Piezometro T.A. da 3"	3÷12	
3a-S32	30	394	Piezometro T.A. da 3"	2÷8	
3a-S33	40	388	Piezometro T.A. da 3"	2÷8	
3a-S34	40	387	Piezometro T.A. da 3"	2÷8	
3a-S36a	18	393	Cella Casagrande		20
3a-S38	40	379	Piezometro T.A. da 3"	2÷12	
3a-S40	40	373	Piezometro T.A. da 3"	3÷30	
3a-S42	40	368	Piezometro T.A. da 3"	3÷21	
3a-S44	40	364	Piezometro T.A. da 3"	3÷12	
3a-S45	30	358	Piezometro T.A. da 3"	3÷18	
3a-S48	30	352	Piezometro T.A. da 3"	3÷18	
3a-S49	40	351	Piezometro T.A.	3÷9	
3a-S51	40	337	Cella Casagrande		21
3a-S52	40	378	Cella Casagrande		7
3a-S52bis	30	351	Cella Casagrande		20
3a-GN2-S01	30	374	Cella Casagrande		20
3a-GN2-S02	45	394	Cella Casagrande		39
3a-GN2-S04	275	550	Piezometro T.A.	220÷260	
3a-GN2-S05	225	521	Piezometro T.A.	141÷204	

	Codice sondaggio	Lunghezza (m)	Quota boccaforo (m s.l.m.)	Tipo piezometro	Profondità tratto fenestrato (m da p.c.)	Profondità cella Casagrande o elettrica (m da p.c.)
	3a-GN2-S06	200	433	Piezometro T.A.	150÷175	
	3a-GN2-S07	105	364	Piezometro T.A. da 2"	80÷90	
	3a-GN2-S08	30	329	Cella Casagrande 0,5"		15.00
	3a-S53	40	358	Piezometro T.A. da 3"	3÷30	
	3a-S54	40	328	Piezometro T.A. da 3"	3÷18	
	3a-S53bis	30	351	Piezometro T.A. da 3"	3÷15	
	3a-GN3-S01	30	420	Piezometro T.A.		12.50
	3a-GN3-S02	165	316	Piezometro T.A.	60÷90	
	3a-GN3-S03	30	357	Cella Casagrande 0,5"		12.00
	3a-GN3-S04	50	306	Piezometro T.A. da 3"		45.00
	3a-GN4-S01	30	350	Cella Casagrande		9.00
	3a-GN4-S02	60	284	Cella Casagrande		46.00
	3a-S56	40	286	Piezometro T.A.	3÷9	
	3a-S57	40	327	Piezometro T.A. da 2"	3÷22	
	3a-GN5-S01	30	322	Piezometro T.A. da 2"	12÷23	
	3a-GN5-S03	30	304	Piezometro T.A.		12
	3b-S01	30	305	Cella Casagrande		10
	3b-S03a	10	306	Piezometro T.A.	3÷12	
	3b-S04	30	309	Piezometro T.A.	2÷10	
	3b-S05	30	328	Piezometro T.A.	3.2÷12.5	
	3b-S07	10	321	Cella Casagrande		9
	3b-S09	40	359	Piezometro T.A.	1÷6.75	
	3b-GN6-S01	18	411	Cella Casagrande		35.00
	3b-GN6-S02	65	386	Cella Casagrande		57.00
	3b-GN6-S03	35	400	Cella Casagrande		20.00
	3b-GN6-S04	32	358	Cella Casagrande		45.00
	3b-S11	40	389	Piezometro T.A. da 3"	3÷9	
	3b-GN7-S01	30	424	Cella Casagrande		18.00
	3b-GN7-S02	40	427	Cella Casagrande		40.00
	3b-GN7-S03	40	443	Cella Casagrande		37.00
	3b-GN7-S04	50	424	Cella Casagrande		40.00
	3b-GN7-S05	25	423	Cella Casagrande		25.00
	3b-GN8-S01	30	409	Cella Casagrande		25.00
	3b-S13	30	456	Cella Casagrande		20
VIABILITA'	3a-V04	40	465	Cella Casagrande		15
	3a-V04bis	30	449	Cella Casagrande		12
	3a-V06	40	448	Piezometro T.A. da 3"	2÷13	
	3a-V07	40	444	Piezometro T.A. da 3"	2÷12	

	Codice sondaggio	Lunghezza (m)	Quota boccaforo (m s.l.m.)	Tipo piezometro	Profondità tratto fenestrato (m da p.c.)	Profondità cella Casagrande o elettrica (m da p.c.)
	3a-V09	40	418	Piezometro T.A. da 3"	2÷11	
	3a-V10	40	419	Piezometro T.A. da 3"	2÷8	
	3a-V13	40	313	Piezometro T.A. da 3"	2÷10.5	
	3a-VI20	40	355	Piezometro T.A. da 3"	3÷21	
	3a-VI22	40	360	Piezometro T.A. da 3"	3÷30	
	3a-VI23	30	416	Piezometro T.A. da 3"		30
	3a-SI-01	40	417	Piezometro T.A. da 3"	0÷18	
	3a-SI-02	40	445	Piezometro T.A. da 3"	0÷18	
	3a-SI-03	30	497	Cella Casagrande		30
	3a-SI-04	40	378	Cella Casagrande		40
	3a-SI-05	40	334	Piezometro T.A. da 3"	0÷18	
	3a-SI-06	30	349	Cella Casagrande		10
	3a-SI-07	30	313	Cella Casagrande		10
	3a-SI-08	30	307	Cella Casagrande		10
	3b-SI-10	30		Cella Casagrande		15
	3b-SI-V08	40	316	Cella Casagrande		21
	3b-SI-V09	40	312	Cella Casagrande		21
	3b-V16	30	312	Cella Casagrande		8.8
	3b-V18	30	321	Cella Casagrande		15
	3b-V19	35	326	Cella Casagrande		22
3b-V21a	35	573	Cella Casagrande		10	
FINESTRE	3a-F01	125	506	Cella Elettrica	115	
	3a-F02	30	360	Cella Casagrande		21
	3a-F03	30	427	Piezometro T.A. da 3"		13
	3a-F04	90	400	Cella Casagrande		74÷76
	3b-F01a	15	427	Cella Casagrande		15.00
	3b-F02	70	450	Cella Casagrande		45.00
	3b-F03	30	479	Cella Casagrande		13
	3b-F04	80	409	Cella Casagrande		60.00

Le letture effettuate nei piezometri nel periodo novembre-aprile 2020 sono riportate nella Tabella 11. Nel profilo idrogeologico vengono riportati i valori di soggiacenza minima e massima; nella carta idrogeologica sono invece riportati i dati misurati a marzo 2020.

Tabella 11 – Letture di soggiacenza nei piezometri della campagna Italferr 2019-2020. In grigio sono indicate le letture eseguite qualche giorno dopo le operazioni di spurgo, laddove effettuate.

Codice sondaggio	novembre 2019		gennaio 2020		febbraio 2020		marzo 2020		aprile 2020	
	soggiacenza (m dal p.c.)	data								
3a-S01	-1.98	25-11-19	-1.80	24-01-20	-3.40	24-02-20	-3.90	24-03-20	-3.98	16-04-20
3a-S02	-0.54	25-11-19	-0.40	24-01-20	-2.10	24-02-20	-2.40	24-03-20	-1.09	16-04-20
3a-S07	-4.50	25-11-19	-4.50	24-01-20	-4.50	24-02-20	-4.51	24-03-20	-4.50	16-04-20
3a-S09	-2.53	25-11-19	-2.70	24-01-20	-2.90	24-02-20	-3.35	24-03-20	-5.23	16-04-20
3a-S10bis	-2.25	25-11-19	-2.17	24-01-20	-2.30	24-02-20	-1.99	24-03-20	-2.19	16-04-20
3a-S12	-1.00	25-11-19	-0.70	24-01-20	-3.20	24-02-20	-2.19	24-03-20	-2.48	16-04-20
3a-S14	-1.60	25-11-19	-0.78	24-01-20	-1.20	24-02-20	-0.97	24-03-20	-1.16	16-04-20
3a-S15	-7.20	25-11-19	-6.70	24-01-20	-7.20	24-02-20	-6.82	24-03-20	-6.94	16-04-20
3a-S17	-1.03	25-11-19	-0.85	24-01-20	-1.30	24-02-20				
3a-S18	-0.58	25-11-19	-0.50	24-01-20	-0.70	24-02-20	-0.31	24-03-20	-0.59	16-04-20
3a-S19	-6.18	25-11-19	-4.58	24-01-20	-4.52	24-02-20	-3.64	24-03-20	-4.09	16-04-20
3a-S21	-2.55	25-11-19	-1.34	24-01-20	-1.24	24-02-20	-1.12	24-03-20	-1.24	16-04-20
3a-GN1-S01	-1.64	25-11-19	-1.83	24-01-20	-2.20	24-02-20	-1.58	24-03-20	-1.64	16-04-20
3a-GN1-S04	0 (in pressione)	25-11-19	0 (in pressione)	24-01-20	0 (in pressione)	24-02-20	0 (in pressione)	24-03-20	0 (in pressione)	16-04-20
3a-GN1-S05			-57.80	24-01-20	-57.80	24-02-20	-57.80	24-03-20	-57.80	16-04-20
3a-GN1-S06	0 (in pressione)	25-11-19	0 (in pressione)	24-01-20	0 (in pressione)	24-02-20	0 (in pressione)	24-03-20	0 (in pressione)	16-04-20
3a-GN1-S07	-2.10	25-11-19	-2.76	24-01-20	-3.00	24-02-20	-3.03	24-03-20	-2.36	16-04-20
3a-GN1-S08	-6.92	25-11-19	-7.23	24-01-20	-7.50	24-02-20	-7.55	24-03-20	-7.62	16-04-20
3a-S22	-2.50	25-11-19	-2.44	24-01-20	-3.00	24-02-20	-2.62	24-03-20	-2.89	16-04-20
3a-S23	-3.10	25-11-19	-5.26	24-01-20	-5.60	24-02-20	-4.79	24-03-20	-5.30	16-04-20
3a-S24	-4.13	25-11-19	-4.53	24-01-20	-4.70	24-02-20	-4.25	24-03-20	-4.66	16-04-20
3a-S26	-4.00	25-11-19	-4.22	24-01-20	-4.00	24-02-20				16-04-20
3a-S29	-8.05	25-11-19	-7.86	24-01-20	-7.90	24-02-20	-7.39	24-03-20	-7.78	16-04-20
3a-S31	-5.00	25-11-19	-4.80	24-01-20	-4.60	24-02-20	-4.47	24-03-20	-4.67	16-04-20
3a-S32	-1.00	25-11-19	-1.07	24-01-20	-1.12	24-02-20			-1.09	16-04-20
3a-S33	-0.73	25-11-19	-0.91	24-01-20	-0.50	24-02-20				16-04-20
3a-S34	-0.85	25-11-19	-1.26	24-01-20	-1.13	24-02-20				16-04-20
3a-S36a	-0.80	25-11-19	-3.32	24-01-20	-4.50	24-02-20	-8.63	24-03-20	-8.99	16-04-20
3a-S38	-8.90	25-11-19	-9.20	24-01-20	-8.69	24-02-20	-8.90	24-03-20	-8.95	16-04-20
3a-S40	-4.50	25-11-19	-5.10	24-01-20	-5.06	24-02-20	-4.97	24-03-20	-5.05	16-04-20
3a-S42	-1.58	25-11-19	-1.84	24-01-20					-1.71	16-04-20
3a-S44	-3.80	25-11-19	-3.50	24-01-20	-3.60	24-02-20	-3.45	24-03-20	-3.63	16-04-20
3a-S45			-3.13	24-01-20	-3.03	24-02-20				16-04-20
3a-S48			-5.82	24-01-20	-5.73	24-02-20	-5.43	24-03-20	-5.78	16-04-20
3a-S49	-6.60	25-11-19	-6.07	24-01-20	-6.23	24-02-20	-6.00	24-03-20	-6.18	16-04-20
3a-S51			-0.75	24-01-20	-2.20	24-02-20	-2.12	24-03-20	-2.21	16-04-20
3a-S52									-0.88	16-04-20
3a-S52bis			-18.21	24-01-20	-18.06	24-02-20	-17.86	24-03-20		16-04-20
3a-GN2-S01			-8.30	24-01-20	-4.20	24-02-20	-3.72	24-03-20		16-04-20

Codice sondaggio	novembre 2019		gennaio 2020		febbraio 2020		marzo 2020		aprile 2020	
	soggiacenza (m dal p.c.)	data								
3a-GN2-S02	-30.76	25-11-19	-29.80	24-01-20	-10.00	24-02-20	-10.30	24-03-20	-10.20	16-04-20
3a-GN2-S04	-140.00	25-11-19	-129.00	24-01-20	-130.20	24-02-20	-130.80	24-03-20	-130.80	16-04-20
3a-GN2-S05	-150.00	25-11-19					-150.20	24-03-20	-150.55	16-04-20
3a-GN2-S06	-22.73	25-11-19	-22.21	24-01-20	-22.30	24-02-20	-22.10	24-03-20	-22.42	16-04-20
3a-GN2-S07	-90.60	25-11-19	-90.87	24-01-20	-96.30	24-02-20	-96.50	24-03-20	-94.31	16-04-20
3a-GN2-S08	-9.06	25-11-19	-9.40	24-01-20	-9.00	24-02-20	-14.70	24-03-20	-15.58	16-04-20
3a-S53			-3.00	24-01-20	-3.00	24-02-20	-3.00	24-03-20	-3.02	16-04-20
3a-S54			-5.20	24-01-20	-5.22	24-02-20	-5.47	24-03-20	-5.63	16-04-20
3a-S53bis	-9.51	25-11-19	-8.60	24-01-20	-9.20	24-02-20	-9.70	24-03-20	-9.33	16-04-20
3a-GN3-S01					-4.50	24-02-20	-5.10	24-03-20	-4.20	16-04-20
3a-GN3-S02					-73.60	24-02-20	-73.80	24-03-20	-60.43	16-04-20
3a-GN3-S03	-0.90	25-11-19	-2.00	24-01-20	-3.60	24-02-20	-3.75	24-03-20	-3.58	16-04-20
3a-GN3-S04					-3.40	24-02-20	-3.50	24-03-20	-3.66	16-04-20
3a-GN4-S01			-2.40	24-01-20	-2.60	24-02-20	-2.90	24-03-20	-2.62	16-04-20
3a-GN4-S02	-45.00	25-11-19	no falda	24-01-20	NO FALDA	24-02-20	NO FALDA	24-03-20	NO FALDA	16-04-20
3a-S56			-5.70	24-01-20	-5.30	24-02-20	-5.40	24-03-20	-5.16	16-04-20
3a-S57	-5.13	25-11-19	-5.20	24-01-20	-5.48	24-02-20	-5.50	24-03-20	-5.19	16-04-20
3a-GN5-S01	-1.60	25-11-19	-3.00	24-01-20	-2.40	24-02-20	-1.88	24-03-20	-1.25	16-04-20
3a-GN5-S03	-7.55	25-11-19	-7.30	24-01-20	-7.20	24-02-20	-7.30	24-03-20	-7.08	16-04-20
3b-S01	-4.50	25-11-19	-1.74	24-01-20	-1.35	24-02-20	-1.40	24-03-20	-1.10	16-04-20
3b-S03a	-6.90	25-11-19	-7.10	24-01-20	-7.33	24-02-20	-7.70	24-03-20	-7.30	16-04-20
3b-S04	-2.45	25-11-19	-3.00	24-01-20	-3.60	24-02-20	-3.86	24-03-20	-3.60	16-04-20
3b-S05			-2.90	24-01-20	-3.00	24-02-20	-3.25	24-03-20	-3.06	16-04-20
3b-S07	-2.50	25-11-19	-2.60	24-01-20	-3.35	24-02-20	-3.30	24-03-20	-3.41	16-04-20
3b-S09	-4.60	25-11-19	-5.07	24-01-20	-5.23	24-02-20	-5.35	24-03-20	-4.98	16-04-20
3b-GN6-S01	0.00	25-11-19	-2.60	24-01-20	-2.85	24-02-20	-5.30	24-03-20	-2.25	16-04-20
3b-GN6-S02	-51.20	25-11-19	-50.20	24-01-20	-50.40	24-02-20	-50.45	24-03-20	-48.99	16-04-20
3b-GN6-S03	-0.82	25-11-19	-3.31	24-01-20	-3.96	24-02-20	-4.00	24-03-20	-3.44	16-04-20
3b-GN6-S04	-4.30	25-11-19	-4.80	24-01-20	-4.80	24-02-20	NO FALDA	24-03-20	NO FALDA	16-04-20
3b-S11			-2.90	24-01-20	-3.00	24-02-20	-2.90	24-03-20	-2.69	16-04-20
3b-GN7-S01	NO FALDA	25-11-19	11.00	24-01-20	-13.56	24-02-20	-14.10	24-03-20	-13.51	16-04-20
3b-GN7-S02	NO FALDA	25-11-19	NO FALDA	24-01-20	NO FALDA	24-02-20	NO FALDA	24-03-20	NO FALDA	16-04-20
3b-GN7-S03	-28.50	25-11-19	-27.38	24-01-20	-16.00	24-02-20	-16.50	24-03-20	-11.29	16-04-20
3b-GN7-S04	-5.50	25-11-19	-1.40	24-01-20	-2.20	24-02-20	-2.45	24-03-20	-2.23	16-04-20
3b-GN7-S05	-7.00	25-11-19	-3.00	24-01-20	-6.18	24-02-20	-6.30	24-03-20	-6.10	16-04-20
3b-GN8-S01	-4.70	25-11-19	-4.50	24-01-20	-4.60	24-02-20	-3.95	24-03-20	-3.46	16-04-20
3b-S13	-0.90	25-11-19	-0.90	24-01-20	-1.10	24-02-20	-1.43	24-03-20	-0.89	16-04-20
3a-V04	-11.20	25-11-19	-0.70	24-01-20	-0.90	24-02-20	-1.43	24-03-20	-0.69	16-04-20
3a-V04bis	0.00	25-11-19	-1.70	24-01-20	-2.38	24-02-20	-1.88	24-03-20	-1.66	16-04-20
3a-V06	-4.60	25-11-19	-4.73	24-01-20	-4.98	24-02-20	-4.57	24-03-20	-4.98	16-04-20
3a-V07	-7.73	25-11-19	-8.78	24-01-20	-8.13	24-02-20	-8.53	24-03-20	-8.91	16-04-20
3a-V09	-5.10	25-11-19	-5.56	24-01-20	-5.60	24-02-20	-5.47	24-03-20	-5.55	16-04-20
3a-V10	-7.53	25-11-19	-7.51	24-01-20	-7.80	24-02-20	-7.34	24-03-20	-7.79	16-04-20
3a-V13	-0.10	25-11-19	-1.46	24-01-20	-2.42	24-02-20	-3.30	24-03-20	-3.36	16-04-20

VIABILITA'

Codice sondaggio	novembre 2019		gennaio 2020		febbraio 2020		marzo 2020		aprile 2020		
	soggiacenza (m dal p.c.)	data									
3a-VI20			-7.87	24-01-20	-7.94	24-02-20			-7.97	16-04-20	
3a-VI22			-3.54	24-01-20	-3.24	24-02-20			-2.74	16-04-20	
3a-VI23			-12.92	24-01-20	-12.88	24-02-20			-12.85	16-04-20	
3a-SI-01										16-04-20	
3a-SI-02									-3.30	16-04-20	
3a-SI-03									-0.20	16-04-20	
3a-SI-04									-18.47	16-04-20	
3a-SI-05										16-04-20	
3a-SI-06									-2.10	16-04-20	
3a-SI-07									-6.75	16-04-20	
3a-SI-08									-8.87	16-04-20	
3b-SI-10									-6.80	16-04-20	
3b-SI-V08									-5.10	16-04-20	
3b-SI-V09									-1.78	16-04-20	
3b-V16	-2.50	25-11-19	-1.80	24-01-20	-1.28	24-02-20	-1.36	24-03-20	-1.31	16-04-20	
3b-V18	-1.50	25-11-19	-1.50	24-01-20	-0.90	24-02-20	-0.90	24-03-20	-0.40	16-04-20	
3b-V19	-4.50	25-11-19	NO FALDA	24-01-20	NO FALDA	24-02-20	NO FALDA	24-03-20	NO FALDA	16-04-20	
3b-V21a	-6.60	25-11-19	-6.34	24-01-20	-6.80	24-02-20	-6.00	24-03-20	-5.91	16-04-20	
FINESTRE	3a-F01	1.76	27-11-19	-1.20	24-01-20	-1.50	24-02-20	0.64	24-03-20	0.74	16-04-20
	3a-F02	-4.50	25-11-19	-3.09	24-01-20	-3.30	24-02-20	-3.19	24-03-20	-3.32	16-04-20
	3a-F03	-		-9.85	24-01-20	-9.52	24-02-20	-9.70	24-03-20	-8.90	16-04-20
	3a-F04	-		-21.30	24-01-20	-22.00	24-02-20	-22.25	24-03-20	-22.00	16-04-20
	3b-F01a	-0.20	25-11-19	-0.90	24-01-20	-1.43	24-02-20	-1.67	24-03-20		
	3b-F02	NO FALDA	25-11-19	NO FALDA	24-01-20	-39.66	24-02-20	-45.00	24-03-20		
	3b-F03	-21.56	25-11-19	-21.05	24-01-20	-21.30	24-02-20	-21.30	24-03-20		
	3b-F04	-0.80	25-11-19	-1.00	24-01-20	-1.00	24-02-20	-1.10	24-03-20		

Inoltre, da marzo 2020 sono state effettuate nuove letture sui piezometri realizzati nella campagna di indagini del Progetto Preliminare, elencati in Tabella 7. I risultati sono i seguenti:

Codice sondaggio	marzo 2020		aprile 2020	
	soggiacenza (m dal p.c.)	data	soggiacenza (m dal p.c.)	data
3S02	-1.03	06-03-20	0.00	16-04-20
3S04	-5.15	06-03-20	-4.66	16-04-20
3S05	-1.53	06-03-20	-4.66	16-04-20
3S06	-47.87	06-03-20	-47.77	16-04-20
3S07	-5.32	06-03-20	-4.08	16-04-20
3S10	-5.80	06-03-20	-5.62	16-04-20
3S11	-9.30	06-03-20	-5.86	16-04-20

Tabella 12 –Lecture di soggiacenza eseguite nel 2020 sui piezometri della campagna Italferr 2018.

9.3 Censimento pozzi e sorgenti

Nell'area oggetto di studio è stato eseguito un censimento dei punti delle acque sotterranee (sorgenti e pozzi), i cui risultati sono rappresentati sulle carte geologiche e idrogeologiche.

Per quanto riguarda le sorgenti, nell'area sono presenti 29 punti di emergenza, di cui circa la metà caratterizzate da contenuto in elementi disciolti alto (sorgenti mineralizzate, 4 punti) o più specificatamente da elevato contenuto di salgemma (sorgenti saline, 11 punti).

In particolare, le sorgenti saline sono costituite da emergenze di acque sovrassature da cui precipitano i sali formando concrezioni biancastre nelle immediate vicinanze della sorgente, e derivano da circuiti sviluppati all'intero dei litotipi del membro salifero della formazione di Cattolica. Queste sorgenti sono presenti tra la pk 34+500 e la pk 38+000 circa, e sono descritte negli stop geologici PD-G14 e PD-G16.

Le sorgenti mineralizzate sono ubicate nella stessa area delle sorgenti saline, ma pur mostrando un elevato contenuto di elementi disciolti non evidenziano una predominanza di salgemma, e mancano infatti le caratteristiche concrezioni biancastre intorno.

Le altre sorgenti sono invece perlopiù ubicate nelle parti medie dei versanti sotto cui è prevista la galleria GN01 Santa Catena: si tratta di emergenze alimentate da circuiti sviluppati all'interno dei livelli del membro sabbioso-conglomeratico della formazione di Terravecchia (TRVa).

Sono stati censiti circa 80 pozzi, che generalmente si spingono a debole profondità circa 20 m. I pozzi presenti nei fondovalle principali, che costituiscono circa la metà del totale, captano l'acquifero che si sviluppa all'interno nei depositi alluvionali. Sono altresì presenti numerosi pozzi nelle aree

subpianeggianti dei rilievi montuosi, in particolare nella zona di Vallelunga Pratameno (galleria GN01 Santa Catena): si tratta presumibilmente di pozzi che intercettano la falda che si sviluppa nei livelli più grossolani della formazione di Terravecchia (TRVa). In numero minore sono comunque presenti pozzi realizzati lungo i versanti costituiti da litotipi a minor permeabilità, ad esempio nella zona di Case Cammarata (GN06 Galleria Masareddu) dove si osservano tre pozzi all'interno delle Argille Varicolori.

9.4 Dati idrogeologici relativi alla Galleria Marianopoli esistente

Poiché la galleria in progetto GN02 – Nuova Marianopoli si sviluppa con andamento pressoché parallelo alla galleria ferroviaria esistente, denominata Marianopoli e realizzata nella seconda metà del diciannovesimo secolo, sono stati reperiti dati relativi alle venute d'acqua osservate all'interno del tunnel. Sono stati messi a disposizione da Italferr i documenti relativi al progetto esecutivo "Galleria Marianopoli - Tratta Roccapalumba-Caltanissetta - Allargamento nicchie, allontanamento acque e consolidamento". In particolare, nel profilo che rappresenta lo stato di fatto (documento n. 000017000PETSGL00000E0130) sono indicati i punti in cui lungo la galleria sono state osservate venute d'acqua più o meno significative.

La traccia indicativa della galleria Marianopoli e la posizione delle venute d'acqua, distinte a seconda della quantità, sono rappresentate sul profilo idrogeologico allegato a questo progetto. Sulla base dei dati raccolti si possono fare alcune considerazioni (procedendo da nordovest verso sudest, secondo le progressive della galleria esistente e di quella in progetto):

- la prima metà della galleria Marianopoli (dall'imbocco lato Palermo) è caratterizzata da totale assenza di venute di acqua. Secondo il modello geologico questa tratta di galleria si dovrebbe sviluppare all'interno dei litotipi della formazione di Terravecchia, che rappresentano un complesso idrogeologico caratterizzato da bassa trasmissività. Si presume che questo complesso, nell'intorno della galleria, sia stato drenato completamente durante lo scavo e che attualmente quindi sia privo di acqua.
- Intorno alla metà della galleria, all'altezza della pk 31+500 della Galleria GN02 in progetto, si osservano alcune venute d'acqua. Tuttavia, tra l'inizio delle venute e la pk 32+200 circa il modello geologico prevede ancora la presenza della formazione di Terravecchia a quota galleria, mentre a quote superficiali sono presenti le marne di Tripoli e i calcari di base della formazione di

Cattolica. Si ipotizza dunque che la presenza di questi litotipi in superficie permetta una maggiore infiltrazione. Un'ipotesi alternativa prevede la presenza di litotipi carbonatici anziché di litotipi terrigeni, in questo tratto ad oggi non raggiunto con indagini dirette. Coerentemente con i rilievi di terreno e in mancanza di altri dati diretti si è optato per la scelta della prima ipotesi, che potrà eventualmente essere verificata nelle fasi progettuali successive con indagini dirette da suolo o eseguite dall'interno della Galleria Marianopoli esistente.

- Successivamente e fino alla fine della galleria le venute divengono più numerose e significative in termini di portata. Questo è compatibile con la presenza di litotipi più permeabili e caratterizzati da acquiferi più produttivi, come previsti dal modello geologico sviluppato in questo progetto.

9.5 Permeabilità dei litotipi

Di seguito si riportano i valori di conducibilità idraulica misurati in situ rappresentati su grafici in funzione della litologia a cui si riferiscono. Si precisa che nei grafici vengono rappresentati anche i dati acquisiti nel Progetto Preliminare. Inoltre, per completezza dell'analisi, vengono prese in considerazione anche le misure effettuate nei sondaggi dell'adiacente Lotto 4a.

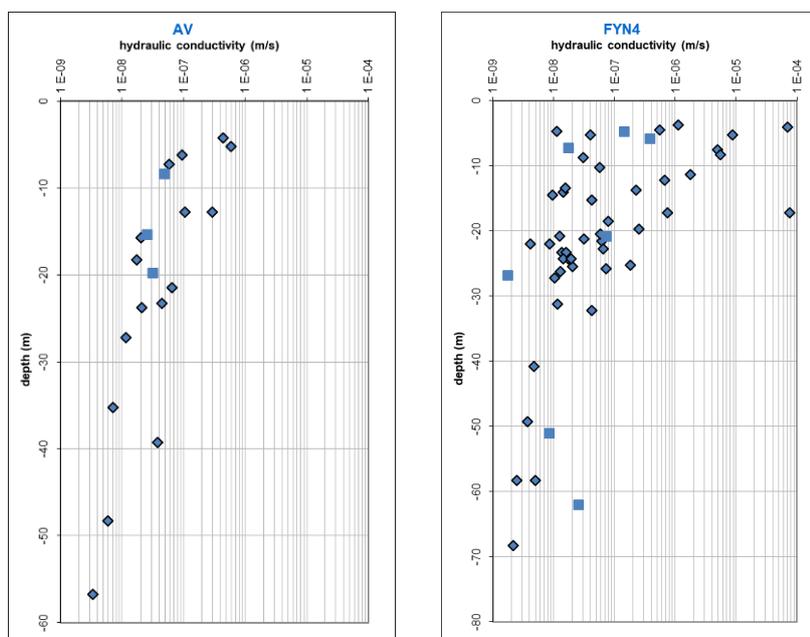


Figura 27. Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nelle Argille Variegiate (AV) e nei Flysch di Nicosia (FYN4) nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).

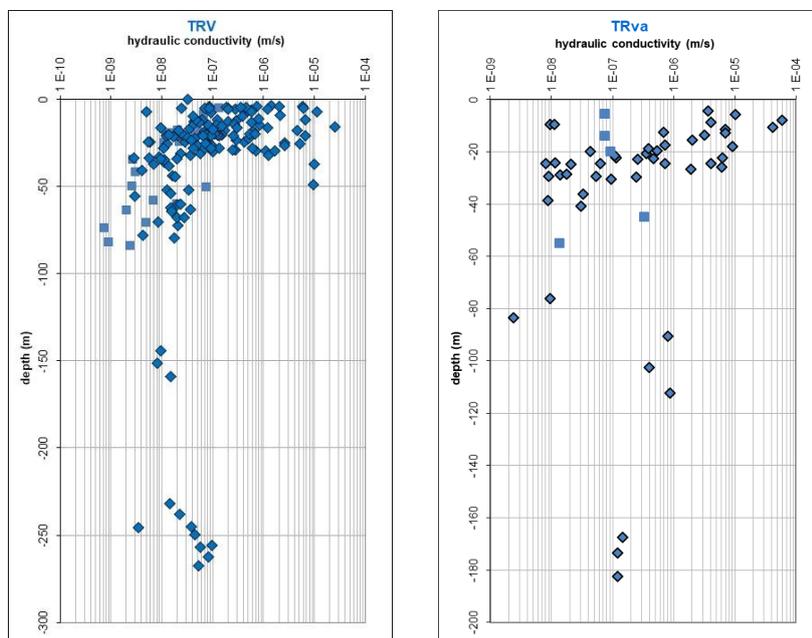


Figura 28 - Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nella formazione di Terravecchia (TRV e TRVa) nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).

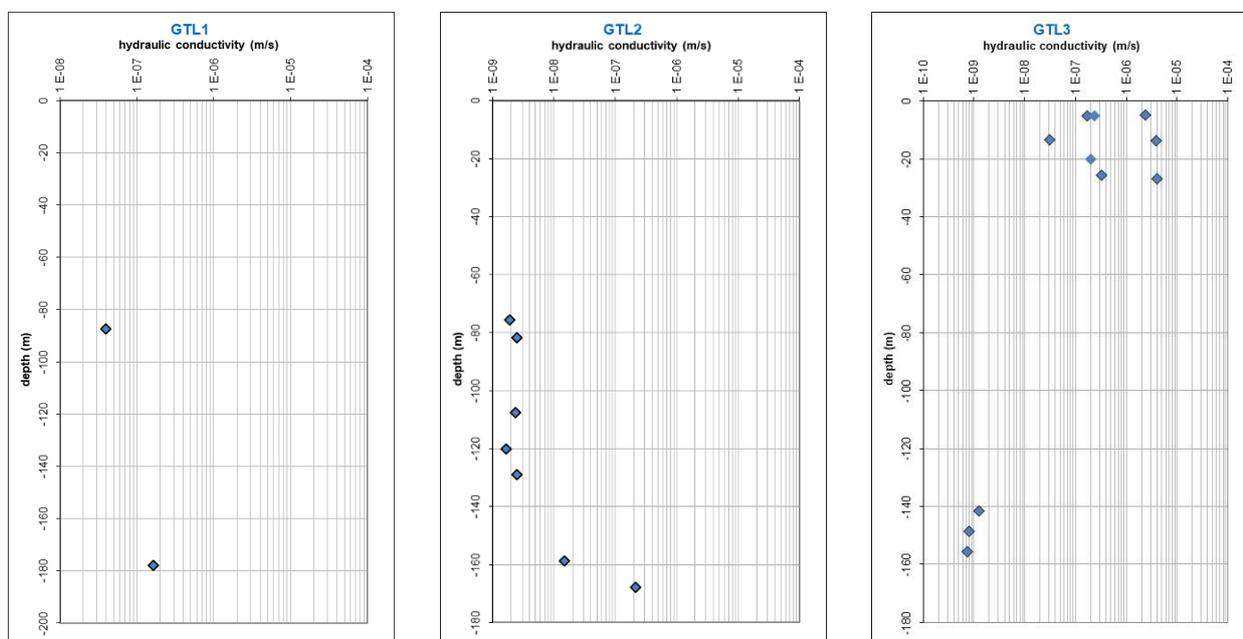


Figura 29 - Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nella formazione di Cattolica (GTL1, GTL2 e GTL3) nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).

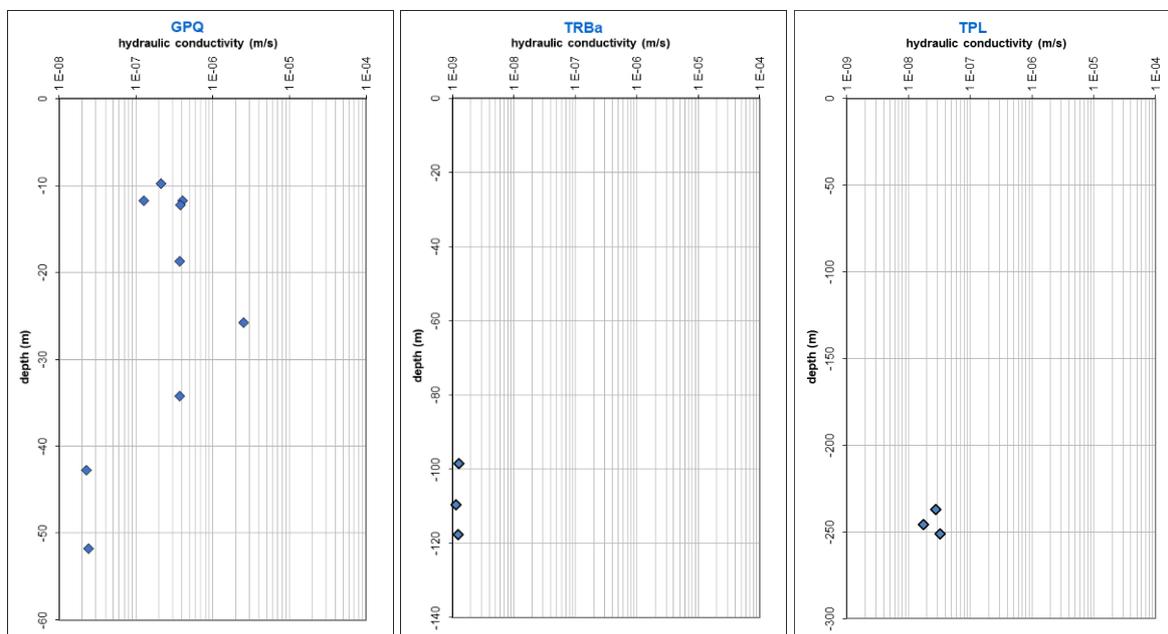


Figura 30 - Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nelle tre formazioni Tripoli (TPL), Pasquasia (GPQ) e Trubi (TRBa) nell'ambito del Progetto Definitivo.

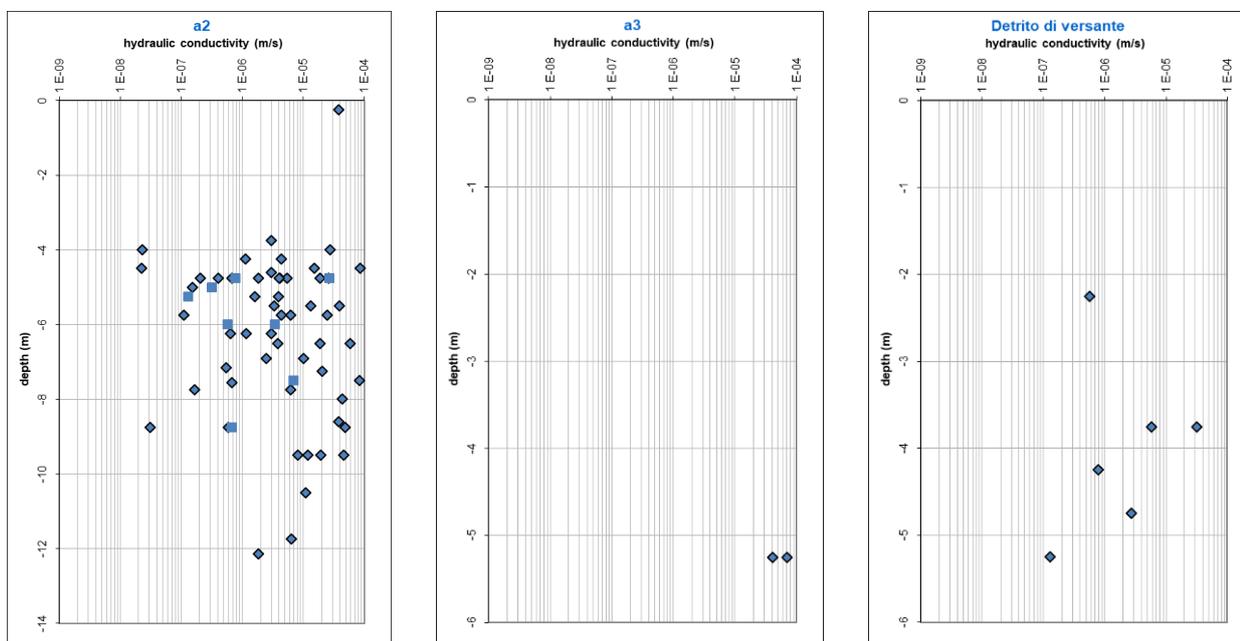


Figura 31 - Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nei depositi alluvionali (a2 e a3) e nel detrito di versante nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).

9.6 Complessi idrogeologici

Sulla base dei dati analizzati, e in accordo con quanto già definito nel Progetto Preliminare, sono stati individuati i litotipi dell'area di progetto sono stati classificati secondo sette complessi idrogeologici tenendo conto delle differenti caratteristiche di permeabilità e del tipo di circolazione idrica che li caratterizza. I complessi idrogeologici individuati si distinguono per avere comportamento idrogeologico omogeneo e per essere caratterizzati da uno stesso tipo di permeabilità (primario o secondario) e da un grado di permeabilità relativa che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto (Civita, 2005).

Per i complessi idrogeologici in cui non è presente un numero sufficiente di misure, il range di variazione della conducibilità idraulica è stato definito considerando le caratteristiche sedimentologiche e litologiche, il grado di alterazione, fessurazione e carsismo osservati negli affioramenti sul terreno e nelle carote dei sondaggi, e per analogia con litotipi con caratteristiche simili.

9.6.1 Complessi delle unità del substrato

Le unità del substrato prequaternario sono state suddivise in quattro complessi idrogeologici:

9.6.1.1 Complesso argilloso-marnoso (CAM)

Il complesso argilloso-marnoso (CAM) è costituito dalle unità caratterizzate da depositi prevalentemente fini. Dal punto di vista litologico, si tratta di argille, argille limose, argille limoso-marnose e argille marnose a struttura scagliosa o indistinta, talora stratificata, brecciata o a blocchetti poliedrici, con sottili livelli di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi; intercalazioni di diaspri, radiolariti, calcari micritici, arenarie e marne; talora sono presenti olistoliti eterometrici di quarzareniti, gessi, calcari evaporitici e calcari detritici. Le unità geologiche che afferiscono a questo complesso sono **ENNa, TRBa, TPL, TRV, TRVb, AV, TAV, FYN4, URG, MUF, UPM**.

La permeabilità prevalente è legata alla primaria porosità e varia generalmente da molto bassa a bassa. Secondariamente può essere per fessurazione, rimanendo comunque bassa. Data la natura sedimentaria dei depositi, possono essere presenti localmente livelli più grossolani, caratterizzati da valori di conducibilità idraulica più elevati ma generalmente aventi scarsa continuità laterale e pertanto scarsa interconnessione a grande scala.

Date le caratteristiche dell'acquifero, si esclude che esso possa ospitare falde o corpi idrici sotterranei di importanza significativa. In ogni caso esiste pur sempre una zona saturata, seppur non produttiva determinante carichi indisturbati crescenti con la profondità che verosimilmente si approssimano ad un carico di tipo idrostatico, essendo i flussi sotterranei estremamente lenti.

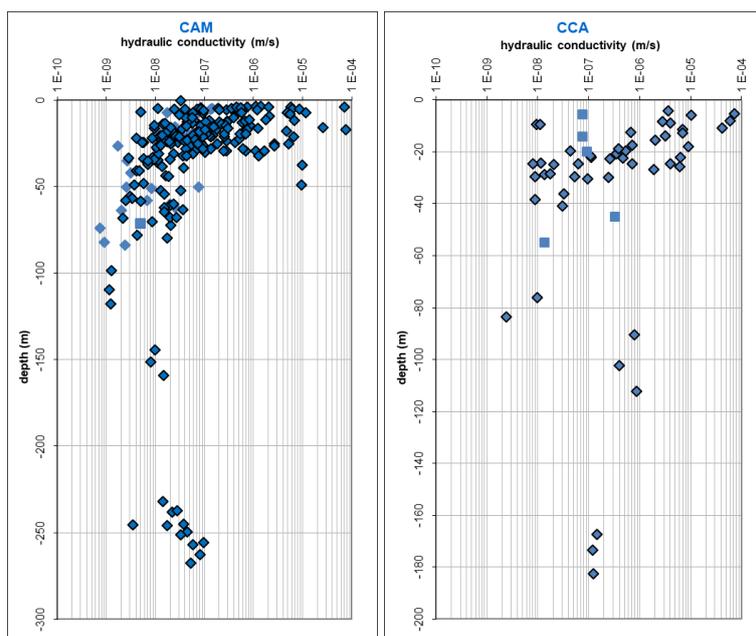


Figura 32. Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nei complessi idrogeologici CAM e CCA nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).

A questo complesso, che è quello più rappresentato nell'area in esame e a quota galleria, si attribuisce un valore di conducibilità idraulica generalmente compreso tra $5 \cdot 10^{-9}$ e $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, che può tuttavia raggiungere $1 \cdot 10^{-10}$ m/s nei livelli più fini e $1 \cdot 10^{-5}$ m/s nei livelli a granulometria più elevata. Inoltre, i valori di permeabilità maggiore si osservano nei livelli a bassa profondità, per effetto del dimensionamento che agisce sui litotipi. Considerata comunque la scarsa interconnessione dei livelli più permeabili, la permeabilità su grande scala, ovvero quella più significativa ai fini delle previsioni di drenaggio delle gallerie, si approssima ai valori dell'intervallo principale.

9.6.1.2 Complesso conglomeratico-arenaceo (CCA)

In questo complesso ricadono i livelli grossolani conglomeratico-arenacei della formazione di Terravecchia (**TRVa**), di Enna (**ENNb**) e di Pasquasia (**GPQa**). Si tratta prevalentemente di sabbie da medie a grosse e conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	119 di 257

matrice sabbiosa e sabbioso-limosa generalmente abbondante, da poco a ben cementata; subordinatamente di calcareniti e arenarie clinostratificate e a stratificazione incrociata, con diffusi livelli biocalcarenitici.

Il complesso costituisce un acquifero misto, di buona trasmissività, piuttosto eterogeneo ed anisotropo, caratterizzato da permeabilità per porosità variabile da medio-bassa a media.

La conducibilità idraulica varia generalmente tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $5 \cdot 10^{-6}$ m/s, pur mostrando valori più bassi fino a $1 \cdot 10^{-8}$ m/s nei livelli caratterizzati da una maggior percentuale di matrice fine o più elevati ($1 \cdot 10^{-4}$ m/s) in caso di matrice assente.

9.6.1.3 Complesso gessoso-marnoso (CGM)

In questo complesso sono raggruppati i litotipi gessoso-marnosi delle unità di Pasquasia (**GPQ**) e di Cattolica (**GTL2** e **GTL3**). È costituito da litotipi di diversa natura:

- gessi selenitici microcristallini, in strati decimetrici sottilmente laminati, e dai gessi massivi ricristallizzati in grossi cristalli geminati, talora alternati ad argille gessose;
- marne, marne argillose e argille marnose in strati da molto sottili a sottili, con frequenti livelli centimetrici di sabbie;
- localmente, torbiditi gessose, gesso balatino, gessoareniti e laminiti algali.

Il complesso costituisce un acquifero misto fortemente eterogeneo ed anisotropo. La permeabilità, generalmente bassa, è per porosità e per fessurazione e secondariamente per carsismo, che tuttavia si sviluppa solo localmente ed in misura limitata. Vista la natura dei terreni è probabile che il carsismo in questo contesto si sviluppi soprattutto all'interfaccia tra livelli marnosi e gessosi, che rappresentano una zona di discontinuità ed eterogeneità lungo la quale le circolazioni sotterranee hanno maggior facilità ad instaurarsi. È meno probabile che i fenomeni carsici si sviluppino direttamente all'interno delle bancate gessose, che, dato il loro comportamento plastico tendono a presentare poche discontinuità per fratturazione. In un simile contesto è quindi probabile che i fenomeni carsici si esprimano come orizzonti di modesto spessore ricchi in materiale residuale e con una permeabilità piuttosto alta per pseudo-porosità.

Le misure in foro indicano una conducibilità idraulica molto variabile anche in funzione della profondità a causa del minor grado di alterazione. Generalmente, si può attribuire un valore tra $1 \cdot 10^{-9}$ e $1 \cdot 10^{-8}$ m/s nei casi in cui i litotipi si trovino a profondità superiori a 50 m; la permeabilità può comunque aumentare fino a $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. A profondità inferiori a 50 m il grado di alterazione e i fenomeni di dissoluzione possono essere più significativi, con un conseguente aumento della conducibilità idraulica che può quindi essere assunta mediamente compresa tra $1 \cdot 10^{-6}$ e $1 \cdot 10^{-7}$ m/s; anche in queste condizioni si possono avere locali variazioni anche significative sia verso l'alto che verso il basso.

In generale, i valori ad elevata permeabilità si riferiscono ai sopra citati livelli di dissoluzione che, ove presenti, costituiranno elementi localizzati e non particolarmente potenti.

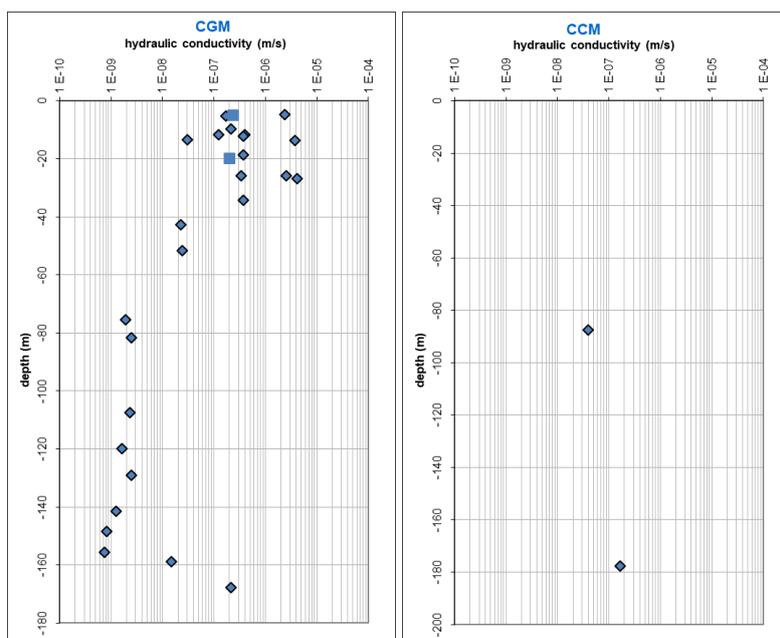


Figura 33. Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nei complessi idrogeologici CGM e CCM nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).

9.6.1.4 Complesso calcareo-marnoso (CCM)

A questo complesso si riferiscono i termini calcareo-marnosi delle Formazioni dei Trubi (**TRB**) e i calcari della formazione di Cattolica (**GTL1**). Si tratta di marne calcaree e calcari marnosi in strati da sottili a medi, in genere intensamente fratturati.

Anche in questo caso il complesso costituisce un acquifero molto eterogeneo ed anisotropo, con permeabilità da bassa a media per fessurazione e carsismo.

I pochi dati a disposizione non permettono di individuare valori di conducibilità significativi sulla base delle sole misure in situ. Considerando le caratteristiche litologiche e composizionali, si ipotizza che i litotipi di questo complesso presentino perlopiù delle permeabilità modeste per fratturazione. Solo localmente, in corrispondenza di orizzonti a minor grado di cementazione è probabile l'esistenza di zone a elevata porosità efficace e permeabilità. È altresì possibile, nei livelli calcarei la presenza di fenomeni carsici che determinano anch'essi permeabilità localmente elevate.

La conducibilità ipotizzabile su grande scala è mediamente dell'ordine di $1 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ m/s; tuttavia, alla luce delle precedenti considerazioni sui fattori di incremento locale, si deve tenere in conto la possibile presenza di incrementi che possono condurre all'esistenza di livelli con conducibilità fino a $1 \cdot 10^{-4}$ m/s. Inoltre, la presenza di livelli più marcatamente marnosi porta a locali variazioni della conducibilità fino a $1 \cdot 10^{-8}$ m/s.

9.6.2 *Complessi delle unità dei depositi quaternari*

I depositi quaternari sono stati suddivisi in due complessi idrogeologici. Si precisa che i depositi di origine antropica non sono inseriti nei complessi idrogeologici, sia per l'estensione generalmente ridotta che non permette lo sviluppo di acquiferi significativi e continui al loro interno, sia per la composizione granulometrica estremamente variabile.

9.6.2.1 *Complesso argilloso-limoso (CAL)*

In questo complesso sono compresi i depositi della coltre eluvio-colluviale (**ec**), dove presente e di spessore significativo (superiore a 3 m). Si tratta in prevalenza di argille limose e argille sabbiose a struttura caotica e indistinta (coltre), con abbondanti resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

Si tratta di un complesso eterogeneo ed anisotropo e generalmente comunque poco esteso tanto da non originare corpi idrici sotterranei di importanza significativa. Esso ospita falde poco rilevanti e talora a carattere stagionale. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da molto bassa a bassa.

In questo complesso non sono state effettuate prove di permeabilità in foro: sulla base delle caratteristiche litologiche, la conducibilità idraulica è stimata tra $1 \cdot 10^{-9}$ e $1 \cdot 10^{-7}$ m/s.

9.6.2.2 Complesso sabbioso-limoso (CSL)

In questo complesso sono compresi i depositi alluvionali, il detrito di versante (**d**) e in generale le aree occupate dai **depositi di frana**. Si tratta prevalentemente di sabbie e sabbie limose a stratificazione indistinta o incrociata, con lenti di ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate in matrice sabbiosa e sabbioso-limoso da scarsa ad abbondante.

Il complesso è fortemente eterogeneo ed anisotropo, generalmente poco esteso. Ospita le falde dei fondovalle alluvionali. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile per effetto delle differenze granulometriche, rimanendo generalmente medio-bassa.

Sulla base delle caratteristiche litologiche e delle prove di permeabilità in foro, la conducibilità idraulica si attesta mediamente tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $1 \cdot 10^{-5}$ m/s, con possibili valori estremi fino a $1 \cdot 10^{-7}$ e $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

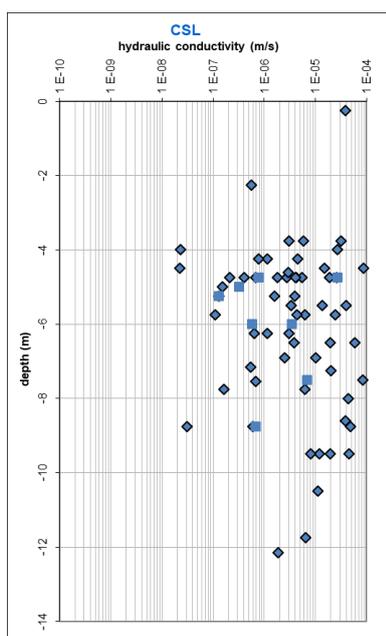


Figura 34. Valori di conducibilità idraulica misurati in foro nel complesso idrogeologico CSL nell'ambito del Progetto Definitivo (rombi) e del Preliminare (quadrati).

9.7 Condizioni di deflusso idrico sotterraneo

I sondaggi effettuati nel progetto Definitivo sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto, per il monitoraggio della soggiacenza della falda, o con cella elettrica generalmente tipo Casagrande, per valutare la pressione idraulica in corrispondenza della profondità di installazione. Nel periodo tra

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	123 di 257

novembre 2019 e aprile 2020 sono state effettuate letture di soggiacenza nei piezometri installati in questa fase progettuale: i valori misurati sono elencati nella Tabella 11; i dati relativi a febbraio 2020, momento che rappresenta la lettura più completa, sono riportati nella carta idrogeologica e sul profilo idrogeologico.

Sulla base di tutte le letture effettuate letture sul profilo è stata tracciata una linea che rappresenta il limite superiore della zona satura, da interpretarsi come indicativa di una vera e propria superficie di falda solo nelle situazioni di fondovalle o in alcuni dei complessi.

È importante tenere conto del fatto che questa linea non può essere assunta se non come una indicazione di larga massima di quella che può essere la profondità minima della zona satura, poiché la serie di misurazioni piezometriche da cui deriva è parziale e molto ridotta. Ai fini progettuali, ove il livello piezometrico e i carichi idraulici rappresentassero una problematica sensibile, dovranno essere adottati opportuni margini di sicurezza rispetto alla linea rappresentata nei profili.

9.7.1 *Considerazioni generali*

In generale, si possono fare le seguenti considerazioni per quanto attiene agli acquiferi quaternari:

- nelle aree subpianeggianti dei fondovalle alluvionali gli acquiferi sono costituiti da depositi granulometricamente eterogeni. La falda che si imposta al loro interno è generalmente una falda libera, caratterizzata da soggiacenze medie dell'ordine dei 5 m dal p.c., il cui sviluppo è vincolato dalla presenza del substrato sottostante e dei fianchi vallivi dei versanti adiacenti. La potenza relativamente ridotta dei depositi non permette lo sviluppo di falde confinate.
- Questi acquiferi risultano alimentati dagli apporti superficiali e profondi dei principali corsi d'acqua dell'area, e risente presumibilmente di variazioni significative ancorché di breve durata per effetto delle precipitazioni.
- I gradienti piezometrici sono mediamente piuttosto bassi, anche se possono mostrare variazioni locali all'interno di canali a granulometria maggiore legati alla presenza di paleoalvei.

Per gli acquiferi impostati nei depositi del substrato pre-quaternario valgono invece le considerazioni seguenti:

- Relativamente agli acquiferi impostati nei litotipi marnoso-argillosi del substrato pre-quadernario (complesso CAM, es. formazione di Terravecchia e Flysch di Nicosia), la permeabilità generalmente da bassa a molto bassa permette di escludere la presenza di falde a pelo libero caratterizzate da movimenti di flusso significativi. Tuttavia, le letture confermano che questo complesso idrogeologico risulta per buona parte saturo.
- Nei terreni costituenti il complesso idrogeologico CCA, si possono interpretare le letture dei piezometri come indicatori di una vera e propria falda, seppur caratterizzata da bassa velocità di deflusso in ragione delle basse permeabilità legate alla presenza di una matrice fine localmente anche molto rappresentata. Inoltre, data l'eterogeneità granulometrica di questo complesso, non si può escludere la presenza di falde confinate o in pressione, seppur presumibilmente di estensione limitata.
- Infine, tra i litotipi del substrato prequadernario sono presenti anche livelli calcarei, gessosi e con mineralizzazioni a salgemma; date le caratteristiche di permeabilità, in questi litotipi possono essere presenti locali falde isolate.
- Nell'area interessata dalla galleria naturale GN02 si ritiene che l'andamento della superficie di falda, o il limite superiore della zona satura, sia in qualche modo fortemente perturbato dalla presenza della Galleria Vecchia Marianopoli, ubicata parallelamente alla galleria in progetto e quasi alla stessa quota. Data la complessità del tratto interessato dalla galleria, si rimanda al paragrafo seguente per un approfondimento sull'area,

9.7.2 Galleria GN02 Nuova Marianopoli

Al fine di inquadrare le condizioni di carico idraulico attese nella Galleria Nuova Marianopoli, sono stati presi in considerazione sia i dati relativi alla galleria Marianopoli esistente, già descritti al paragrafo 9.4, sia i dati delle letture dei piezometri installati nell'ambito della progettazione del presente lavoro, già elencati nelle tabelle di cui al paragrafo 9.2 e qui riproposti nella tabella seguente.

Codice	Quota boccaforo (m s.l.m.)	Tipo	Profondità tratto fenestrato o cella (m da p.c.)	soggiacenza (m dal p.c.)					quota falda (m s.l.m.)				
				novembre 2019	gennaio 2020	febbraio 2020	marzo 2020	aprile 2020	novembre 2019	gennaio 2020	febbraio 2020	marzo 2020	aprile 2020
3a-GN2-S01	375	Casagrande	20		8.3	4.2	3.72			366.7	370.8	371.28	
3a-GN2-S02	395	Casagrande	39	30.8	29.8	10	10.3	10.2	364.2	365.2	385	384.7	384.8
3a-GN2-S04	597.6	Norton	220÷260	140	129	130.2	130.8	130.8	457.6	468.6	467.4	466.8	466.8
3a-GN2-S05	550	Norton	141÷204	150			150.2	150.6	400			399.8	399.4
3a-GN2-S06	520	Norton	150÷175	22.7	22.2	22.3	22.1	22.4	497.3	497.8	497.7	497.9	497.6
3a-GN2-S07	431.5	Norton	80÷90	90.6	90.9	96.3	96.5	94.3	340.9	340.6	335.2	335	337.2
3a-GN2-S08	361	Casagrande	15	9.06	9.4	9	14.7	15.6	351.94	351.6	352	346.3	345.4

Tabella 13 – Letture di soggiacenza eseguite nei piezometri della galleria GN02.

Dal confronto delle letture e dei dati della Galleria Marianopoli esistente, si possono fare le seguenti considerazioni:

- nei primi 4 km circa di galleria, l'opera si sviluppa all'interno delle marne argillose e argille marnose della formazione di Terravecchia, caratterizzate da basse permeabilità e porosità. Si prevede che in questa tratta l'acquifero impostato in questi litotipi sia già stato oggetto di drenaggio da parte della Galleria Marianopoli esistente. Considerando le letture dei piezometri 3aGN2S01 e 3aGN2S03 e considerando che la galleria esistente è ubicata presumibilmente leggermente a valle rispetto al flusso idrogeologico, utilizzando un approccio cautelativo si ipotizza una falda a quota galleria.
- Nei successivi 800 m circa si prevede un innalzamento del livello della zona satura, per effetto presumibilmente di una ricarica superficiale più significativa data dall'infiltrazione nei litotipi più permeabili ubicati in superficie; questo innalzamento viene ipotizzato considerando le venute d'acqua nella galleria Marianopoli esistente e le letture di soggiacenza nel piezometro 3aGN2S04.
- Nei 2 km circa successivi si ipotizza la presenza di una falda sviluppata all'interno dei livelli calcarei delle formazioni Messiniane (formazione di Cattolica membro del Calcere di Base), localmente confinate verso l'alto dai livelli fini intercalati ai gessi del membro Selenitico della stessa formazione. La presenza di valori di soggiacenza relativamente bassi, osservati nel piezometro 3a-GN2S06, è incompatibile con le letture degli altri piezometri. Questo dato è

stato correlato con la possibile presenza di una falda in pressione all'interno del livello del Calcarea di Base intercettato dalla galleria. Tuttavia, questa ricostruzione, supportata dalle letture effettuate nei piezometri, implica che l'adiacente Galleria Marianopoli esistente non abbia azione drenante su tale livello, poiché in questo caso la soggiacenza dovrebbe essere decisamente maggiore e i carichi idraulici decisamente più bassi. Affinché la Galleria Marianopoli esistente non abbia azione drenante sul livello carbonatico in questione nel settore della nuova galleria è necessario ipotizzare la presenza di un elemento strutturale che isoli idrogeologicamente l'acquifero intercettato dai piezometri dalla galleria esistente, e che sia sviluppato subparallelamente alle due opere. Tale elemento potrebbe essere una zona di faglia in grado di dislocare significativamente il Calcarea di Base. Sebbene non siano stati osservati direttamente sul terreno affioramenti di tale struttura, se ne ipotizza la presenza sia per quanto esposto sopra, sia sulla base di lineamenti morfologici (valli, scarpate lungo il versante, ecc.), che potrebbero ricondurre alla zona di faglia di collegamento tra le faglie denominate F5, F6 e F7 (cfr. carta e profilo idrogeologico allegati e § 6.3).

In questa tratta quindi si assume la presenza di una falda che genera un carico a quota galleria che varia da più di 100 m a circa 20 m; si ricorda tuttavia che laddove la falda risulta in pressione, il carico reale potrebbe risultare anche dell'ordine dei 150-200 m, come in prossimità del piezometro 3aGN2S06.

- Negli ultimi 400 m sulla base delle letture dei piezometri si prevede una falda ubicata alla quota della galleria in progetto. Tuttavia, le letture effettuate nel piezometro 3aGN2S07 appaiono di non chiara affidabilità poiché indicano una soggiacenza superiore a 90 m, che rappresenta una profondità maggiore del tratto fenestrato, e pertanto presumibilmente la falda potrebbe essere anche più profonda.

10 VALUTAZIONE DELLE PORTATE ATTESE IN GALLERIA

10.1 Metodologia

La valutazione delle portate attese in galleria è stata effettuata utilizzando metodi analitici. Operando una distinzione tra la situazione di afflussi attesa in corso di scavo e quella attesa in regime stabilizzato. È importante premettere che le portate stimate in questo rapporto ipotizzano una condizione di drenaggio libero lungo le gallerie. Le scelte progettuali potranno invece assumere condizioni differenti, di drenaggio parziale o assente, sia in corso di scavo che in condizioni d'esercizio. Si ritiene tuttavia che la determinazione di portate in condizioni di drenaggio libero, seppur teorica, possa risultare utile per orientare le scelte progettuali e in particolare della tipologia di rivestimenti da adottare e del metodo di scavo opportuno o ammissibile.

10.1.1 Portate transitorie

Per stimare le portate degli afflussi in regime transitorio di breve termine, quindi delle massime portate transitorie che si possono generare in fase di avanzamento dello scavo all'interno di un acquifero sono state utilizzate due formulazioni analitiche sviluppate per quantificare un flusso di tipo radiale. Si tratta di una formulazione descritta da Ribacchi et al. (2002) facendo riferimento a precedenti contributi di Panet (1973) e Fernandez & Alvarez (1994), e della più classica e utilizzata formulazione proposta da Jacob & Lohman (1952).

La formulazione proposta da Ribacchi et al. (2002) stabilisce che:

$$q_0 = \frac{2\pi k L h_0}{\ln(2h_0/r)} \quad q_t = \frac{2\pi k L h_0}{\ln(2h_0/r)} \quad (1)$$

dove q_t è la portata drenata (m^3/s), k è la conducibilità idraulica (m/s), L è la lunghezza della tratta di tunnel presa in considerazione, h_0 è il carico idraulico in condizioni imperturbate (m) e r è il raggio del tunnel (m).

La formulazione proposta da Jacob & Lohman (1952) stabilisce invece che:

$$q_t = \frac{4\pi k L h_0}{2,3 \ln(2,25 k L t / S r^2)} \quad (2)$$

dove i simboli usati hanno lo stesso significato che per la formula precedente, mentre t è il tempo trascorso dall'inizio del drenaggio e S^S è il coefficiente di immagazzinamento legato alla risposta elastica del mezzo acquifero.

Si noti che la formulazione di Jacob & Lohman (1952) è una formulazione che origina da una modifica di un'espressione utilizzata per descrivere il flusso radiale in regime transitorio nell'intorno dei pozzi e per tale motivo implica l'introduzione di un fattore tempo. Ovviamente per stimare il flusso nei primi momenti dall'inizio del drenaggio è necessario scegliere un tempo breve; nel caso specifico di questo lavoro è stato utilizzato un tempo pari a 1 giorno. Allo stesso tempo questa formulazione implica la stima del coefficiente di immagazzinamento legato alla risposta elastica, che è un parametro tipico degli acquiferi confinati, poiché in tali acquiferi l'immagazzinamento è legato all'espulsione di acqua per decompressione dello scheletro litologico. Sarebbe quindi improprio applicare questa formulazione al caso di acquiferi a falda libera, come nella maggior parte dei casi cui ci si trova di fronte nel presente lavoro.

Tuttavia, secondo Loew (2002) l'utilizzo di questa espressione è appropriato, seppur per approssimazione, anche nel caso degli acquiferi a falda libera se il valore che si intende stimare è la portata nelle fasi iniziali di flusso radiale e senza abbattimento della falda, poiché in queste fasi la pressione dell'acquifero sostanzialmente non cambia e il suo comportamento a breve termine può essere considerato comparabile a quello di un acquifero a falda confinata. S elastico è comunque un parametro difficile da stimare per un acquifero a falda libera, o comunque in assenza di prove di pompaggio; generalmente la maggior parte degli autori riferisce che il suo valore può essere di due o tre ordini di grandezza inferiore rispetto alla porosità efficace e come tale è stato gestito in questo lavoro.

Le due formulazioni restituiscono perlopiù valori comparabili, anche se talora leggermente discordanti. Per questo motivo, una volta eseguito il calcolo è stato verificato che esistesse una corrispondenza di massima tra i valori restituiti nei due casi ed è stato scelto come valore di riferimento un valore mediato, o comunque ragionato.

Va altresì tenuto in conto che le portate transitorie sono fortemente influenzate dalla velocità di avanzamento dello scavo. Posto che non è possibile stimare e prevedere l'entità di afflussi fortemente

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	129 di 257

localizzati ed improvvisi, anche se di durata molto breve tramite delle funzioni analitiche, si è ritenuto significativo fornire un dato di venuta su una lunghezza di 10 m di galleria. Tale lunghezza, pur non essendo una lunghezza standard è un valore di entità di scavo giornaliera che può essere ragionevolmente ipotizzato per uno scavo meccanizzato con tecniche moderne. Ovviamente, nel caso di scavo tradizionale la velocità di avanzamento giornaliera può essere inferiore.

10.1.2 Portate stabilizzate

Per il caso di un tunnel ubicato in un settore di catena, come è per il caso in esame, si può fare riferimento a degli schemi concettuali del tipo di quelli riportati in Figura 35, che valgono per situazioni morfologiche e di posizionamento della galleria paragonabili a quelli del tracciato in esame. La peculiarità principale del tracciato in esame è che esso sottopassa numerose valli secondarie del reticolo idrografico, mentre si trova spesso relativamente distante da fondovalle importanti, con corsi d'acqua a portata elevata e caratterizzati da potenti e importanti acquiferi sede di falde con flusso consistente.

In condizioni imperturbate le linee di flusso nel substrato sono dirette verso le valli principali e verso la/le valli secondarie, con spartiacque che generalmente si collocano sotto le creste spartiacque tra i vari impluvi.

Come si osserva dalla figura, in presenza del tunnel sono possibili diverse situazioni. Nella situazione tipo A, il drenaggio del tunnel provoca un abbassamento pressoché simmetrico della superficie di falda nel suo intorno, con sdoppiamento dello spartiacque presente sul versante sinistro della valle secondaria. La zona di perturbazione della superficie piezometrica non arriva a interferire direttamente con i fondovalle, che quindi continuano a ricevere alimentazione dai versanti, seppur in quantità minore rispetto alla situazione originaria.

Nella situazione tipo B, con tunnel più profondo, si verifica un forte abbattimento generalizzato della superficie piezometrica, con formazione di due nuovi spartiacque sotterranei che separano la zona di influenza del tunnel (in cui le linee di flusso sono dirette verso il tunnel stesso) dai settori in cui il deflusso delle acque rimane diretto verso le due valli principali. In questo caso la superficie piezometrica in regime perturbato può essere abbattuta (come nell'esempio schematizzato) a quote inferiori rispetto al corso d'acqua della valle secondaria. Va poi rimarcato che la superficie piezometrica perturbata nella zona di influenza può avere una geometria più o meno simmetrica rispetto al tunnel nella zona di

influenza, a seconda della topografia e della posizione del tunnel rispetto alle valli secondarie e principali. Nel caso specifico dell'esempio è rappresentata una geometria asimmetrica, dovuta sia al disassamento del tunnel rispetto alla valle secondaria, sia al fatto che sul lato destro della zona di influenza, essendo presente un corso d'acqua secondario, esiste una maggior infiltrazione per perdite dal corso d'acqua, che possono essere più o meno accentuate a seconda della permeabilità del substrato, della rilevanza del corso d'acqua ecc.

La situazione tipo C differisce dalla precedente per il fatto che sul lato destro della zona di influenza la perturbazione non si estende ulteriormente perché il corso d'acqua secondario funziona da limite alimentante. La situazione tipo D è quella con maggior abbattimento, e in questo caso è possibile che la zona di influenza del drenaggio esercitato dal tunnel si estenda fino a incontrare un limite idrogeologico alimentante principale, costituito da un fondovalle di importanza rilevante.

Nel caso dell'opera in esame, come si vedrà, le condizioni più ricorrenti sono la A e la B, più rara è la C, mentre non si verifica mai la D.

Per valutare le portate su un gran numero di sezioni di galleria, è necessario identificare delle formulazioni analitiche che, seppur con delle ragionevoli approssimazioni, consentano di ottenere delle stime in modo relativamente rapido e attendibile. A questo scopo sono state identificate delle formulazioni proposte da Federico (1984) e successivamente riprese da Ribacchi et. al (2002). Esse si basano su uno schema concettuale a scatola chiusa, come quello rappresentato in Figura 36. Le semplificazioni rispetto a situazioni reali di catena montuosa (del tipo di quelle illustrate in Figura 35) sono evidenti, ma l'applicazione delle formulazioni di Federico (1984) in diversi progetti di tunnel più o meno profondi hanno dimostrato che tali semplificazioni sono del tutto accettabili per ottenere indicazioni sugli ordini di grandezza degli afflussi, ovvero per ottenere l'informazione desiderata in questo rapporto per la maggior parte delle tratte.

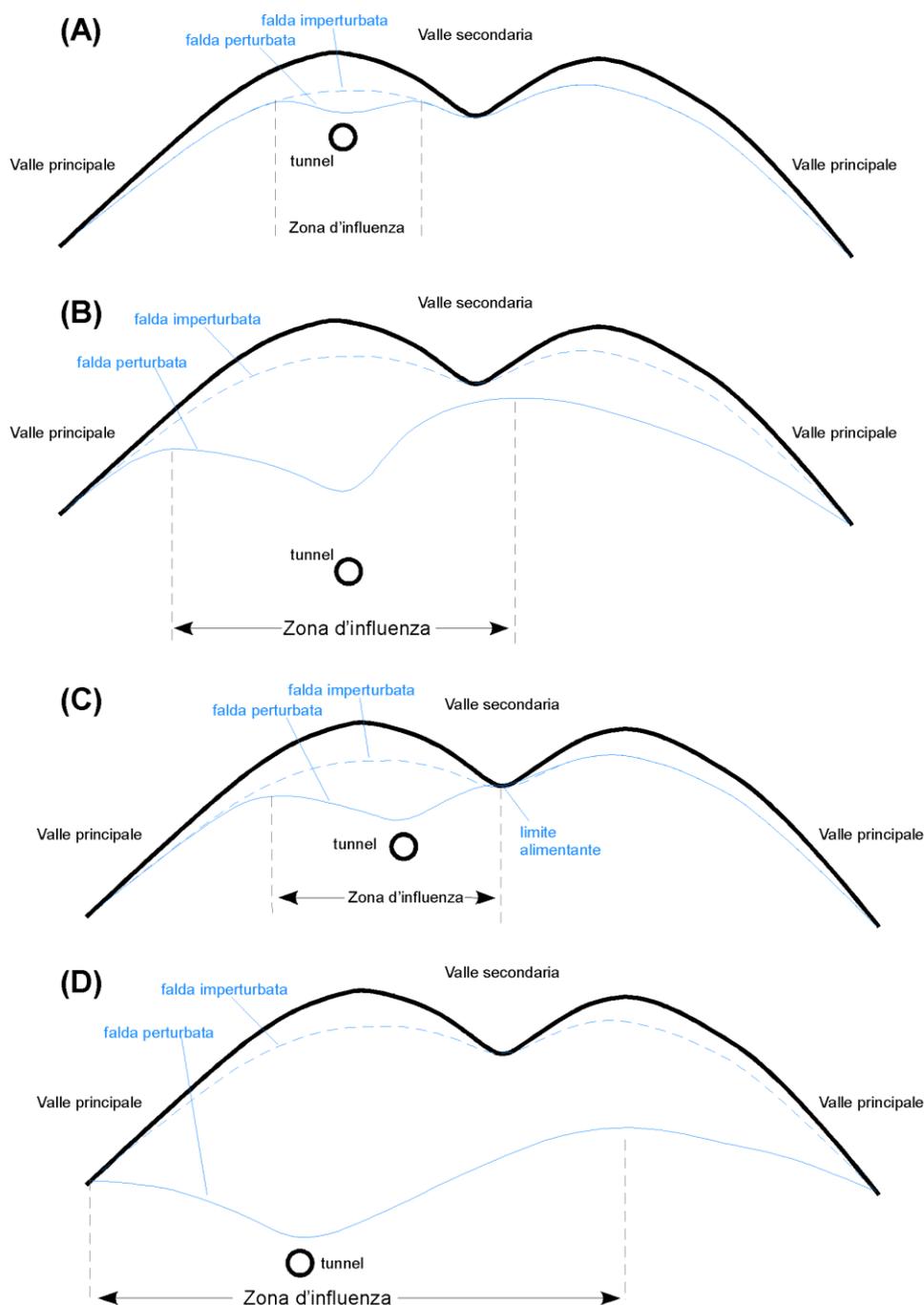


Figura 35 - Schema concettuale degli effetti di drenaggio di un tunnel.

Le principali semplificazioni implicate dalle formulazioni di cui sopra rispetto alla situazione reale sono brevemente illustrate e commentate ai seguenti punti.

- Assunzione di mezzo poroso equivalente. Questa assunzione è ragionevole se si considera che le portate transitorie derivano da zone di influenza che coinvolgono grandi volumi di acquifero ove

le eterogeneità a scala metrico-decаметrica vengono mediate e smorzate. Inoltre, in molti dei litotipi del substrato del progetto in oggetto la permeabilità è principalmente legata alla porosità primaria.

- Assunzione di conducibilità idraulica omogenea. Anche in questo caso vale l'osservazione di cui al punto precedente. Peraltro, se esistono disomogeneità di conducibilità su grande scala, nella zona di influenza, è possibile agire secondo tre criteri: i) se in corrispondenza del tunnel è presente il mezzo meno conduttivo si può utilizzare nelle formulazioni la conducibilità di tale mezzo, poiché sarà tale mezzo a rappresentare il fattore limitante per il drenaggio; ii) se in corrispondenza del tunnel è presente il mezzo più permeabile, ma esso è ovunque incluso nel mezzo meno permeabile, ancora una volta, per il calcolo si potrà procedere utilizzando la conducibilità del mezzo meno permeabile poiché quest'ultimo costituirà il fattore limitante; iii) se in corrispondenza del tunnel è presente il mezzo più permeabile, ed esso è solo parzialmente incluso nel mezzo meno permeabile, ovvero se esiste un collegamento parziale tra il tunnel e la superficie attraverso il mezzo più permeabile, per il calcolo si potrà procedere utilizzando la conducibilità del mezzo più permeabile e in tal modo si otterrà un valore a favore di cautela.
- Assunzione di topografia piana. Il modello concettuale su cui sono basate le formulazioni analitiche (come peraltro quasi tutti i modelli analitici esistenti in letteratura) parte dal presupposto che al di sopra del tunnel esista una topografia piana e quindi un livello piezometrico lateralmente invariabile e quindi anch'esso planare. Ciò ovviamente non è valido per una zona montuosa, ove i carichi idraulici possono variare lateralmente. Questo vincolo non condiziona comunque in modo particolarmente significativo i risultati dei calcoli. Infatti, anche in un modello a scatola, dopo le fasi iniziali di drenaggio, si iniziano teoricamente a determinare delle variazioni laterali di carico (cfr. Figura 36, "effective water table"). Non esistendo modo di simulare esattamente queste variazioni, lo stesso Federico (1984), afferma che è lecito approssimare le variazioni di piezometria a una piezometria media planare (cfr. Figura 36, "average water table"). Essendo lecito fare tale approssimazione per le variazioni di carico indotte in fase di drenaggio su una falda inizialmente planare lo sarà in egual modo anche là ove già le condizioni di carico iniziali non erano omogenee, senza che ciò introduca errori elevati.

- Infiltrazione efficace omogenea. Il modello concettuale si basa su un tasso di infiltrazione omogeneo su tutta la superficie. È da intendersi che in un contesto di infiltrazione disomogenea, quale quello di versanti con pendenze e coperture vegetali e quaternarie variabili, sarà da prendere in considerazione un tasso di infiltrazione medio.
- In situazioni del tipo B di Figura 35 si dovrà inoltre tenere conto dell'addizionale di infiltrazione fornita da corsi d'acqua non più in contatto con la falda e quindi in perdita. Tale addizionale andrà sommata all'infiltrazione media sul versante. In situazioni di tipo C di Figura 35 sarebbe in teoria necessario disporre di un modello analitico in grado di tenere conto di un carico imposto su uno dei lati della zona di influenza. In realtà il modello analitico proposto da Federico (1984) non consente di inserire tale variabile. Si tenga conto tuttavia che se si applica il modello senza limitazione laterale del raggio di influenza ma assumendo comunque un abbattimento della quota di falda al di sotto della quota del corso d'acqua, aggiungendo all'infiltrazione dal versante l'addizionale di infiltrazione derivante da perdite del corso d'acqua, si ottiene comunque un valore di portata cautelativo, poiché in questo caso l'infiltrazione disponibile dalla superficie sarà sicuramente la maggiore possibile.
- Assunzione di un limite impermeabile a distanza nota al di sotto del tunnel. Il modello concettuale assume che sotto la quota del tunnel sia presente un livello impermeabile posto a una distanza nota "b" (cfr. Figura 36). Nel caso del progetto in esame un tale limite non esiste praticamente mai poiché le formazioni attraversate si approfondiscono sovente per diverse centinaia di metri. Tale aspetto non risulta però particolarmente problematico poiché variazioni della distanza di questo limite dell'ordine dei 500 m implicano variazioni di portata dell'ordine di pochi punti percentuali (3-7%). Si è ritenuto che assumere la presenza di un limite impermeabile arbitrario a profondità di 500 m al di sotto del tunnel fosse sufficientemente cautelativo.

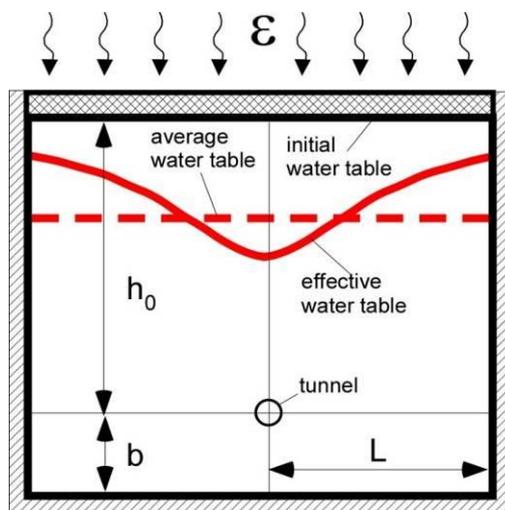


Figura 36 - Schema concettuale per il calcolo delle portate stabilizzate con la formula proposta da Ribacchi et al. (2002).

Il modello analitico di Federico (1984) fornisce poi stime delle portate secondo due funzioni differenti a seconda che:

- la superficie piezometrica sulla verticale dell'opera risulti abbattuta fino a quota galleria;
- la superficie piezometrica sulla verticale dell'opera sia abbattuta solo parzialmente.

Per il caso "a" è possibile calcolare la portata degli afflussi basandosi sulla seguente formulazione:

$$q_{fin} = kh_0 \sqrt{\frac{2\varepsilon}{k} (1 + 2b/h_0)} \quad q_{fin} = kh_0 \sqrt{\frac{2\varepsilon}{k} (1 + 2b/h_0)} \quad (3)$$

in cui q_{fin} è la portata in regime stabilizzato, ε l'infiltrazione (m/s), b è la distanza tra il tunnel e il primo limite impermeabile presente in profondità al di sotto del tunnel stesso (Figura 36).

Per il caso "b", di abbattimento solo parziale della piezometrica è possibile utilizzare un'altra funzione, proposta da Federico (1984) e successivamente ripresa da Ribacchi et al (2002). Secondo tale funzione la portata drenata in un qualsiasi istante dal tunnel può essere calcolata come segue:

$$q(t) = Fk[h(t) - r_g] \quad (4)$$

dove q è la portata drenata, t è il tempo intercorso dall'inizio del drenaggio, h l'altezza media della colonna d'acqua al di sopra della galleria, k è la conducibilità idraulica e r_g è il raggio della galleria. F è un coefficiente di forma calcolato come segue:

$$\frac{4\pi}{F} = \ln \frac{\sinh(\pi h_0 / L) \cdot \sinh[\pi(h_0 + 2b) / L]}{4 \sinh(\pi r_g / L) \cdot \sinh(\pi b / L)} \quad (5)$$

Dove *sin* sta per la funzione seno iperbolico, h_0 è l'altezza media della colonna d'acqua in regime imperturbato, L è sostanzialmente l'estensione per ogni lato del tunnel dell'area di ricarica, b è l'estensione in profondità dell'acquifero al di sotto della galleria.

L'utilizzo delle formule analitiche sin qui descritte presuppone la stima di numerosi aspetti non sempre facilmente determinabili. Tuttavia, tale passaggio, che introduce necessariamente una certa indeterminatezza, che si aggiunge a quella imposta dalle assunzioni precedentemente descritte, non è sfortunatamente aggirabile con nessun metodo analitico esistente. Il problema della definizione delle portate stabilizzate è infatti un problema in cui numerosi dei parametri determinanti sono interdipendenti e quindi si influenzano reciprocamente, senza la possibilità che se ne possa determinare uno senza determinare gli altri che lo influenzano e a loro volta ne vengono influenzati. Le interrelazioni maggiori esistono tra la dimensione della zona di influenza e il carico idraulico finale sulla galleria; il carico idraulico finale influenza tuttavia anche la riduzione di permeabilità connessa alle subsidenze indotte dalla diminuzione delle pressioni idrauliche nell'acquifero e così via.

Considerata tale complessità la gestione di questa problematica non può che essere risolta con delle ragionevoli assunzioni che non possono che partire da un'ipotesi di zona di influenza ragionevolmente stimata in funzione delle condizioni al contorno del tunnel. Assumendo poi che si riesca a stimare con buona approssimazione il tasso di infiltrazione (cfr. paragrafo 10.2), a partire dall'estensione della zona di influenza si potranno derivare delle altezze finali della colonna d'acqua sul tunnel che, se anch'esse ragionevoli potranno confermare che le portate ottenute sono realistiche.

10.2 Valutazione dell'infiltrazione efficace

Dalle considerazioni finali del precedente paragrafo emerge come il dato di infiltrazione rappresenti uno dei pochi vincoli relativamente certi nel processo di valutazione delle portate stabilizzate drenate da un tunnel. Il calcolo di questo dato assume pertanto un'importanza rilevante.

Nel presente paragrafo verranno forniti gli elementi essenziali per comprendere come è stata valutata l'infiltrazione efficace nella zona di interesse.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. C	FOGLIO 136 di 257
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	----------------------

10.2.1 Piovosità

Per valutare la piovosità annuale nell'area di progetto è stato consultato il SIAS - Sistema Informativo Agrometeorologico Siciliano (sito web: http://www.sias.regione.sicilia.it/frameset_pcum01.htm).

Per avere un valore di piovosità media annua sufficientemente rappresentativo, sono stati utilizzati i dati di stazioni meteorologiche vicine all'area di progetto, in particolare: Alia (provincia di Palermo), Caltanissetta e Mussomeli (provincia di Caltanissetta), Agira ed Enna (provincia di Enna).

Inoltre, per avere un valore medio significativo è necessario avere un periodo di misure esteso su più anni. Infine, l'utilizzo di dati storici riferiti ad anni troppo lontani dall'attuale non sarebbe rappresentativo del trend atteso per i prossimi anni, a causa delle variazioni climatiche che rappresentano la manifestazione locale del Global Warming. Si è scelto quindi di prendere i dati di piovosità media relativi al periodo 2003-2017.

Stazione meteorologica	Provincia	Piovosità annua media riferita al periodo 2003-2017 (mm)
Agira	Enna	653
Alia	Palermo	558
Caltanissetta	Caltanissetta	536
Enna	Enna	552
Mussomeli	Caltanissetta	561

Tabella 14 – dati di piovosità annua media.

Pertanto, per l'area di studio è stato considerato il valore di piovosità di 550 mm/anno.

10.2.2 Evapotraspirazione

Sul sito web della Regione Sicilia sono disponibili, per alcuni anni, i valori di evapotraspirazione potenziale (ETP) giornaliera (es. http://www.sias.regione.sicilia.it/analisi_2005/web/ETP_2005.htm).

Tuttavia, al fine del calcolo della quantità di acque di pioggia che si infiltrano nel sottosuolo per alimentare gli acquiferi, questo dato non è rappresentativo poiché non collegato alle precipitazioni.

Si è ritenuto quindi opportuno confrontare il dato di evapotraspirazione potenziale con i valori delle precipitazioni, trasformando le informazioni sul periodo mensile. Ad esempio, per il 2005, anno di cui sono disponibili i valori di ETP, ancora sul sito web della Regione Sicilia sono stati reperiti i dati delle precipitazioni mensili (http://www.sias.regione.sicilia.it/analisi_2005/web/Meteoclima_2005.pdf).

Dal confronto tra i dati si evidenziano due possibili situazioni:

- Il valore di evapotraspirazione potenziale del mese è superiore a quello delle precipitazioni nello stesso mese (es. agosto): in questo caso teoricamente il processo di evapotraspirazione può interessare l'intera quota della pioggia caduta, rendendo nulla l'infiltrazione nel terreno. In questi casi si è assunto che l'evapotraspirazione coincida con il valore delle precipitazioni.
 - Il valore di evapotraspirazione potenziale del mese è inferiore a quello delle precipitazioni nello stesso mese (es. gennaio): in questo caso quindi non tutta l'acqua di pioggia può essere coinvolta dal processo di evapotraspirazione, e l'evapotraspirazione potenziale può manifestarsi nella sua totalità. In questa situazione si è considerato come valore di evapotraspirazione quello di ETP.
- Pertanto, l'evapotraspirazione da considerarsi come valore reale per l'anno 2005 è pari 465 mm, che rappresenta una percentuale pari al 64% delle precipitazioni dello stesso anno (729 mm).
È stata quindi considerata un'evapotraspirazione pari al 60% delle precipitazioni.

	ETP		Precipitazioni mensili (mm)	Evapotraspirazione (mm)
	mm/giorno	mm/mese		
gennaio	1	31	63	31
febbraio	1.5	42	90	42
marzo	2.5	77.5	41	41
aprile	2.5	75	88	75
maggio	4.25	131.75	25	25
giugno	4	120	42	42
luglio	5.5	170.5	3	3
agosto	4.5	139.5	22	22
settembre	3.5	105	46	46
ottobre	2	62	67	62
novembre	1.5	45	54	45
dicembre	1	31	188	31

Tabella 15 – calcolo dell'evapotraspirazione, relativa al 2005

10.2.3 Infiltrazione

Le acque delle precipitazioni pluviometriche (P) in parte si disperdono per l'evapotraspirazione (E), in parte defluiscono per ruscellamento superficiale (R) e la rimanente parte si infiltra nel terreno (I):

$$P = I + E + R$$

I valori di infiltrazione e ruscellamento sono strettamente collegati tra loro e dipendono dalla natura del terreno, e in superficie, dalla pendenza e dalla vegetazione di copertura. Per quanto riguarda la natura del terreno, la letteratura (es. Civita,2014) individua coefficienti di infiltrazione (C_i) specifici per i diversi litotipi (Figura 37), che permettono di semplificare la formula precedente in:

$$I = C_i \cdot (P - E)$$

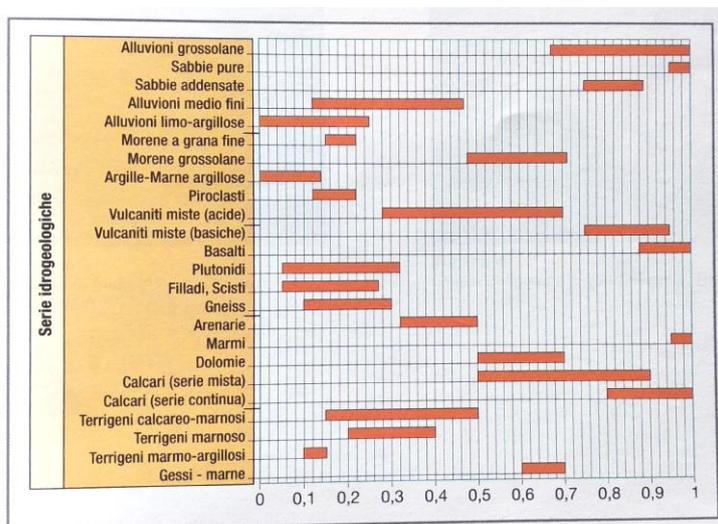


Figura 37 - Coefficienti di infiltrazione (Civita, 2014).

Per le unità geologiche presenti nell'area di progetto sono stati utilizzati i coefficienti riportati nella Tabella 16. Si precisa che nei casi in cui la geologia in superficie differisce da quella a quota galleria, i coefficienti utilizzati per la valutazione delle portate attese sono stati localmente variati per tenere conto della disomogeneità.

AV	FYN4	TRV	TRVa	TPL	GTL1	GTL2	GTL3	GPQ	TRB	TRBa	ENNa	ENNb	a2
0.05	0.05	0.05	0.6	0.7	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.05	0.1	0.6	0.3

Tabella 16 – Valori del coefficiente di infiltrazione stimato per le unità geologiche nell'area di progetto. Il dato è adimensionale.

10.3 Permeabilità

Per la valutazione delle portate attese in galleria è stato necessario individuare un valore di conducibilità idraulica medio rappresentativo per ogni unità geologica. I valori utilizzati, riportati nella Tabella 17, derivano da un'analisi ragionata dei risultati delle prove di permeabilità in foro.

AV	FYN4	TRV	TRVa	TPL	GTL1	GPQ, GTL2, GTL3 <50 m da p.c.	GPQ, GTL2, GTL3 >50 m da p.c.	TRB	TRBa	ENNa	ENNb	a2
5E-08	5E-09	1E-08	5E-07	1E-07	1E-06	5E-07	5E-09	1E-06	1E-09	1E-08	5E-07	1E-07

Tabella 17 – valori del coefficiente di permeabilità delle unità geologiche nell'area di progetto utilizzati per la stima delle portate delle venute in galleria. Il dato è in m/s.

10.4 Porosità

Per la valutazione delle portate attese in galleria è stato necessario individuare un valore medio di porosità efficace rappresentativo per ogni unità geologica. Partendo dai range di variazione noti in letteratura (Civita, 2014; Figura 38), sono stati individuati i valori riportati in Tabella 18.

Tabella 2.4 Valori di porosità totale (n_t) e di porosità utile (n_u) per i principali mezzi rocciosi

Mezzo roccioso	n_t (%)	n_u (%)
Ghiaia grossolana	25 ÷ 40	10 ÷ 30
Ghiaia a grana media	25 ÷ 45	15 ÷ 25
Ghiaia fine	25 ÷ 40	20 ÷ 35
Alluvioni (ghiaia e sabbia)	30 ÷ 35	5 ÷ 25
Sabbia grossolana	35 ÷ 40	20 ÷ 35
Sabbia a grana media	20 ÷ 40	15 ÷ 20
Sabbia fine	30 ÷ 35	10 ÷ 25
Sabbia finissima	35 ÷ 40	2 ÷ 5
Sabbia argillosa	20 ÷ 40	1 ÷ 10
Limo	30 ÷ 50	2 ÷ 30
Argilla	40 ÷ 50	0 ÷ 5
Depositi morenici	15 ÷ 35	5 ÷ 30
Marna	10 ÷ 50	0,2 ÷ 5
Arenaria fessurata	5 ÷ 25	2 ÷ 15
Craie	10 ÷ 40	1 ÷ 5
Gesso	15 ÷ 40	0,5 ÷ 20
Calcere massiccio	0,5 ÷ 15	0 ÷ 1
Calcere fessurato	1 ÷ 10	2 ÷ 10
Dolomia	2 ÷ 10	0 ÷ 1
Granito fessurato	0,2 ÷ 4	0 ÷ 2
Basalto compatto	0,1 ÷ 5	0 ÷ 2
Basalto vacuolare	5 ÷ 30	1 ÷ 10
Tufo vulcanico	30 ÷ 40	0 ÷ 20
Metamorfiti	0,2 ÷ 10	0 ÷ 2

Figura 38 - Porosità totale ed efficace definita per i diversi litotipi (Civita, 2014).

AV	FYN4	TRV	TRVa	TPL	GTL1	GTL2	GTL3	GPQ	TRB	TRBa	ENNa	ENNb	a2
0.05	0.05	0.025	0.15	0.05	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.15	0.1

Tabella 18 – valori della porosità efficace delle unità geologiche nell'area di progetto utilizzati per la stima delle portate delle venute in galleria. Il dato è adimensionale.

10.5 Risultati delle valutazioni di portata

Di seguito si riportano i risultati dei calcoli sia per la fase di scavo (transitorio) che per la fase di esercizio (stazionario). Si ricorda che questi risultati hanno carattere indicativo. Si precisa inoltre che i calcoli sono stati effettuati per fornire l'indicazione delle portate attese nel caso in cui le gallerie siano costruite in condizioni liberamente drenanti.

10.5.1 GN01 – Galleria Santa Catena

Dal punto di vista geologico, questa galleria è impostata prevalentemente nei livelli del membro sabbioso-arenaceo-conglomeratico della formazione di Terravecchia (TRVa).

Litotipo a quota galleria	Tratta (km)		Infiltrazione (m/anno)	Porosità (%)	Tempo di stabilizzazione (anni)	Carico idraulico iniziale (m)	Carico idraulico finale al limite della zona di ricarica (m)	Conducibilità idraulica iniziale (m/s)	Estensione laterale dell'acquifero (m)	Portata stabilizzata (l/s)	Portata transitoria (l/s·10 m)
	da pk	a pk									
TRVa	8.000	8.100	0.132	0.15	3	7	4.9	1.0E-06	200	0.060	0.09
TRVa	8.100	8.950	0.132	0.15	3	22	15.4	5.0E-07	500	1.054	0.16
TRVa	8.950	9.050	0.066	0.15	3	21	14.7	5.0E-07	500	0.084	0.15
TRVa	9.050	9.650	0.132	0.15	3	42	25	5.0E-07	1000	10.840	0.28
TRVa	9.650	10.200	0.132	0.15	3	80	30	5.0E-07	1000	13.266	0.43
TRVa	10.200	11.600	0.132	0.15	3	115	40	5.0E-07	750	37.253	0.54
TRVa	11.600	12.750	0.132	0.15	3	93	35	5.0E-07	1000	33.928	0.50
TRVa	12.750	14.000	0.132	0.15	3	107	40	5.0E-07	750	33.240	0.51
TRVa	14.000	14.700	0.132	0.15	3	88	35	5.0E-07	1000	20.674	0.47
TRV	14.700	15.300	0.022	0.025	2	50	35	1.0E-08	500	0.453	0.01
TRV	15.300	15.750	0.011	0.025	2	38	32.3	1.0E-08	400	0.301	0.01
TRV	15.750	15.950	0.011	0.025	2	11	8.8	5.0E-08	150	0.011	0.01

Tabella 19 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN01 Santa Catena

Per quanto riguarda le portate transitorie, si segnala che i valori maggiori risultano pari a circa 0.5 l/s·10 m e sono previsti nella parte centrale della galleria.

La presenza di valori di conducibilità idraulica e di porosità mediamente più alti rispetto a quelli degli altri litotipi dell'area di progetto, unitamente ad un carico idraulico significativo come indicato dalle letture piezometriche effettuate nei sondaggi, determina valori di portata nella fase stazionaria significativi, dell'ordine dei 150 l/s.

10.5.2 GN02 – Galleria Nuova Marianopoli

Questa galleria è caratterizzata da una certa variabilità geologica: nella prima metà dello scavo attraversa i livelli argilloso-marnosi della formazione di Terravecchia (TRV); successivamente mediante contatto tettonico subverticale intercetta la formazione dei Trubi (TRB); infine la galleria si sviluppa nelle unità della gessoso-solfifera, costituite dalla formazione di Cattolica (GTL1, GTL2 e GTL3) e di Pasquasia (GPQ). La presenza della galleria ferroviaria Vecchia Marianopoli nell'area costituisce sicuramente un elemento di disturbo degli acquiferi.

Litotipo a quota galleria	Tratta (km)		Infiltrazione (m/anno)	Porosità (%)	Tempo di stabilizzazione	Carico idraulico iniziale (m)	Carico idraulico finale al limite della zona di ricarica (m)	Conducibilità idraulica iniziale (m/s)	Estensione laterale dell'acquifero (m)	Portata stabilizzata (l/s)	Portata transitoria (l/s*10m)
	da pk	a pk									
TRV	28.050	28.160	0.011	0.025	2	0	0	5.0E-08	0	0.00	0.00
TRV	28.160	29.400	0.011	0.025	2	10	8.5	1.0E-08	250	0.020	0.00
TRV	29.400	30.340	0.011	0.025	2	12	10.2	1.0E-08	250	0.072	0.00
TRV	30.340	31.170	0.011	0.025	2	17	14.45	1.0E-08	250	0.172	0.00
TRV	31.170	31.340	0.022	0.025	2	19	16.15	1.0E-08	250	0.048	0.00
TRV	31.340	31.670	0.022	0.025	2	23	19.55	1.0E-08	250	0.122	0.01
TRV	31.670	31.810	0.022	0.025	2	55	46.75	1.0E-08	250	0.127	0.01
TRV	31.810	31.900	0.022	0.025	2	90	76.5	1.0E-08	300	0.124	0.01
TRV	31.900	31.980	0.022	0.025	2	120	102	1.0E-08	400	0.140	0.01
TRV	31.980	32.070	0.022	0.025	2	140	119	1.0E-08	400	0.174	0.02
TRV	32.070	32.190	0.022	0.025	2	150	127.5	1.0E-08	500	0.249	0.02
TPL	32.190	32.420	0.132	0.05	3	125	93.75	1.0E-07	750	4.039	0.11
TPL	32.420	32.620	0.132	0.05	3	90	67.5	1.0E-07	750	2.777	0.08
TPL	32.620	32.820	0.132	0.05	3	60	45	1.0E-07	750	2.038	0.06
GTL1	32.820	33.210	0.132	0.08	2	30 (165)	21 (40)	1.0E-06	800	3.747	2.21
GTL1	33.210	33.580	0.132	0.08	2	16 (165)	11.2 (40)	1.0E-06	800	3.555	2.21
GTL1	33.580	33.820	0.132	0.08	2	23 (165)	16.1 (40)	1.0E-06	800	2.306	2.21
GTL1	33.820	34.080	0.132	0.08	2	27	18.9	1.0E-06	750	0.591	0.27
GTL1	34.080	34.280	0.132	0.08	2	9	6.3	1.0E-06	700	0.154	0.10
GTL2	34.280	34.445	0.132	0.05	2	6	4	5.0E-09	700	0.005	0.00
GTL2	34.445	34.570	0.132	0.05	2	6	4	5.0E-09	500	0.004	0.00
GTL3	34.570	34.640	0.132	0.05	2	3	2.1	5.0E-07	300	0.012	0.02
GTL3	34.640	34.720	0.132	0.05	2	0	0	1.0E-06	0	0.00	0.00

Tabella 20 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN02 Marianopoli. In grassetto i valori utilizzati per le tratte dove si ipotizza la presenza di falda in pressione (si veda il testo per i dettagli)

Per quanto riguarda le portate transitorie, si segnala che i valori più significativi sono attesi nella parte di galleria che si sviluppa nei calcari di base (GTL1), e risultano localmente dell'ordine di 0.5 l/s*10 m.

Si ribadisce tuttavia che la presenza di falde confinate ed in pressione in alcune tratte all'interno del Calcarea di Base (GTL1, evidenziate con grassetto nella tabella precedente) potrebbero generare venute in transitorio significativamente più alte, dell'ordine dei 2 l/s·10 m.

I valori di portata nella fase stazionaria sono dell'ordine dei 15 l/s, e provengono quasi completamente dalla parte di galleria scavata nei litotipi del gruppo della Gessoso-solfifera. Considerando tuttavia la presenza di falde in pressione, tali valori potrebbero aumentare fino a circa 25 l/s.

10.5.3 GN03 – Galleria Trabona

Dal punto di vista geologico, questa galleria è impostata in parte nella formazione di Pasquasia e in parte nei livelli della formazione di Terravecchia (TRV e TRVa).

Litotipo a quota galleria	Tratta (km)		Infiltrazione (m/anno)	Porosità (%)	Tempo di stabilizzazione (anni)	Carico idraulico iniziale (m)	Carico idraulico finale al limite della zona di ricarica (m)	Conducibilità idraulica iniziale (m/s)	Estensione laterale dell'acquifero (m)	Portata stabilizzata (l/s)	Portata transitoria (l/s*10m)
	da pk	a pk									
GPQ	35.245	35.275	0.132	0.05	2	0	0	1.0E-06	150	0.00	0.00
GPQ	35.275	35.350	0.132	0.05	2	7	4.9	5.0E-07	150	0.030	0.05
GPQ	35.350	35.650	0.132	0.05	2	22	15.4	5.0E-07	200	0.372	0.16
GPQ	35.650	36.015	0.132	0.05	2	38	34.2	5.0E-09	300	0.146	0.00
GTL3	36.015	36.220	0.132	0.05	2	37	33.3	5.0E-09	300	0.080	0.00
GTL3	36.220	36.350	0.132	0.05	2	25	22.5	5.0E-09	300	0.037	0.00
TRVb	36.350	36.680	0.022	0.025	2	20	18	5.0E-09	300	0.056	0.00
TRVb	36.680	36.770	0.022	0.025	2	15	13.5	5.0E-09	300	0.010	0.00
TRVa	36.770	36.900	0.132	0.15	3	17	11.9	5.0E-07	400	0.125	0.12
TRVa	36.900	37.000	0.132	0.15	3	7	4.9	1.0E-06	200	0.060	0.09
TRVa	37.000	37.045	0.132	0.15	3	0	0	1.0E-06	0	0.00	0.00

Tabella 21 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN03 Trabona

Le caratteristiche di bassa permeabilità e porosità delle unità geologiche attraversate, nonché i carichi idraulici poco significativi, determina valori di portata sia nella fase transitoria che nella fase stazionaria poco importanti.

10.5.4 GN04 – Galleria Salito 1

Questa galleria di limitata lunghezza intercetta principalmente le argille e marne argillose della formazione di Terravecchia (TRV).

Anche in questo caso, le caratteristiche di bassa permeabilità e porosità delle unità geologiche attraversate, nonché i carichi idraulici poco significativi e la limitata lunghezza dei tratti sottofalda, determinano valori di portata sia nella fase transitoria che nella fase stazionaria quasi nulli.

Litotipo a quota galleria	Tratta (km)		Infiltrazione (m/anno)	Porosità (%)	Tempo di stabilizzazione (anni)	Carico idraulico iniziale (m)	Carico idraulico finale al limite della zona di ricarica (m)	Conducibilità idraulica iniziale (m/s)	Estensione laterale dell'acquifero (m)	Portata stabilizzata (l/s)	Portata transitoria (l/s*10m)
	da pk	a pk									
TRV	37.080	37.125	0.011	0.025	2	3	2.4	5.0E-08	100	0.001	0.00
TRV	37.125	37.340	0.022	0.025	2	5	4.25	1.0E-08	100	0.004	0.00
TRV	37.340	37.370	0.011	0.025	2	0	0	1.0E-08	0	0.00	0.00
GPQa	37.370	37.425	0.132	0.15	3	0	0	1.0E-06	0	0.00	0.00

Tabella 22 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN04 Salito 1

10.5.5 GN05 – Galleria Salito 2

Questa galleria intercetta due differenti formazioni (Terravecchia e Nicosia), rimanendo prevalentemente all'interno di livelli marnosi e marnoso-argillosi caratterizzati da basse permeabilità.

Le caratteristiche di bassa permeabilità e porosità delle unità geologiche attraversate, nonché i carichi idraulici poco significativi e la limitata lunghezza dei tratti sottofalda, determinano valori di portata sia nella fase transitoria che nella fase stazionaria quasi nulli.

Litotipo a quota galleria	Tratta (km)		Infiltrazione (m/anno)	Porosità (%)	Tempo di stabilizzazione (anni)	Carico idraulico iniziale (m)	Carico idraulico finale al limite della zona di ricarica (m)	Conducibilità idraulica iniziale (m/s)	Estensione laterale dell'acquifero (m)	Portata stabilizzata (l/s)	Portata transitoria (l/s*10m)
	da pk	a pk									
FYN4	38.190	38.230	0.011	0.025	3	7	5.95	1.0E-08	0	0.00	0.00
FYN4	38.230	38.260	0.044	0.025	2	16	13.6	1.0E-08	100	0.005	0.00
FYN4	38.260	38.340	0.011	0.025	2	23	20.7	5.0E-09	100	0.013	0.00
FYN4	38.340	38.700	0.011	0.025	2	30	27	5.0E-09	200	0.090	0.00
FYN4	38.700	39.000	0.011	0.025	2	17	15.3	5.0E-09	100	0.029	0.00
FYN4	39.000	39.080	0.011	0.025	2	7	5.95	1.0E-08	100	0.001	0.00
FYN4	39.080	39.130	0.011	0.025	2	0	0	1.0E-08	0	0.00	0.00

Tabella 23 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN05 Salito 2

10.5.6 GN06 – Galleria Masareddu

Questa galleria intercetta prevalentemente la formazione di Nicosia e secondariamente quella di Terravecchia: si tratta in entrambi i casi di terreni marnoso-argillosi, caratterizzati da permeabilità e porosità molto basse.

Non sono attesi valori significativi di portata né nella fase transitoria né in quella stazionaria.

Litotipo a quota galleria	Tratta (km)		Infiltrazione (m/anno)	Porosità (%)	Tempo di stabilizzazione (anni)	Carico idraulico iniziale (m)	Carico idraulico finale al limite della zona di ricarica (m)	Conducibilità idraulica iniziale (m/s)	Estensione laterale dell'acquifero (m)	Portata stabilizzata (l/s)	Portata transitoria (l/s*10m)
	da pk	a pk									
AV	42.507	42.565	0.011	0.025	2	0	0	1.0E-07	0	0.00	0.00
FYN4	42.565	42.735	0.011	0.025	2	9	7.65	1.0E-08	100	0.004	0.00
FYN4	42.735	43.130	0.011	0.025	2	15	13.5	5.0E-09	250	0.038	0.00
FYN4	43.130	43.320	0.011	0.025	2	20	18	5.0E-09	200	0.028	0.00
FYN4	43.320	43.450	0.011	0.025	2	20	18	5.0E-09	150	0.018	0.00
FYN4	43.450	43.640	0.011	0.025	2	12	10.2	1.0E-08	100	0.002	0.00
AV	43.640	43.705	0.011	0.025	2	3	2.4	5.0E-08	100	0.001	0.00
AV	43.705	43.810	0.011	0.025	2	0	0	1.0E-07	0	0.00	0.00

Tabella 24 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN06 Masareddu

10.5.7 GN07 – Galleria Xirbi

Per quanto riguarda gli aspetti geologici, questa galleria ricade in parte nei livelli del membro sabbioso-

arenaceo-conglomeratico della formazione di Terravecchia (TRVa) e in parte nei livelli argilloso-marnosi delle formazioni delle Argille Variegate (AV), del Flysch di Nicosia (FYN4) e di Terravecchia (TRV).

Litotipo a quota galleria	Tratta (km)		Infiltrazione (m/anno)	Porosità (%)	Tempo di stabilizzazione (anni)	Carico idraulico iniziale (m)	Carico idraulico finale al limite della zona di ricarica (m)	Conducibilità idraulica iniziale (m/s)	Estensione laterale dell'acquifero (m)	Portata stabilizzata (l/s)	Portata transitoria (l/s*10m)
	da pk	a pk									
TRV	44.160	44.395	0.011	0.025	2	0	0	5.0E-08	0	0.00	0.00
TRVa	44.395	44.545	0.011	0.15	3	0	0	5.0E-07	0	0.00	0.00
TRVa	44.545	44.740	0.011	0.15	3	0	0	5.0E-07	0	0.00	0.00
TRVa	44.740	44.900	0.132	0.15	3	5	3.5	5.0E-07	100	0.046	0.04
FYN4	44.900	45.020	0.022	0.025	2	9	8.1	5.0E-09	100	0.002	0.00
FYN4	45.020	45.320	0.011	0.025	2	18	16.2	5.0E-09	200	0.038	0.00
FYN4	45.320	45.760	0.011	0.025	2	40	36	5.0E-09	250	0.151	0.01
AV	45.760	45.900	0.011	0.025	2	30	24	5.0E-08	200	0.058	0.03
AV	45.900	46.170	0.011	0.025	2	20	16	5.0E-08	100	0.028	0.02
AV	46.170	46.350	0.011	0.025	2	10	7.5	1.0E-07	50	0.013	0.02
TRV	44.160	44.395	0.011	0.025	2	0	0	5.0E-08	0	0.00	0.00
TRVa	44.395	44.545	0.011	0.15	3	0	0	5.0E-07	0	0.00	0.00

Tabella 25 – Calcolo delle portate attese lungo la galleria GN07 Xirbi

Non sono attesi valori significativi di portata né nella fase transitoria né in quella stazionaria.

11 SISMICITÀ DELL'AREA

11.1 Premessa

Il presente capitolo riguarda la caratterizzazione sismica generale del settore in cui ricade il Lotto 3 del nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Lercara-Caltanissetta Xirbi.

In particolare, sono stati affrontati i temi relativi all'assetto sismotettonico di questo settore, alla zonazione sismica e alla presenza di faglie sismogenetiche; la sismicità del sito di intervento è stata valutata sulla base dei dati messi a disposizione dagli enti pubblici nazionali, aggiornati al 30/11/2019.

11.2 Assetto geodinamico e tettonico

L'area di studio si colloca nella porzione centrale della regione Sicilia, tra le province di Palermo e Caltanissetta. L'assetto geologico-strutturale dell'area è descritto in dettaglio nei capitoli relativi all'inquadramento geologico e litostratigrafico, mentre nel presente capitolo sono messe in evidenza le caratteristiche tettonico-strutturali a scala regionale che maggiormente hanno condizionato e condizionano l'attività sismica dell'area.

Dal punto di vista strutturale, come già ricordato, la Sicilia costituisce un segmento del sistema appenninico che si sviluppa lungo il limite tra la placca Nubiana (Africana p.p.) e quella Europea; questo segmento di catena collega le Maghrebidi nordafricane con l'Appennino meridionale, attraverso il cuneo di accrezione della Calabria (Figura 39). La catena e il suo prolungamento sommerso si estendono dal blocco sardo-corso, attraverso la Sicilia, fino al settore ionico (Mar Tirreno centro-meridionale). La deformazione che ha interessato la regione può essere schematizzata in tre fasi tettoniche distinte:

- fase transtensiva (Cretacico-Eocene);
- fase compressiva (Oligocene superiore-Messiniano);
- fase finale (Pliocene-Quaternario), con riattivazione normale delle faglie preesistenti e importanti sollevamenti differenziali, testimoniati dalla presenza di numerosi bacini peritirrenici.

Il tracciato corre all'interno della Catena Appenninico-Maghrebide, poche decine di chilometri a nord del suo fronte di sovrascorrimento sull'avanfossa Gela-Catania (Figura 3) e a sud dei sistemi di faglie normali e trascorrenti plio-quadernarie del sistema M. Kumeta-Madonie.

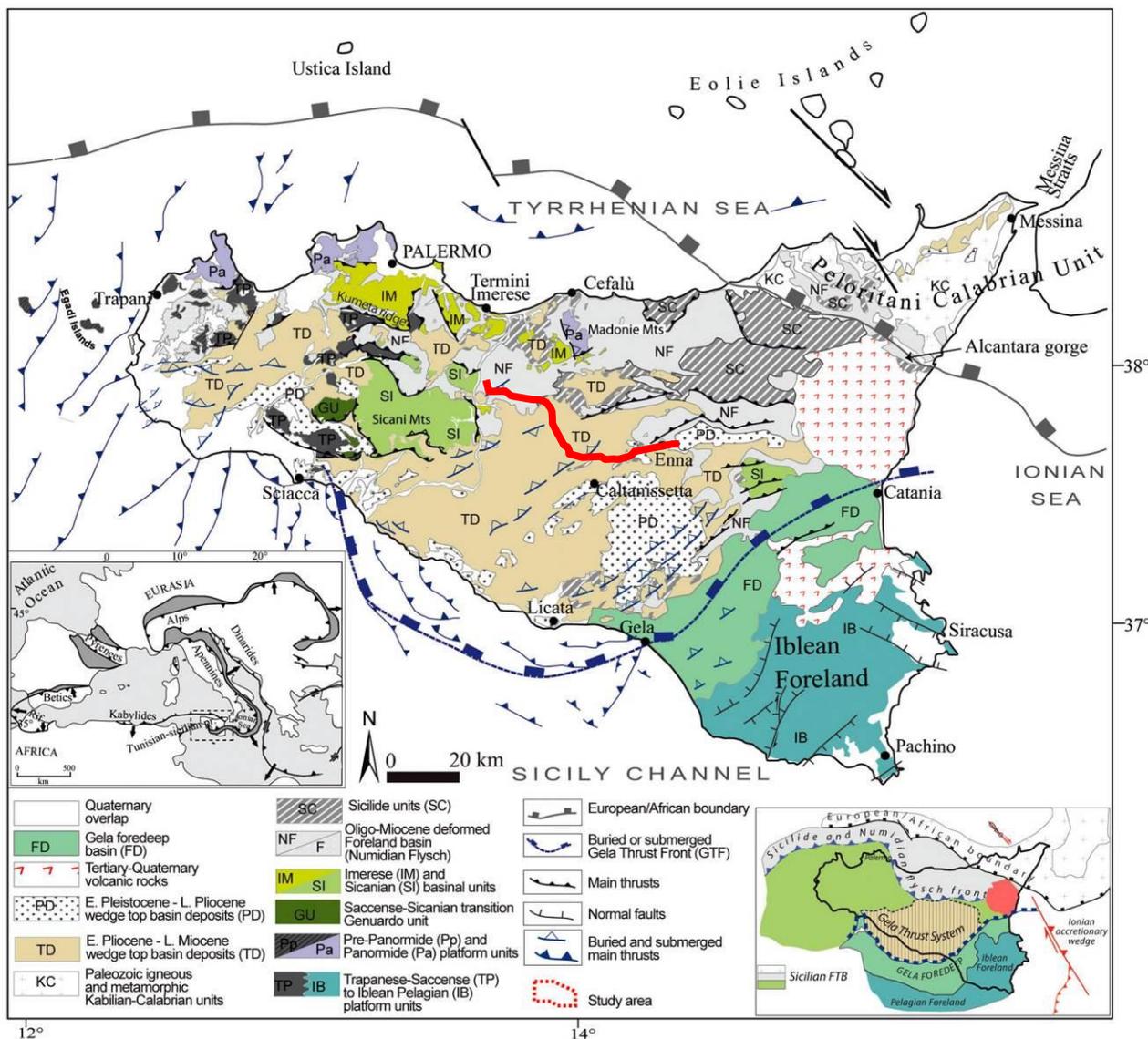


Figura 39 – Carta geologico-strutturale della Sicilia (modificata da Catalano et al. 2013); in rosso è indicato il tracciato di progetto per la sezione riguardante i Lotti 3 e 4a.

La Catena Appenninico-Maghrebide è un *thrust-and-fold system* con vergenza verso SE, sviluppatosi a partire dal Miocene inferiore. Ai suoi margini meridionale e settentrionale sono presenti numerose faglie inverse e transpressive.

11.3 Assetto sismotettonico

In Sicilia, sulla base dell'analisi dei meccanismi che regolano i principali contatti tettonici correlati agli eventi sismici più rilevanti, sviluppati a scala crostale ($M_w \geq 4.0$, profondità ≤ 40 km), si possono distinguere geograficamente e cinematicamente cinque domini sismogenetici principali (Neri et al., 2005; Lavecchia et al., 2007; Billi et al., 2010; Visini et al., 2010). Da nord a sud questi domini sono (Figura 41):

- il dominio del Tirreno meridionale, localizzato al largo delle coste del nord della Sicilia, interessato da movimenti compressivi con asse di compressione diretto circa N-S;
- il dominio nord-siciliano che comprende le aree delle Madonie-Nebrodi (B1) e dei Monti Peloritani (B2), caratterizzati da movimenti per lo più estensionali con assi di estensione diretti rispettivamente N-S e WNW-ESE;
- il dominio della Sicilia centrale, soggetto a movimenti prevalentemente compressivi con assi di compressione diretti N-S nell'area Mazara-Belice-Etna (C1, C3) e con stili deformativi di tipo *strike-slip* nell'area di Caltanissetta (C2);
- il dominio della Sicilia meridionale, che si estende da Sciacca a Gela e Catania, non associato a eventi sismici strumentali di una qualche rilevanza;
- il bacino di avanfossa Ibleo, nel sud della Sicilia, caratterizzato principalmente da deformazioni di tipo *strike-slip*.



Figura 40 – Carta strutturale della Sicilia, dal foglio n. 6 del Modello Strutturale d’Italia 1:500’000 (Bigi et al., 1991, integrato da Lavecchia et al., 2007). In rosso il tracciato di progetto (Lotti 3 e 4a).

Il dominio della Sicilia centrale, che corrisponde al settore interessato dallo sviluppo del tracciato ferroviario in progetto, non è considerato come una zona sismogenetica; tuttavia, testimonianze storiche indicano che è avvenuto almeno un evento sismico di una certa rilevanza, con magnitudo > 6.6. Si tratta del terremoto del 361 d.C., il cui epicentro macrosismico è stato localizzato in prossimità di Caltanissetta, in accordo con le evidenze archeologiche rinvenute presso la villa romana del Casale, nella città di Piazza Armerina (SgROI et al., 2012). Sebbene alcuni autori (Jenny et al., 2006; Visini et al., 2010) proponano per questo evento dei meccanismi compressivi orientati N-S, altri (Barreca et al., 2010) sono più propensi a ricondurre l’evento a meccanismi di tipo estensionale riferibili al dominio Madonie-Nebrodi.

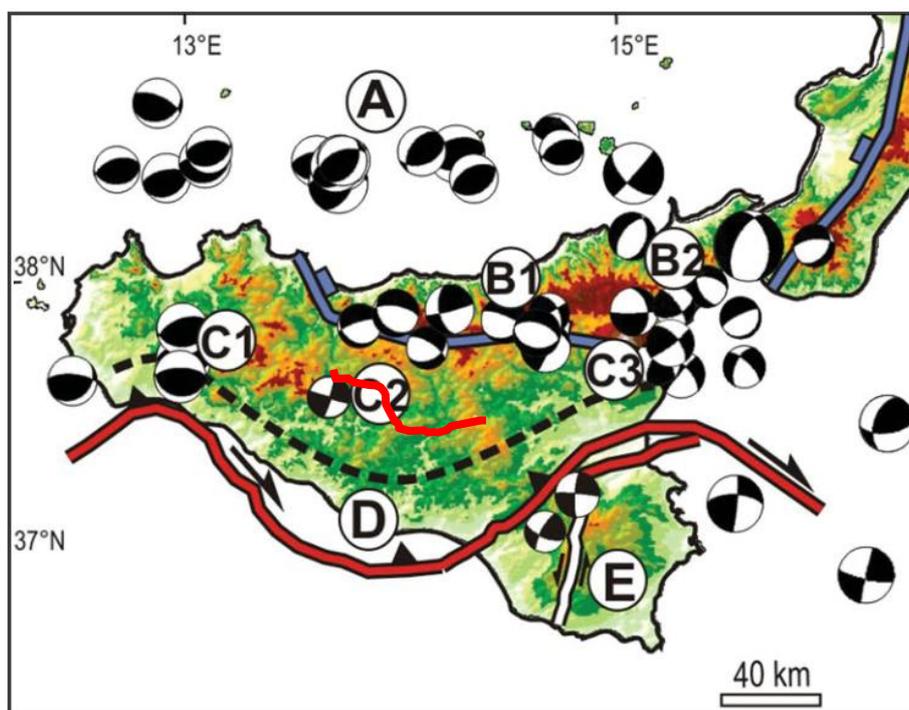


Figura 41 – Principali domini sismogenetici della Sicilia, con evidenziati gli stili deformativi dominanti (diagrammi dei meccanismi focali; i quadranti in compressione sono indicati in nero, quelli estensionali in bianco) e i principali contatti tettonici regionali. Le lettere indicano i vari domini descritti nel testo; in rosso è evidenziato il tracciato di progetto (Lotti 3 e 4a).

Uno studio specifico sulla sismicità del dominio della Sicilia centrale (SgROI et al., 2012) ha permesso, attraverso la definizione di un modello aggiornato di propagazione delle onde sismiche che ha portato alla ricollocazione degli ipocentri dei terremoti strumentali registrati nella zona dal 1983 al 2010, di definire le profondità dei limiti tra crosta superiore-media, crosta media-inferiore e crosta-mantello, che risulterebbero rispettivamente a 12, 22 e 37 km di profondità (cfr. sezione crostale di Figura 42).

Nello stesso studio è stato messo in evidenza inoltre come il Sicilian Basal Thrust (SBT, Figura 42), rappresenti una possibile fonte sismogenetica per il settore del bacino di Caltanissetta, con campi di stress compressivi orientati NNW-SSE, situati al tetto del SBT stesso, lungo piani di sovrascorrimento situati a profondità di 20-35 km circa.

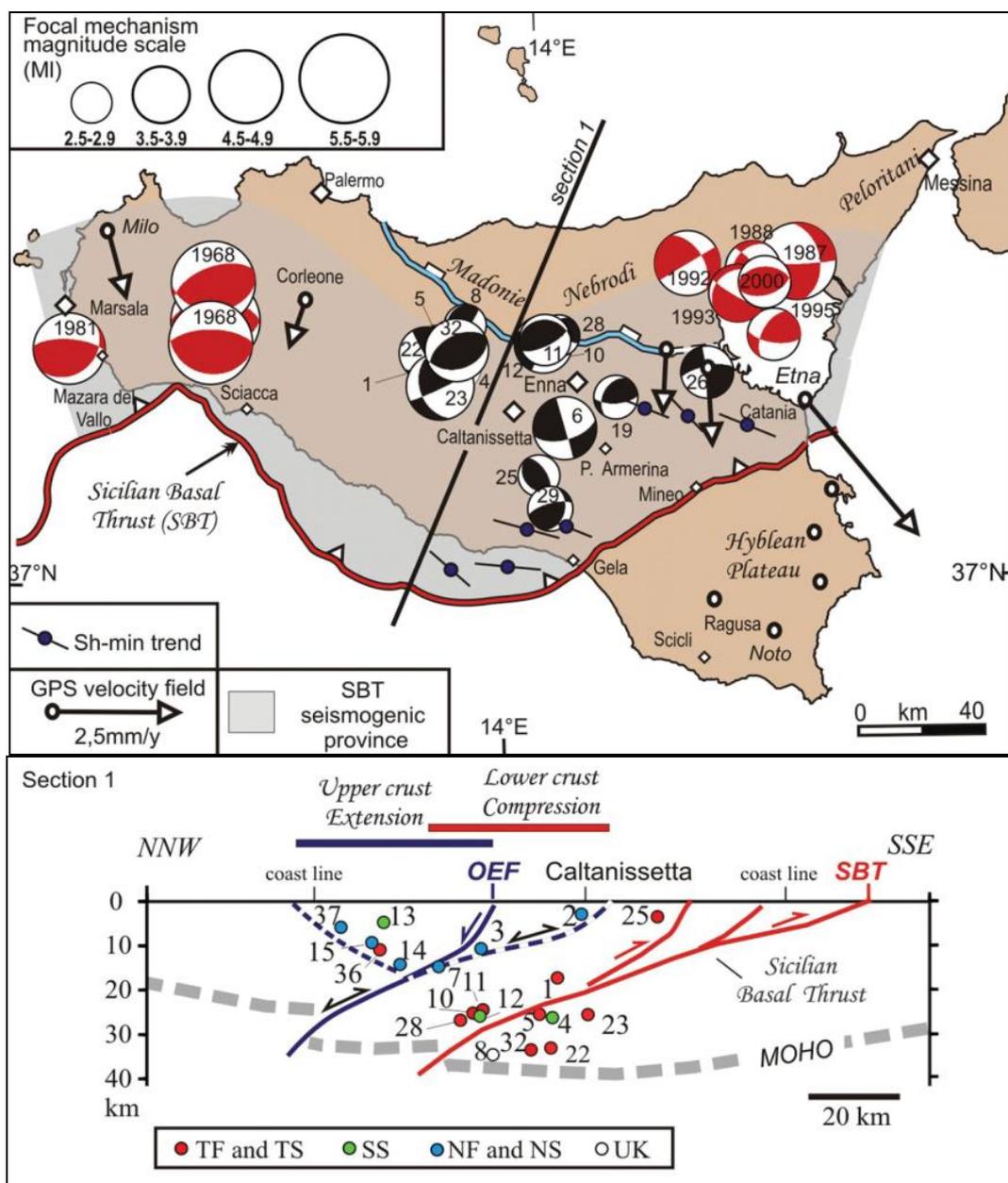


Figura 42 – Schema sismogenetico del dominio della Sicilia centrale (SBT) con distribuzione dei meccanismi focali dei terremoti. La sezione presenta un'interpretazione degli elementi strutturali e della possibile posizione degli ipocentri dei terremoti, suddivisi sulla base della loro cinematica. TF, piani a basso angolo; TS, piani a basso angolo con movimenti di trascorrenza; SS, strike-slip; NF, faglie normali; NS, faglie trascorrenti; UK, cinematicismo sconosciuto; OEF, fronti estensionali esterni (SgROI et al., 2012). Nei diagrammi polari il bianco indica i quadranti in estensione, il colore pieno quelli in compressione.

A dispetto degli studi citati, secondo la zonazione sismica del territorio italiano (DISS), la Sicilia centrale risulta essere un settore da moderatamente sismico ad asismico. È pertanto probabile che venga sottovalutato il potenziale sismogenetico della SBT e che le zone in compressione vengano confinate

esclusivamente alla parte più superficiale del sistema di thrust, in prossimità della loro emergenza lungo la fascia Sciacca-Gela-Catania.

11.4 Zonazione sismogenetica

Secondo la Zonazione Sismogenetica del territorio nazionale ZS9 (Meletti & Valensise, 2004), il settore d'intervento è situato in posizione intermedia tra la **Zona 933** "Sicilia Settentrionale" e la **Zona 935** "Iblei" (Figura 43).

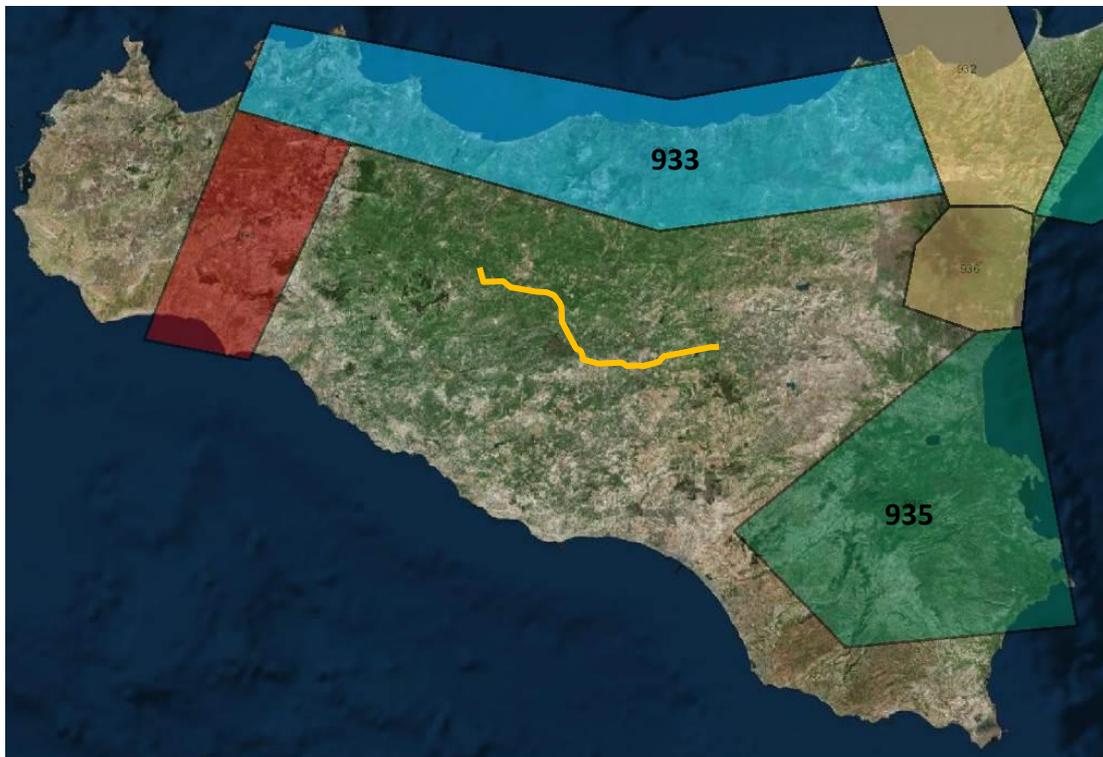


Figura 43 – Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 dell'area di studio, con indicazione del tracciato di progetto (Lotti 3 e 4a).

In corrispondenza della Zona 933 sono attesi terremoti piuttosto profondi ($P = 8-12$ km) e di elevata magnitudo ($M_{max} = 6.14$), riconducibili allo sviluppo di faglie inverse (Meletti & Valensise, 2004). Invece la Zona 935 costituisce una delle aree a più elevata sismicità d'Italia; sulla base degli studi sismologici più aggiornati, in questa zona sono attesi terremoti profondi ($P = 12-20$ km) e di elevata magnitudo ($M_{max} = 7.29$), riconducibili allo sviluppo di faglie prevalentemente trascorrenti (Azzaro & Barbano, 2000; Meletti & Valensise, 2004; Carbone, 2011).

11.5 Faglie sismogenetiche e faglie capaci nell'area di progetto

Gli epicentri dei terremoti sono frequentemente localizzati in corrispondenza di faglie sismiche o sismogenetiche, radicate nella porzione superiore della crosta terrestre; queste faglie attraverso movimenti di tipo “stick-slip” o “a scatti” generano eventi sismici di varia intensità che talora sono in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie (faglie capaci).

Al fine di individuare gli specifici meccanismi di sviluppo e la precisa collocazione spaziale delle faglie sismogenetiche e delle faglie capaci situate in corrispondenza del settore d'intervento e in un suo intorno significativo, sono state consultate le principali banche dati disponibili per questo settore di territorio. In particolare, sono stati consultati:

- i dati relativi al progetto ITHACA (Italy Hazard from Capable faults) sviluppato dal Servizio Geologico d'Italia – ISPRA;
- il database DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) realizzato dall'INGV;
- il database EDSF (European Database of Seismogenic Faults).

Dall'analisi delle fonti sopra citate, come osservabile in Figura 44, Figura 45 e Figura 46, è emerso che in corrispondenza dell'area interessata dallo sviluppo del tracciato del Lotto 3 della nuova linea Palermo-Catania non è segnalata la presenza di faglie sismogenetiche individuali o composite, né di faglie capaci. Le sorgenti sismogenetiche più prossime sono situate a distanze di 25-30 km circa dal tracciato di linea e sono legate ai grandi piani di scorrimento che attraversano in senso E-W la regione Sicilia.

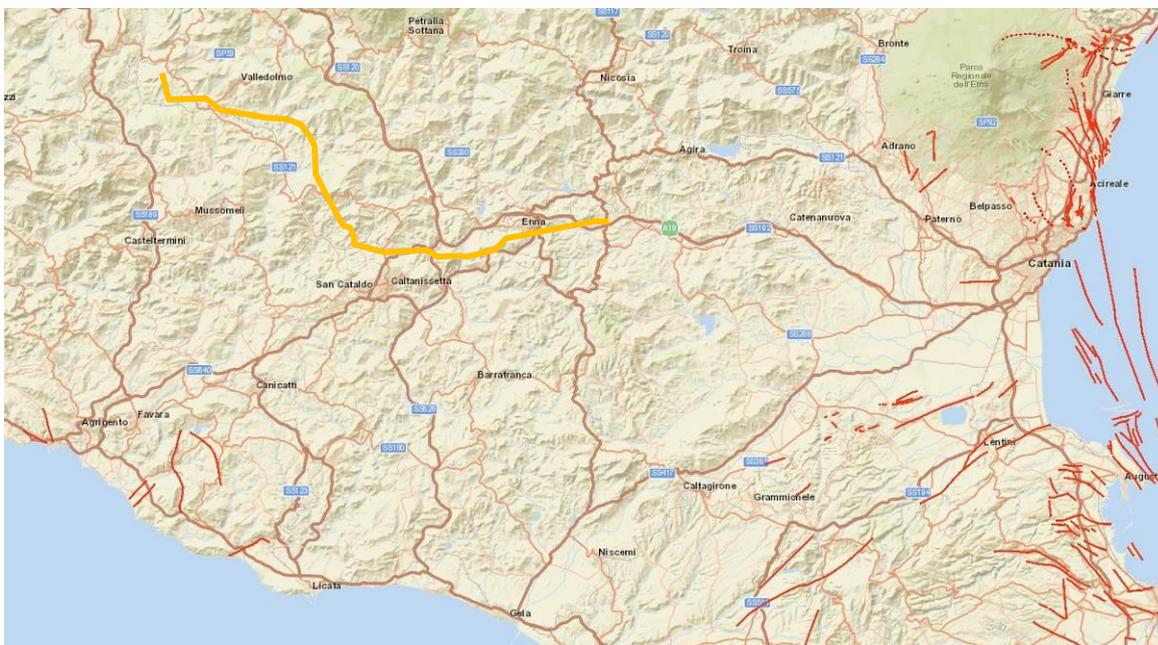


Figura 44 – Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti nell’area di studio (ITHACA - Italy Hazard from Capable faults). In rosso le faglie sismogeniche e/o c apaci, in giallo il tracciato dei lotti 3 e 4a.

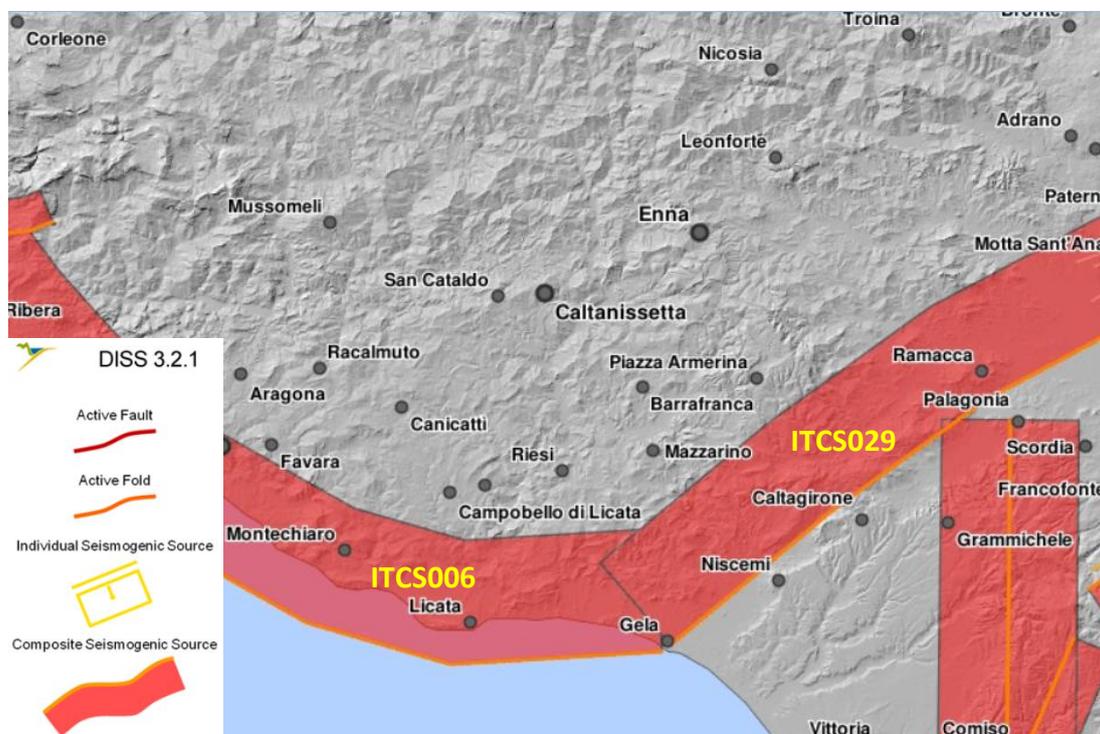


Figura 45 – Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti con $M > 5.5$ nell’area di studio (DISS 2019, Database of Individual Seismogenic Sources).

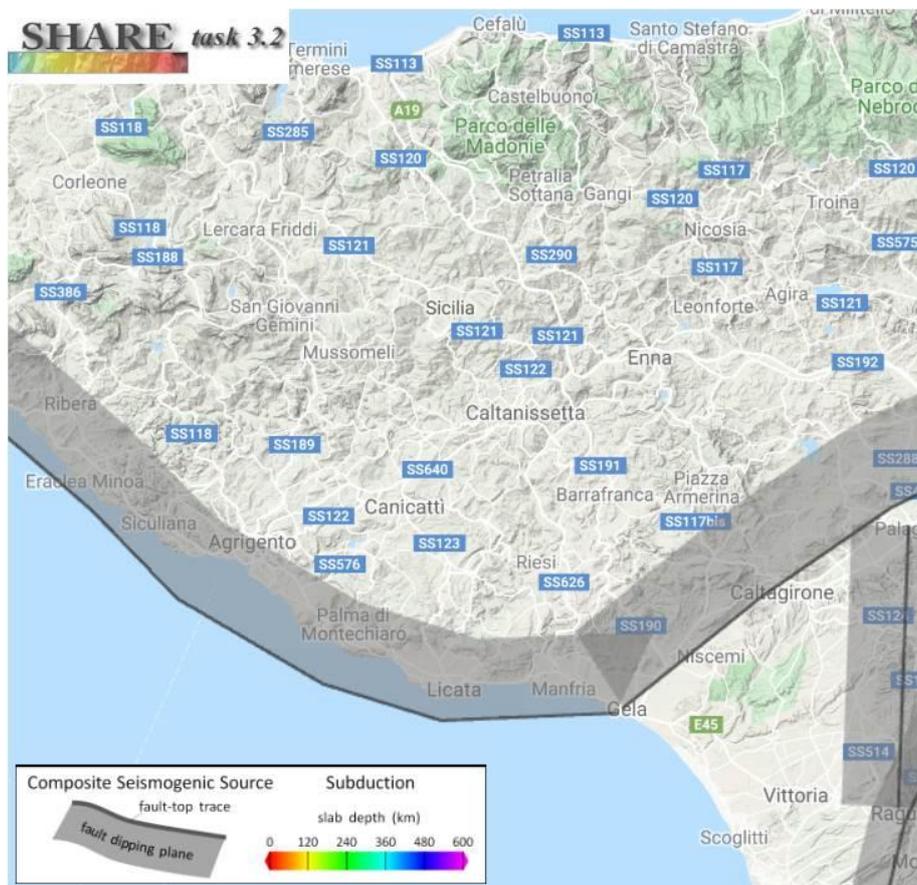


Figura 46 – Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti nell’area di studio (EDSF - European Database of Seismogenic Faults). In grigio le faglie sismogenetiche e/o capaci.

In particolare, le zone sismogenetiche composite più prossime al tracciato sono il sistema Sciacca-Gela (DISS-ID ITCS006) e il sistema Gela-Catania (DISS-ID ITCS029), le cui caratteristiche parametriche sono riportate in Tabella 26.

Nel complesso, i sistemi Sciacca-Gela (DISS-ID ITCS006) e Gela-Catania (DISS-ID ITCS029) costituiscono due tratti dell’insieme dei thrust che delimita verso sud la Catena Appenninico-Maghrebide (cfr. § 11.2). Essi presentano caratteristiche parametriche molto simili, con profondità variabili tra 2 e 10 km, magnitudo massima compresa tra 6.0 e 6.2 e *slip rate* di 0.1-0.7 mm/anno (Argnani et al., 2013; Bonforte et al., 2015; Bousquet & Lanzafame, 1986; Branca et al., 2015).

Dall’analisi delle principali banche dati disponibili, risulta quindi che la sismicità del settore d’intervento non è direttamente riconducibile alla presenza di faglie sismogenetiche e/o di faglie capaci di una qualche rilevanza, ma è più probabilmente correlabile ad altri elementi strutturali a carattere regionale

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	156 di 257

e locale; tuttavia come dimostrato dai recenti studi citati in precedenza (cfr. § 11.3), questi dati potrebbero anche sottovalutare il fenomeno, limitandosi all'analisi delle parti più superficiali dei sistemi Sciacca-Gela (DISS-ID ITCS006) e Gela-Catania (DISS-ID ITCS029) e trascurandone una loro possibile prosecuzione verso nord.

Sciacca-Gela (DISS-ID ITCS006)				Gela-Catania (DISS-ID ITCS029)			
PARAMETRIC INFORMATION				PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE	PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.	Min depth [km]	3.0	OD	Based on regional tectonic considerations.
Max depth [km]	10.0	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.	Max depth [km]	10.0	OD	Based on regional tectonic considerations.
Strike [deg] min... max	260... 320	LD	Based on regional geologic and tectonic data.	Strike [deg] min... max	225... 260	OD	Based on regional geologic and tectonic data.
Dip [deg] min... max	20...40	EJ	Inferred from regional geologic and tectonic data.	Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on regional geologic and tectonic data.
Rake [deg] min... max	75... 125	EJ	Inferred from geological and tectonic considerations.	Rake [deg] min... max	80... 100	EJ	Inferred from regional geologic and tectonic data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1... 0.7	EJ	Unknown, values derived from preliminary modeling of terrace data.	Slip Rate [mm/y] min... max	0.1... 0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2	EJ	Derived from preliminary modeling of terrace data.	Max Magnitude [Mw]	6.0	OD	Based on the strongest earthquake occurred in the region.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Tabella 26 – Quadro riassuntivo delle sorgenti sismogenetiche composite Sciacca-Gela (DISS-ID ITCS006) e Gela-Catania (DISS-ID ITCS029).

11.6 Sismicità dell'area di progetto

Come sintetizzato nel § 11.3, la Sicilia centrale presenta un rischio sismico da medio a elevato, a causa del particolare assetto geologico-strutturale del territorio. Al fine di valutare la sismicità storica delle aree in cui ricadrà l'opera in progetto, sono state consultate le banche dati inerenti sia i singoli comuni interessati dal tracciato, sia un areale più ampio, in un raggio di 60-65 km circa dal tracciato stesso.

11.6.1 Distribuzione spazio-temporale degli eventi sismici a scala regionale

I documenti storici con riferimenti agli eventi sismici precedenti il 1700 circa sono in genere 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 per lo meno a scala regionale.

11.6.1.1 Sicilia orientale

Per quanto riguarda il settore della Sicilia orientale e le città della costa ionica, i principali terremoti che nel corso dei secoli hanno interessato la regione sono:

- **terremoto del 4 febbraio 1169:** questo evento disastroso colpì la Sicilia orientale e parte della Calabria meridionale, distruggendo undici centri abitati e provocando danni ingenti in tutta l'area. Catania fu completamente distrutta (I = X MCS) e negli scarsi documenti dell'epoca si riportano il completo collasso di tutti gli edifici e circa 15'000 vittime. Il terremoto avvenne in concomitanza con l'eruzione dell'Etna, il cui cratere sul versante settentrionale collassò parzialmente. Tra gli effetti secondari si registra uno tsunami che provocò un abbassamento temporaneo 5 m delle acque nel porto e, successivamente, una vasta inondazione presso la foce del Simeto.
- **Terremoto del 10 dicembre 1542:** il sisma, distintamente avvertito in tutta la Sicilia, colpì in particolare l'entroterra degli Iblei, radendo al suolo centri come Lentini, Melilli ed Avola. A Catania si stima che il terremoto abbia avuto una intensità pari a VII-VIII MCS, con danni considerevoli e diffusi. Chiese e monasteri subirono gravi lesioni; molti edifici collassarono e altri dovettero subire ampi interventi di riparazione. Nella parte occidentale della città un intero quartiere fu distrutto, ma si registrano solamente 6 vittime, probabilmente perché la scossa avvenne in pieno giorno. Il terremoto causò un'onda di tsunami che ebbe gli effetti più devastanti nella città di Augusta. Manoscritti dell'epoca riportano la distruzione di edifici causati anche da fenomeni di liquefazione del terreno.
- **Terremoto del 9 gennaio del 1693:** questo terremoto, avvertito sensibilmente dalla Calabria settentrionale alla costa tunisina, rappresenta la più grave catastrofe sismica della Sicilia orientale, le cui città furono sconvolte. L'evento distrusse circa quaranta centri abitati in una vastissima area compresa tra Catania, Siracusa e Ragusa. Si verificarono due scosse principali, a distanza di due giorni: la prima si verificò alle ore 4:30 del 9 gennaio e a Catania ebbe l'effetto di terrorizzare la popolazione distruggendo le case meno solide e danneggiando seriamente gli edifici più importanti quali monasteri e palazzi (I = VIII MCS); la seconda, delle ore 21:00, ebbe un effetto ancor più devastante poiché causò il collasso degli edifici già seriamente lesionati, distruggendo completamente la città (I = X-XI MCS). La statistica ufficiale redatta nel mese di maggio dello stesso anno, riporta circa 54'000 vittime in tutte le zone colpite dal terremoto. Solo a Catania si registrarono più di 12'000 vittime, pari

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	158 di 257

al 63% della popolazione allora residente. Un'intensa attività dell'Etna accompagnò lo sciame sismico; in vaste aree si aprirono fratture nel terreno da cui fuoriuscivano gas, fango ed acqua calda. In tutta l'area colpita dal terremoto scomparvero molte sorgenti; altre comparvero o variarono portata, salinità e colorazione delle acque. Effetti di maremoto in occasione della seconda scossa furono segnalati in molte località costiere della Sicilia orientale.

- **Terremoto del 20 febbraio 1818:** il sisma del 20 febbraio 1818, avvertito anche Malta e in Calabria, ebbe il suo epicentro a nord di Catania e distrusse numerosi villaggi sul versante orientale dell'Etna, causando danni su una vasta area compresa tra Catania e la Sicilia settentrionale. Le vittime furono 72 e i feriti circa 100. A Catania l'intensità calcolata fu pari al VII grado MCS, con danni a più di 1'700 abitazioni, di cui oltre il 35% dovette essere puntellato o demolito. La città era stata completamente ricostruita dopo il sisma del 1693, era quindi "nuova" dal punto di vista della conservazione del patrimonio edilizio. Numerose fenditure si aprirono nel terreno in tutta l'area in cui si registrarono i massimi effetti; anche a Catania si aprirono profonde spaccature nel suolo. Effetti di maremoto si verificarono a Messina, dove il mare invase le strade cittadine.
- **Terremoto del 13 dicembre 1990:** si tratta di un sisma notturno con epicentro a sud di Castelluccio, definito il "terremoto dei silenzi" perché spesso dimenticato dai media. Il terremoto colpì le città di Augusta, Lentini, Carlentini, Melilli e Militello. I morti furono 17, gli sfollati 10'000. Il sisma fu seguito da uno *tsunami* che invase il viale a mare e il porto di Augusta, con danni comunque limitati.

11.6.1.2 Sicilia nordoccidentale

I principali terremoti che hanno interessato la Sicilia nordoccidentale e i principali centri abitati presenti lungo il settore tirrenico dell'isola sono i seguenti:

- **Terremoto dell'8 settembre 1818:** questo sisma ebbe epicentro tra le due Petralie e Polizzi. A Palermo fece fermare il pendolo dell'osservatorio, mentre nei paesi circostanti i Monti delle Madonie causò moltissimi danni, soprattutto a Petralia Soprana e Sottana, a Polizzi, a Caltavuturo e Scillato. Si verificarono diverse repliche a settembre, ottobre e novembre ma senza alcun danno.
- **Terremoto del 5 marzo 1823:** il sisma, con epicentro tra Cefalù e Pollina, colpì la costa della Sicilia settentrionale, da Capo d'Orlando a Capo Calavà. Si registrarono danni ingenti a Palermo, Corleone e

Cefalù, dove uno tsunami danneggiò diverse imbarcazioni. Si osservarono importanti lesioni a edifici anche a Patti, Naso, Godrano ed in diversi centri delle Madonie.

- **Terremoto del 15 gennaio 1968:** questo terremoto notturno ebbe epicentro nei pressi di Salaparuta, che fu praticamente distrutta. Furono gravemente colpite le province di Trapani e Agrigento, in particolare la valle del fiume Belice, e devastati i paesi di Montevago e Gibellina, dove crollò il 90% degli edifici. Ingenti danni si registrarono anche a Poggioreale, Salemi, S. Margherita, S. Ninfa, Partanna, Sciacca, Calatafimi e Palermo. Il sisma fu inizialmente sottovalutato, in quanto la zona era ritenuta non sismica, e causò quasi 400 vittime soprattutto tra anziani, donne e bambini e 70'000 sfollati. Gli effetti delle scosse furono fortemente amplificati dalla pessima qualità dei fabbricati e anche la seguente ricostruzione fu poco efficiente.

11.6.2 Distribuzione spazio-temporale degli eventi sismici a scala locale

Nell'intento di valutare l'incidenza degli eventi sismici nella zona di interesse, è stato consultato il Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'INGV, che fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti, relativamente ai terremoti con intensità massima ≥ 1 .

11.6.2.1 Analisi dei dati storici

Nel settore di Enna-Caltanissetta sono disponibili i dati per la finestra temporale 1500-2014. Sono stati estrapolati gli eventi significativi per i Comuni di: Alia, Caltanissetta, Castronuovo di Sicilia, Lercara Friddi, Marianopoli, Mussomeli, Petralia Sottana, Polizzi Generosa, Resuttano, San Cataldo, Scalafani Bagni, Vallelunga Pratameno e Villalba che si trovano lungo lo sviluppo del tracciato o nelle sue immediate vicinanze (cfr. da *Tabella 27* a *Tabella 39*).

Nel complesso, dal confronto degli eventi registrati nei vari comuni si può osservare che:

- nel periodo antecedente il 1700 circa non sono presenti informazioni specifiche per l'area di progetto. Alcuni rinvenimenti archeologici testimoniano però che nel 361 d.C. un disastroso terremoto con momento di Magnitudo stimato a 6.6 circa, colpì il territorio situato poco a W di Caltanissetta (Boschi et al. 1997, Figura 47);

- Nel periodo temporale tra il 1700 e il 1900 le testimonianze relative ad eventi sismici locali sono ancora molto scarse e si ha traccia soltanto dei terremoti che hanno provocato ingenti vittime e danni alle strutture, soprattutto in corrispondenza dei centri abitati maggiori. Ne sono alcuni esempi gli eventi sismici verificatisi a Calascibetta nel 1693 (intensità al sito 11) e nel 1818 (cfr. § 11.6.1.1).
- Dal 1900 al 2014 la banca dati presenta un set di dati più completo e per gli ultimi 60 anni i valori corrispondono a dati strumentali.
- Nel periodo temporale 1900-2014, nei comuni analizzati si sono verificati da 10 a 15 eventi sismici con intensità al sito da 4 a 7-8 e con numero di osservazioni macrosismiche del terremoto variabile, a seconda dei comuni, tra 700 e 900 circa. L'intensità massima registrata e/o desunta da osservazioni indirette è di 10-11, con momento di magnitudo compreso tra 6,95 e 7,32.



Figura 47 – Localizzazione (quadrato nero) dell'evento sismico del 361 d.C. (DBMI14; Boschi et al., 1997).

Alia

PlaceID IT_66391
 Coordinate (lat, lon) 37.778, 13.714
 Comune (ISTAT 2015) Alia
 Provincia Palermo
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 12

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3-4	1818	09	08	09	50		Monti Madonie	24	7-8	5.34
3-4	1819	02	24	23	20		Monti Madonie	24	7-8	5.37
NF	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11	6.95
2	1907	01	21	03	41		Tirreno meridionale	32	5	4.14
3	1927	09	22	19	38	4	Valledolmo	3	4-5	3.93
3	1959	12	23	09	29		Piana di Catania	108	6-7	5.11
6	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
2	1977	06	05	13	59		Monti Nebrodi	108	6-7	4.61
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
3-4	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5	4.27
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

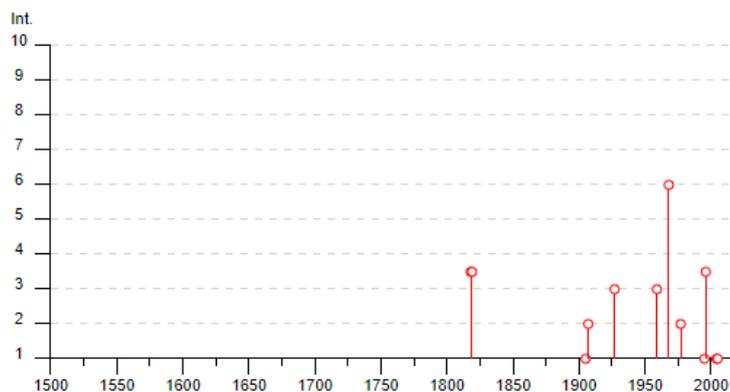


Tabella 27 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Alia (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

Caltanissetta

PlaceID IT_67594
 Coordinate (lat, lon) 37.490, 14.063
 Comune (ISTAT 2015) Caltanissetta
 Provincia Caltanissetta
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 22

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw	
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
NF	1818	09	08	09	50		Monti Madonie	24	7-8	5.34
NF	1819	02	24	23	20		Monti Madonie	24	7-8	5.37
5	1823	03	05	16	37		Sicilia settentrionale	107	8	5.81
3	1848	01	11	12			Golfo di Catania	41	7-8	5.51
6-7	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
NF	1912	12	22	08	05		Stretto di Messina	56	5-6	4.68
2	1934	09	11	01	19		Sicilia centro-settentrionale	28	5-6	4.84
NF	1940	01	15	13	19	2	Tirreno meridionale	60	7-8	5.29
5	1959	12	23	09	29		Piana di Catania	108	6-7	5.11
6	1967	10	31	21	08	0	Monti Nebrodi	60	8	5.33
5-6	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
NF	1977	06	05	13	59		Monti Nebrodi	108	6-7	4.61
5	1978	04	15	23	33	4	Golfo di Patti	330	8	6.03
NF	1980	01	23	21			Monti Iblei	122	5-6	4.39
4-5	1980	05	28	19	51	2	Tirreno meridionale	44	5-6	5.66
5-6	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304		5.61
4	1994	05	06	19	09	4	Sicilia centrale	68	5	4.36
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
3	2001	11	25	19	34	1	Monti Madonie	25	4-5	4.69
4	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

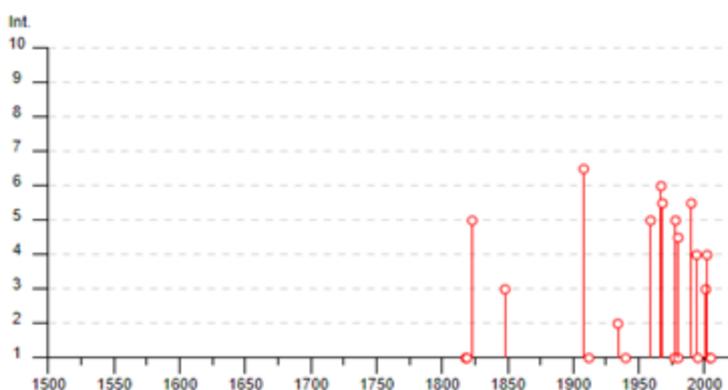


Tabella 28 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Caltanissetta (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

Castronuovo di Sicilia

PlaceID IT_66441
 Coordinate (lat, lon) 37.678, 13.604
 Comune (ISTAT 2015) Castronuovo di Sicilia
 Provincia Palermo
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 7

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1823	03	05	16	37		Sicilia settentrionale	107	8	5.81
NF	1907	01	21	03	41		Tirreno meridionale	32	5	4.14
6	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
NF	1994	01	05	13	24	1	Tirreno meridionale	148		5.82
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
3	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5	4.27
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42

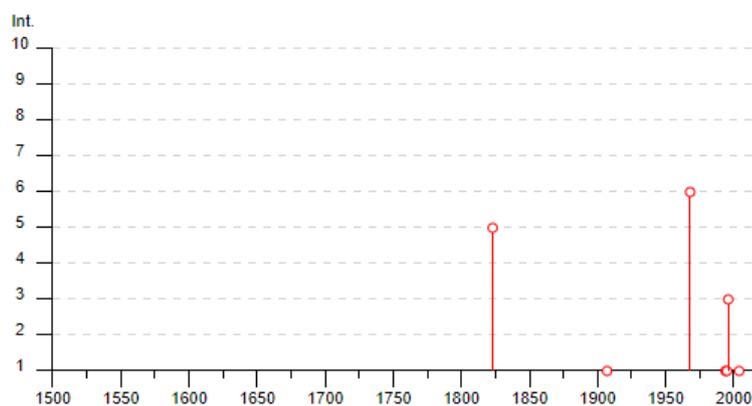


Tabella 29 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Castronuovo di Sicilia (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

Lercara Friddi

PlaceID IT_66473
 Coordinate (lat, lon) 37.748, 13.603
 Comune (ISTAT 2015) Lercara Friddi
 Provincia Palermo
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 14

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw	
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
5	1823	03	05	16	37		Sicilia settentrionale	107	8	5.81
NF	1897	05	15	13	42	3	Tirreno meridionale	85	5	4.52
NF	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11	6.95
NF	1907	01	21	03	41		Tirreno meridionale	32	5	4.14
7	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
NF	1909	06	07	01	30		Corleone	16	3-4	3.73
4	1940	01	15	13	19	2	Tirreno meridionale	60	7-8	5.29
6	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
2	1977	06	05	13	59		Monti Nebrodi	108	6-7	4.61
5	1980	05	28	19	51	2	Tirreno meridionale	44	5-6	5.66
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
4	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
3	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

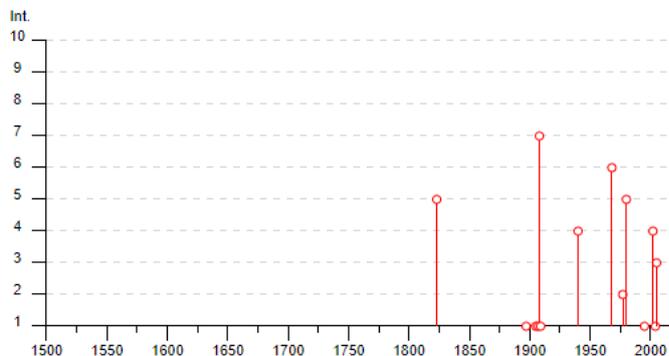


Tabella 30 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Lercara (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

Marianopoli

PlaceID IT_67618
 Coordinate (lat, lon) 37.598, 13.915
 Comune (ISTAT 2015) Marianopoli
 Provincia Caltanissetta
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 8

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale		
NF	1897	05	15	13	42	3	Tirreno meridionale	85	5 4.52
3	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11 7.10
3-4	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304	5.61
3	1994	05	06	19	09	4	Sicilia centrale	68	5 4.36
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4 4.03
4	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5 4.27
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641	5.42
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255	4.56

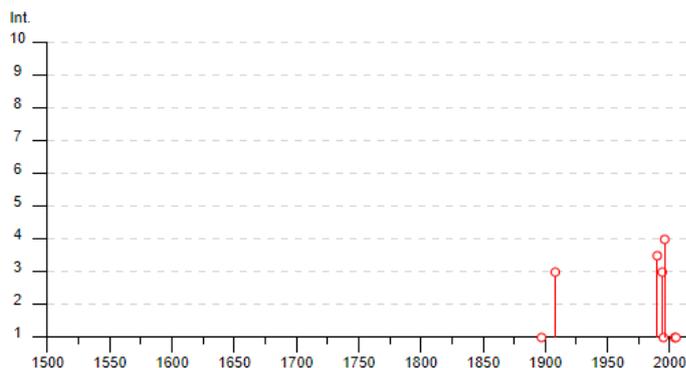


Tabella 31 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Marianopoli (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

Mussomeli

PlaceID IT_67636
 Coordinate (lat, lon) 37.578, 13.753
 Comune (ISTAT 2015) Mussomeli
 Provincia Caltanissetta
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 9

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw	
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
NF	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11	6.95
NF	1940	01	15	13	19	2	Tirreno meridionale	60	7-8	5.29
3	1959	12	23	09	29		Piana di Catania	108	6-7	5.11
5	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
NF	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304		5.61
NF	1990	12	16	13	50	2	Ionio meridionale	105		4.38
4	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

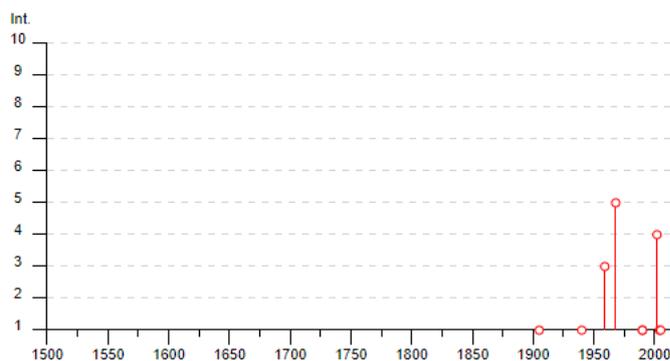


Tabella 32 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Mussomeli (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

Petralia Sottana



PlaceID IT_66593
Coordinate (lat, lon) 37.807, 14.092
Comune (ISTAT 2015) Petralia Sottana
Provincia Palermo
Regione Sicilia
Numero di eventi riportati 28

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7-8	1693	01	11	13	30		Sicilia sud-orientale	179	11	7.32
7-8	1818	09	08	09	50		Monti Madonie	24	7-8	5.34
6	1819	02	24	23	20		Monti Madonie	24	7-8	5.37
7	1823	03	05	16	37		Sicilia settentrionale	107	8	5.81
3	1892	03	16	12	38		Alicudi	28	7	5.24
NF	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11	6.95
4	1906	04	22	23	12		Monti Madonie ?	24	5	4.18
NF	1910	01	25	08	27		Tirreno meridionale	34	5	4.48
4	1910	06	08	11	49		Monti Madonie ?	13	4-5	3.90
5-6	1912	01	30	21	40		Monti Madonie	7	5-6	4.40
4	1925	03	08	15	46		Monti Nebrodi	15	6-7	4.57
6-7	1934	09	11	01	19		Sicilia centro-settentrionale	28	5-6	4.84
NF	1949	10	08	03	08		Sicilia sud-orientale	32	7	5.10
6	1967	10	31	21	08	0	Monti Nebrodi	60	8	5.33
6	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
5	1976	09	17	01	23	5	Monti Nebrodi	40	5-6	4.55
4	1977	06	05	13	59		Monti Nebrodi	108	6-7	4.61
3	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304		5.61
4	1993	06	26	17	47	5	Monti Madonie ?	47	6-7	4.92
4-5	1994	05	06	19	09	4	Sicilia centrale	68	5	4.36
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
3	1995	07	23	18	44	2	Isole Eolie	58	6	4.63
3	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5	4.27
4-5	2001	11	25	19	34	1	Monti Madonie	25	4-5	4.69
5	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	03	09	19	0	Costa siciliana settentrionale	61	4-5	3.30
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

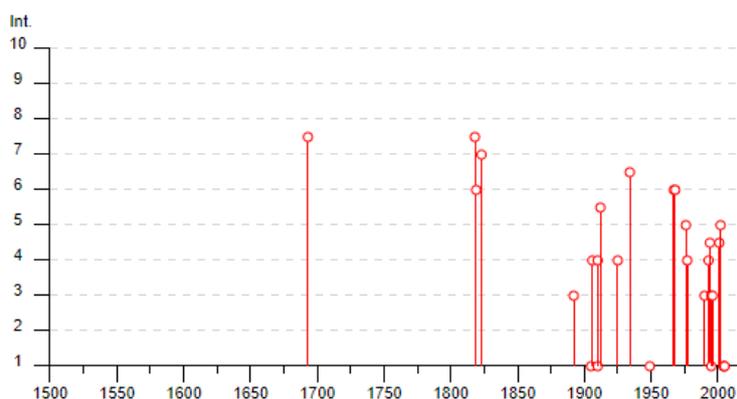


Tabella 33 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Petralia Sottana (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

Polizzi Generosa

PlaceID IT_66595
 Coordinate (lat, lon) 37.812, 14.000
 Comune (ISTAT 2015) Polizzi Generosa
 Provincia Palermo
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 28

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale		
7-8	1818	09	08	09	50		Monti Madonie	24	7-8 5.34
6	1819	02	24	23	20		Monti Madonie	24	7-8 5.37
5	1823	03	05	16	37		Sicilia settentrionale	107	8 5.81
NF	1897	05	15	13	42	3	Tirreno meridionale	85	5 4.52
NF	1898	11	03	05	59		Calatino	48	5-6 4.51
NF	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11 6.95
4	1906	04	22	23	12		Monti Madonie ?	24	5 4.18
NF	1907	01	21	03	41		Tirreno meridionale	32	5 4.14
NF	1910	01	25	08	27		Tirreno meridionale	34	5 4.48
NF	1910	06	08	11	49		Monti Madonie ?	13	4-5 3.90
4	1925	03	08	15	46		Monti Nebrodi	15	6-7 4.57
4	1934	09	11	01	19		Sicilia centro-settentrionale	28	5-6 4.84
6	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10 6.41
5	1976	09	17	01	23	5	Monti Nebrodi	40	5-6 4.55
4	1977	06	05	13	59		Monti Nebrodi	108	6-7 4.61
NF	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304	5.61
NF	1990	12	16	13	50	2	Ionio meridionale	105	4.38
NF	1991	01	07	11	42	5	Monti Madonie	26	4-5 3.79
3	1993	06	26	17	47	5	Monti Madonie ?	47	6-7 4.92
NF	1994	01	05	13	24	1	Tirreno meridionale	148	5.82
4-5	1994	05	06	19	09	4	Sicilia centrale	68	5 4.36
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4 4.03
NF	1995	07	23	18	44	2	Isole Eolie	58	6 4.63
3-4	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5 4.27
4-5	2001	11	25	19	34	1	Monti Madonie	25	4-5 4.69
4-5	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6 5.92
NF	2005	11	03	09	19	0	Costa siciliana settentrionale	61	4-5 3.30
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255	4.56

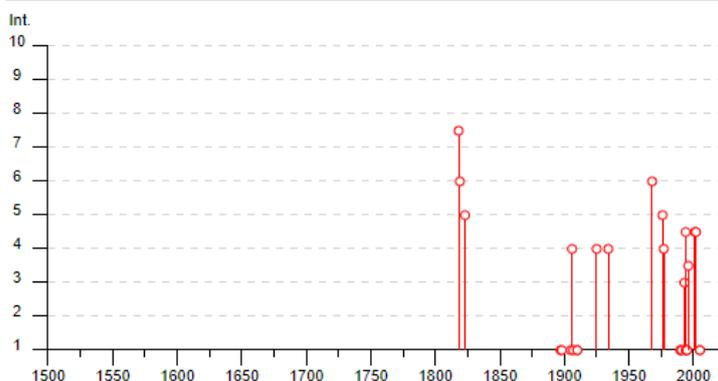


Tabella 34 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Polizzi Generosa (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

Resuttano

PlaceID IT_67639
 Coordinate (lat, lon) 37.679, 14.030
 Comune (ISTAT 2015) Resuttano
 Provincia Caltanissetta
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 12

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1906	04	22	23	12		Monti Madonie ?	24	5	4.18
6-7	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
5	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
3	1977	06	05	13	59		Monti Nebrodi	108	6-7	4.61
3	1993	06	26	17	47	5	Monti Madonie ?	47	6-7	4.92
5	1994	05	06	19	09	4	Sicilia centrale	68	5	4.36
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
3	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5	4.27
4-5	2001	11	25	19	34	1	Monti Madonie	25	4-5	4.69
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	03	09	19	0	Costa siciliana settentrionale	61	4-5	3.30
2-3	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

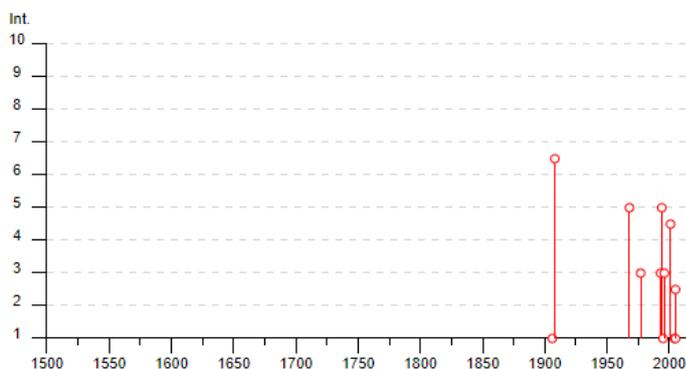


Tabella 35 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Resuttano (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

San Cataldo

PlaceID IT_67642
 Coordinate (lat, lon) 37.485, 13.989
 Comune (ISTAT 2015) San Cataldo
 Provincia Caltanissetta
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 7

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11	6.95
6	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
NF	1912	12	22	08	05		Stretto di Messina	56	5-6	4.68
5	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
3-4	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304		5.61
NF	1990	12	16	13	50	2	Ionio meridionale	105		4.38
4-5	1994	05	06	19	09	4	Sicilia centrale	68	5	4.36

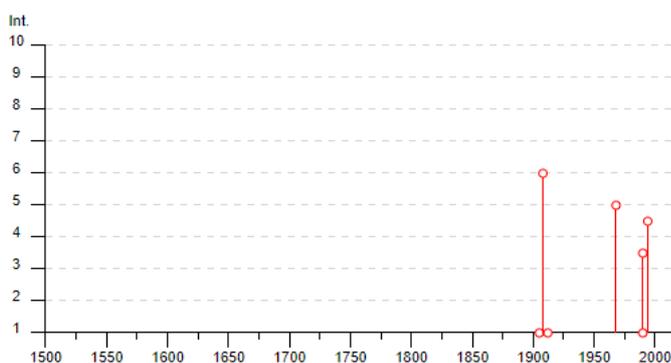


Tabella 36 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di San Cataldo (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

Vallelunga Pratameno

PlaceID IT_67649
 Coordinate (lat, lon) 37.682, 13.831
 Comune (ISTAT 2015) Vallelunga Pratameno
 Provincia Caltanissetta
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 11

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw	
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
NF	1818	09	08	09	50		Monti Madonie	24	7-8	5.34
NF	1819	02	24	23	20		Monti Madonie	24	7-8	5.37
4-5	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
5	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
NF	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304		5.61
NF	1994	01	05	13	24	1	Tirreno meridionale	148		5.82
4-5	1994	05	06	19	09	4	Sicilia centrale	68	5	4.36
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
5	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5	4.27
2	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

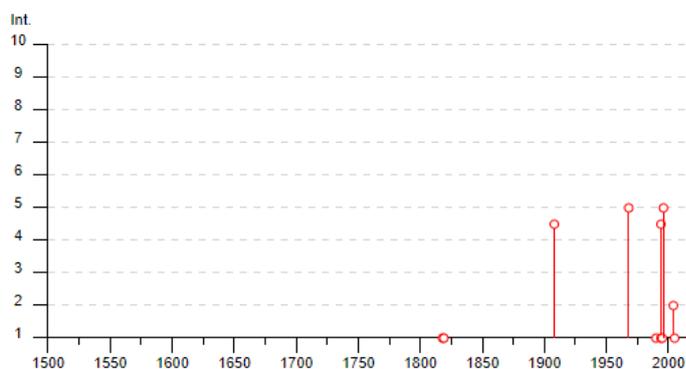


Tabella 38 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Vallelunga Pratameno (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

Villalba

PlaceID IT_67650
 Coordinate (lat, lon) 37.654, 13.843
 Comune (ISTAT 2015) Villalba
 Provincia Caltanissetta
 Regione Sicilia
 Numero di eventi riportati 14

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
NF	1897	05	28	22	40	0	Ionio	132	6	5.46
NF	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11	6.95
NF	1907	01	21	03	41		Tirreno meridionale	32	5	4.14
5	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
3	1927	09	22	19	38	4	Valledolmo	3	4-5	3.93
NF	1940	01	15	13	19	2	Tirreno meridionale	60	7-8	5.29
5	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
3	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304		5.61
NF	1990	12	16	13	50	2	Ionio meridionale	105		4.38
4-5	1994	05	06	19	09	4	Sicilia centrale	68	5	4.36
NF	1995	04	11	12	06	5	Sicilia centrale	43	3-4	4.03
4	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5	4.27
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

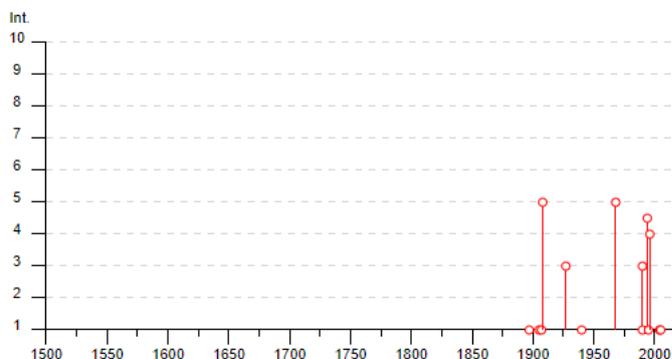


Tabella 39 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Villalba (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: Int. intensità al sito; NMDP: numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io: intensità massima; Mw: magnitudo momento.

11.6.2.2 Eventi sismici strumentali dal 1985 al 2019

A partire da 1985, gli eventi sismici registrati sono gestiti attraverso la banca dati ISIDe (Italian Seismological Instrumental and Parametric Database - versione 1.0) che contiene i dati parametrici di tutti i terremoti localizzati dalla sala di sorveglianza sismica dell'INGV di Roma. Si tratta di centinaia di migliaia di eventi avvenuti tra il 01/01/1985 e la data odierna. Per localizzare i terremoti vengono

utilizzate più di 500 stazioni della Rete Sismica Nazionale gestita dall'INGV e di altre reti gestite da istituzioni ed enti internazionali e regionali. Le localizzazioni di sala vengo riviste da operatori specializzati per produrre il Bollettino Sismico Italiano che contiene solo gli eventi di $M \geq 1.5$.

Dalla banca dati ISIDe sono stati estrapolati i dati degli eventi sismici relativi al periodo 01/01/1985-30/11/2019, situati entro un raggio di 25-35 km circa dal tracciato del Lotto 3, per magnitudo $\geq 0,1$ e originatisi a profondità comprese tra 0 e 1'000 km.

11.6.2.3 Distribuzione degli epicentri e degli ipocentri

Per quanto riguarda la posizione geografica delle aree epicentrali dei terremoti, nei dintorni dell'area di progetto, sono riconoscibili (Tabella 40) quattro grandi macrosettori che corrispondono ad altrettanti comparti geologico-strutturali:

- Il settore dell'Arco Calabro/Stretto di Messina/Tirreno meridionale/Isole Eolie, connesso ad eventi sismici che possono raggiungere intensità massima di 10-11;
- Il settore della Sicilia sudorientale, connesso ad eventi sismici che sono stati registrati nella quasi totalità dei comuni del settore (evento del 1990);
- Il settore della Sicilia settentrionale/Madonie/Nebrodi, connesso ad eventi sismici con intensità massima di 6-7;
- Il settore della Sicilia centro-occidentale/Piana di Catania, connesso ad eventi con intensità massima 10, registrati in modo abbastanza omogeneo in tutta la porzione di territorio analizzata.

Per quanto riguarda gli eventi sismici strumentali individuati dal 1985 al 2019, le loro caratteristiche principali sono presentate in *Figura 48*, dalla quale si può osservare che:

- la maggior parte degli eventi sismici registrati si concentra nei settori a nord e a est del Lotto 3 in progetto;
- i terremoti con magnitudo maggiore sono distribuiti in modo pressoché omogeneo all'interno dell'intera area analizzata;
- la maggior parte degli eventi sismici registrati si è originata a profondità comprese tra 0 e 60 km e in minor numero a profondità comprese tra 60 e 300 km;

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. C	FOGLIO 175 di 257
---	-------------------------	--------------------	----------------------------	---------------------------------	------------------	-----------------------------

- le profondità a cui si sono originati gli eventi sismici non sono distribuite in modo omogeneo nel settore indagato ma si possono individuare dei settori con ipocentri situati in prevalenza a profondità rispettivamente di 0-10 km, 10-20 km e 20-60 km.

Al fine di mettere in evidenza le caratteristiche dei principali eventi sismici verificatisi dal 1985 al 2019, per l'area in esame, i parametri di profondità, magnitudo e profondità/magnitudo sono stati proiettati graficamente (*Figura 49, Figura 50 e Figura 51*). Relativamente all'andamento delle profondità degli eventi sismici, dalla *Figura 51* si può osservare come siano presenti due massimi compresi rispettivamente tra le profondità 2-12 km (circa 200 eventi) e 27-38 km (circa 210 eventi). Sebbene il secondo massimo sia meno pronunciato del primo, entrambe le curve presentano una certa asimmetria, con una diminuzione brusca e repentina di eventi in corrispondenza dei 12 km e dei 39 km. Questa particolarità è da mettersi probabilmente in relazione con le caratteristiche sismotettoniche dell'area.

	Area epicentrale del terremoto																		
	Calabria Centrale	Monti Madonie?	Tirreno meridionale	Stretto di Messina	Stretto di Messina	Sicilia centro-sest.	Tirreno meridionale	Piana di Catania	Sicilia occidentale	Monti Nebrodi	Sicilia sud-orientale	Monti Madonie?	Tirreno meridionale	Sicilia centrale	Monti Madonie	Monti Madonie	Tirreno meridionale	Isole Eolie	Sicilia Centrale
Alia	1905		1907					1959	1968	1977				1995	1996			2004	21/11/2005
Caltanissetta				1908	1912	1934	1940	1959	1968	1977	1990		1994	1995		2001	2002	2004	21/11/2005
Castronuovo di Sicilia			1907						1968				1994	1995	1996			2004	
Lercara	1905		1907	1908			1940		1968	1977				1995			2002		21/11/2005
Marianopoli				1908							1990		1994	1995	1996			2004	21/11/2005
Mussomeli	1905						1940	1959	1968		1990						2002	2004	21/11/2005
Petralia Sottana	1905	1906			1912	1934			1968	1977	1990	1993	1994	1995	1996	2001	2002	2004	21/11/2005
Polizzi Generosa	1905	1906	1907			1934			1968	1977	1990	1993	1994	1995	1996	2001	2002		21/11/2005
Resuttano		1906		1908					1968	1977		1993	1994	1995	1996	2001		2004	21/11/2005
San Cataldo	1905			1908	1912				1968		1990		1994						
Scalafani Bagni		1906							1968		1990	1993	1994	1995	1996	2001	2004		21/11/2005
Vallelunga Pratameno				1908					1968		1990		1994	1995	1996			2004	21/11/2005
Villalba	1905		1907	1908			1940		1968		1990		1994	1995	1996			2004	21/11/2005

Tabella 40 – Tabella schematica delle aree epicentrali dei terremoti in funzione dell'anno di registrazione e del comune di riferimento. I colori fanno riferimento ai principali comparti geologico-strutturali individuati (azzurro: arco calabro; rosa: piattaforma iblea; verde: Monti Nebrodi/Sicilia settentrionale; giallo: Sicilia centro-occidentale/Piana di Catania).

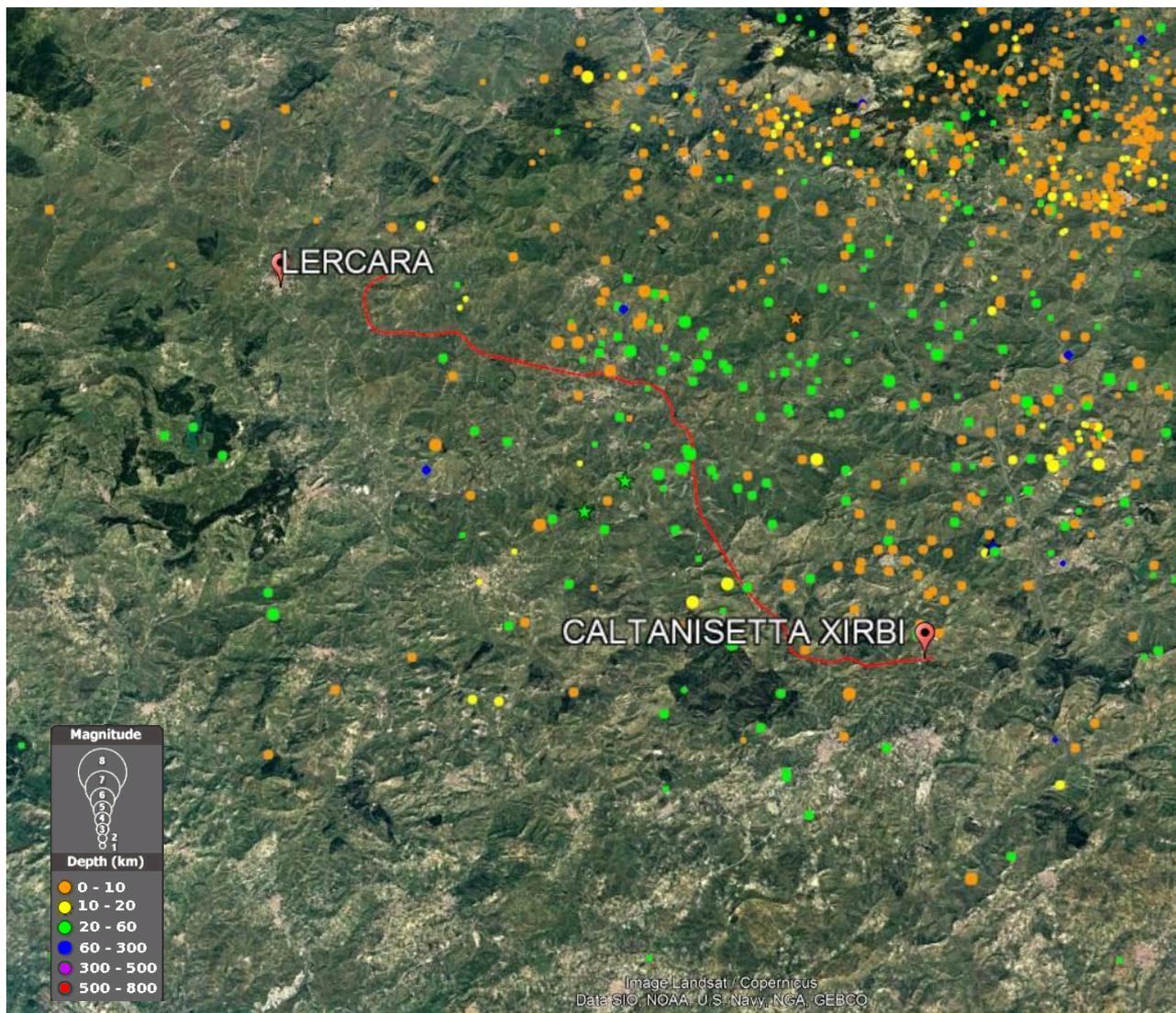


Figura 48 – Distribuzione degli epicentri dei terremoti relativi al periodo 01/01/1985-30/11/2019, situati in un raggio di 25-35 km circa dalla tratta principale del Lotto 3, per magnitudo $\geq 0,1$ e originatisi a profondità comprese tra 0 e 1'000 km, estrapolati dalla banca dati ISIDE. La linea rossa rappresenta la tratta in esame (Lotto 3).

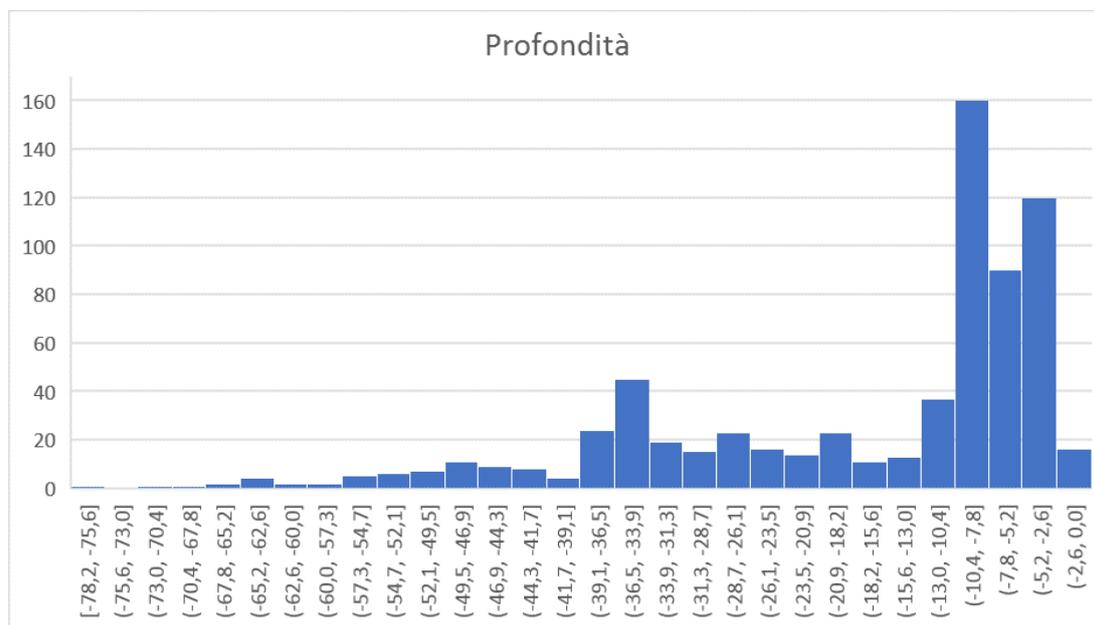


Figura 49 – Grafico della distribuzione della profondità degli ipocentri dei terremoti registrati per il periodo temporale 1985-2019, in corrispondenza dell'area di indagine.

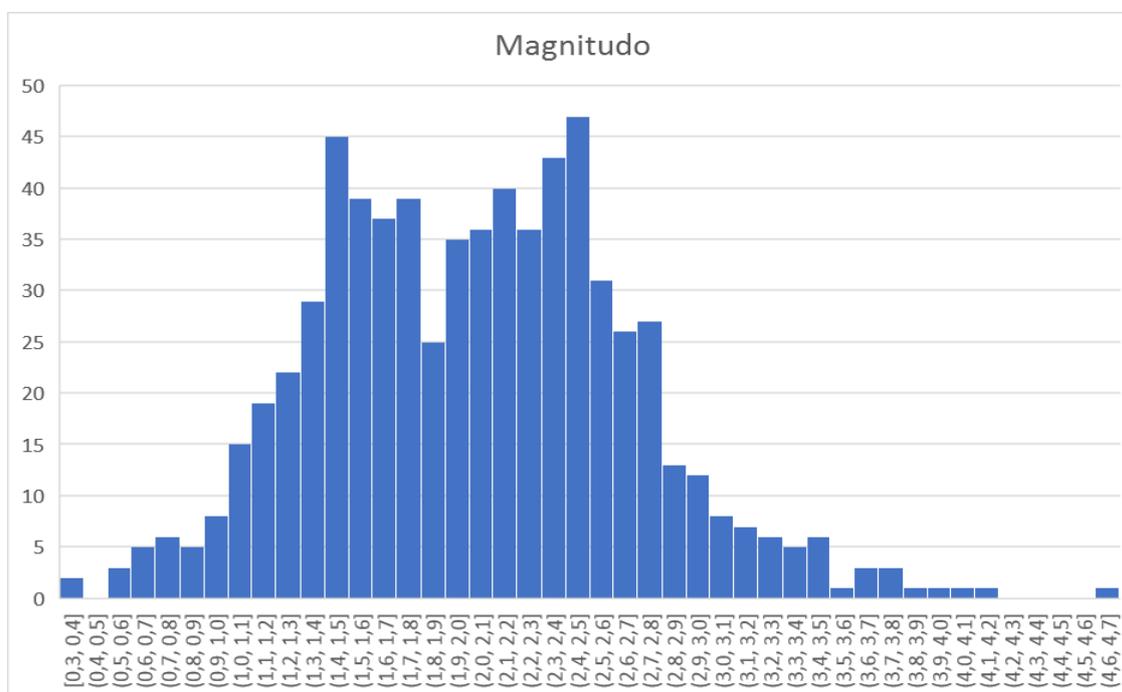


Figura 50 – Distribuzione della magnitudo dei terremoti registrati per il periodo temporale 1985-2019, in corrispondenza dell'area di indagine.

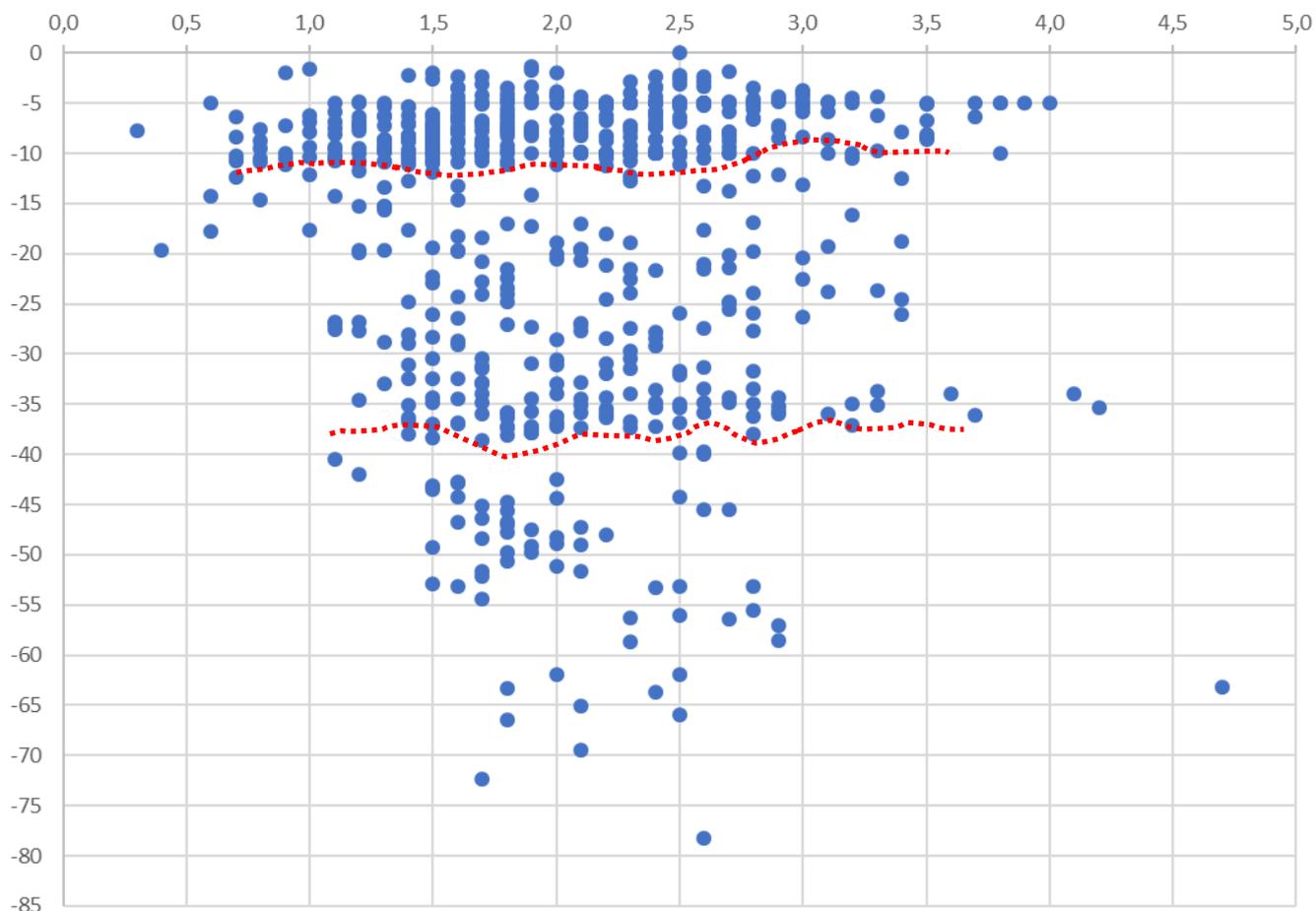


Figura 51 – Relazione magnitudo/profondità dei terremoti strumentali registrati nel periodo 1985-2019, in corrispondenza dell’area di indagine. In rosso sono evidenziate le profondità per le quali si verifica un brusco calo del numero di eventi sismici registrati.

Per quanto riguarda la magnitudo (*Figura 50*), la maggior parte dei valori si concentra nell’intervallo compreso tra 1.1 e 2.8, poco sopra la soglia di percezione e si tratta quindi di eventi sismici di intensità contenuta. Soltanto un limitato numero di eventi presenta valori di magnitudo compresi tra 2.8 e 4.8.

Dal confronto tra i valori di magnitudo e le profondità degli ipocentri dei sismi risulta particolarmente evidente come a determinate profondità (12-14 km e 38-40 km circa) si verifichi una netta riduzione nel numero degli eventi sismici registrati (*Figura 51*). Anche questa evidenza è probabilmente da mettere in relazione con le caratteristiche sismotettoniche dell’area. A tale proposito, al fine di individuare un’eventuale correlazione tra le profondità degli eventi sismici e le strutture tettoniche esistenti (cfr. § 11.2) gli epicentri sono stati categorizzati in base agli intervalli di profondità degli ipocentri, secondo

quanto riportato nei grafici di *Figura 49* e *Figura 50*. In particolare, sono stati individuati tre intervalli di profondità: 0-14 km, 14-40 km e > 40 km.

I risultati del confronto sono riportati in *Figura 52*, dalla quale si possono individuare due aree distinte: il settore delle Madonie, a nord (in verde), caratterizzato da strutture transtensive e da faglie normali, in cui gli ipocentri sono molto concentrati e si sviluppano a profondità comprese tra 0 e 14 km; il settore del bacino di Caltanissetta (in arancione), caratterizzato da strutture tettoniche compressive (sistemi a sovrascorrimenti e pieghe) in cui gli ipocentri, relativamente dispersi, si sviluppano a profondità sensibilmente maggiori, tra 14 e 40 km e talora anche a profondità > 40 km.

Queste evidenze sembrerebbero in accordo con quanto prospettato da Sgroi et al. (2012), secondo cui il Sicilian Basal Thrust (SBT, *Figura 5*) costituirebbe una possibile fonte sismogenetica per il settore del bacino di Caltanissetta, con campi di stress compressivo orientati NNW-SSE, situati al tetto del SBT stesso, lungo piani di sovrascorrimento situati a profondità di 20-35 km circa.

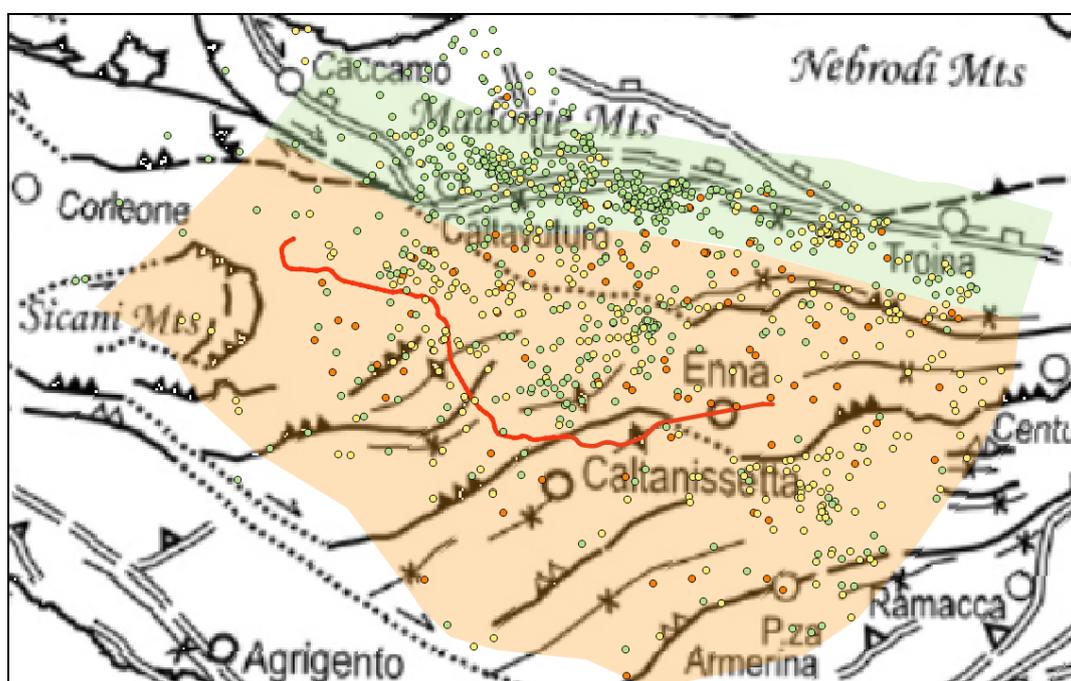


Figura 52 – Stralcio della carta strutturale della Sicilia di *Figura 40*, con indicati gli eventi sismici categorizzati in base alle classi di profondità degli ipocentri (verde: 0-14 km; giallo: 14-40 km; arancione: > 40 km). In trasparenza, in verde il settore delle Madonie e in arancione il bacino di Caltanissetta. In rosso il tracciato dell'opera (lotti 3 e 4a).

12 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO E POTENZIALI CRITICITÀ

In questo capitolo è sintetizzato il modello geologico di riferimento del tracciato di progetto, in relazione a quanto riportato nel profilo geologico generale in scala 1:5'000 allegato, seguendo una suddivisione per tratte omogenee, cioè caratterizzate da condizioni geologiche omogenee.

Le progressive chilometriche indicate nel testo fanno riferimento alla quota di progetto (“piano del ferro”).

12.1 Tratta all’aperto, pk 0+000 ÷ 1+495 circa

La tratta corrisponde alla parte iniziale del tracciato in questione, con inizio in corrispondenza della stazione di Lercara; il tracciato corre sulla piana alluvionale di fondovalle del Fiume Torto, con piano del ferro tra 414 m ca. (stazione di Lercara) e 430 m ca.

12.1.1 Sondaggi

I sondaggi di riferimento utilizzati per la ricostruzione geologica sono: 3a-S01, 3a-S02, 3a-S03 e 3a-SI02.

12.1.2 Assetto geologico

Il tracciato si sviluppa sulla piana alluvionale di fondovalle e interessa i depositi alluvionali recenti e attuali del Fiume Torto, caratterizzati da uno spessore minimo di 8.5 m e massimo di 13.5 m.

Si tratta di limi sabbiosi con lenti decimetrico-metriche di sabbie e ghiaie limose; nella parte con depositi alluvionali più potenti è presente uno strato basale di ghiaie sabbioso-limose, probabilmente riferibili a un paleoalveo sepolto, che si rinvergono a partire da 7 m ca. dal p.c.

I depositi alluvionali sono coperti da uno stato discontinuo di terreno agrario, suolo e terreno rimaneggiato di spessore compreso tra 0.5 e 1.5 m.

Il substrato prequaternario è rappresentato dai terreni prevalentemente sabbiosi del membro arenaceo della formazione Terravecchia (TRVa).

12.1.3 Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità per le opere in

progetto. La dinamica del F. Torto nel tratto in esame risulta una dinamica di bassa energia e non risultano fenomeni di erosione spondale attiva o di tendenza all'esonazione particolarmente intensi, anche se sono presenti alcune tracce di deviazione dell'alveo riferibili a eventi di piena eccezionale. In corrispondenza della linea storica, circa all'altezza della pk di progetto 0+750, il rilevato ferroviario già esistente delimita la sezione di deflusso pur senza restringerla significativamente rispetto all'alveo ordinario. L'attraversamento del corso d'acqua da parte della linea in progetto va comunque verificato accuratamente dal punto di vista idraulico.

12.1.4 Assetto idrogeologico

Non si evidenziano criticità idrogeologiche particolari nella tratta in esame. In base ai dati disponibili l'acquifero alluvionale ospita una falda freatica dall'andamento regolare, con soggiacenza compresa tra 2 e 3 m dal piano campagna (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza).

12.1.5 Criticità principali

Nessuna criticità di rilievo.

12.2 Tratta all'aperto, pk 1+495 ÷ 2+510 circa

In questo tratto il tracciato si sposta dalla piana alluvionale di fondovalle per andare a lambire il piede del versante sinistro orografico; il piano del ferro prosegue in leggera salita, tra 430 e 435 m ca.

12.2.1 Sondaggi

I sondaggi di riferimento utilizzati per la ricostruzione geologica sono: 3a-S05, 3a-S06, 3a-SI03 e 3a-S07.

12.2.2 Assetto geologico

Il tracciato si sviluppa sopra e attraverso i litotipi del membro arenaceo della formazione Terravecchia (TRVa), comprendenti sabbie da addensate a molto addensate con rari livelli metrici di arenarie cementate e più frequenti livelli lenticolari di ghiaie addensate e conglomerati debolmente cementati, in generale con una giacitura degli strati immergente di 15-25° verso WNW. I sondaggi realizzati mettono comunque in luce la frequente presenza di facies limoso-argillose intercalate alle facies arenacee e

talora prevalenti, a testimonianza di una certa eterogeneità litologica della formazione, indice di un ambiente di sedimentazione a dinamica variabile.

Il substrato prequaternario è coperto da una coltre eluvio-colluviale in posto di spessore mediamente variabile tra 0,5 e 2 m.

12.2.3 Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità per le opere in progetto.

12.2.4 Assetto idrogeologico

Il substrato prequaternario attraversato fa parte del complesso idrogeologico CSL con permeabilità medio-bassa, compresa nell'intervallo 1E-05 / 5E-07 m/s, ma con frequenti spostamenti verso valori di permeabilità inferiori, in relazione alla presenza di facies limoso-argillose non trascurabili.

I dati piezometrici disponibili indicano la presenza di una falda freatica con soggiacenza intorno a 5 m dal p.c. e andamento che approssimativamente segue le irregolarità topografiche (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza).

12.2.5 Criticità principali

Nessuna criticità di rilievo.

12.3 Tratta all'aperto, pk 2+510 ÷ 8+011 circa

La tratta si sviluppa lungo la piana alluvionale del Fiume Torto, in sinistra idrografica, con quota del piano del ferro in leggera salita da 435 a 486.5 m.

12.3.1 Sondaggi

I sondaggi di riferimento utilizzati per la ricostruzione geologica sono (in ordine di pk crescenti): 3a-S08, 3a-S09 e S1 (anno 2013), 3a-S10, 3a-S10bis, 3a-S11, 3a-S12, 3a-S13, 3a-S14, 3a-S15, 3a-V06, 3a-V04, S2 (anno 2013), 3a-S17, 3a-S18, 3a-S19, S3 (anno 2013) e 3a-S21.

12.3.2 Assetto geologico

Il tracciato si sviluppa sulla piana alluvionale di fondovalle e interessa i depositi alluvionali recenti e attuali del Fiume Torto, caratterizzati da uno spessore minimo di 6 m ca. e massimo di 11 m ca.

Si tratta di limi sabbiosi con lenti decimetrico-metriche di sabbie e ghiaie limose; nella parte con depositi alluvionali più potenti (sondaggi 3a-S11, 3a-S12, 3a-S14), è presente uno strato basale di ghiaie sabbioso-limose, che si rinvencono a partire da 5-7 m ca. dal p.c.

I depositi alluvionali sono coperti da uno strato discontinuo di terreno agrario, suolo e terreno rimaneggiato di spessore compreso tra 0.5 e 1.5 m.

Il substrato prequaternario passa tra le pk 3+200 e 3+300 dai litotipi prevalentemente sabbiosi (ma con componente limosa e/o argillosa a tratti non trascurabile) del membro arenaceo della formazione Terravecchia (TRVa) ai litotipi argilloso-marnosi del membro pelitico della medesima unità (TRV).

Intorno alla pk 7+750 è previsto nuovamente il passaggio ai litotipi arenacei dell'unità TRVa.

12.3.3 Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità per le opere in progetto per quanto riguarda la dinamica dei versanti.

Dal punto di vista della dinamica fluviale, si evidenziano le tracce di alvei temporaneamente abbandonati del F. Torto, con direttrici di deflusso che si avvicinano al tracciato in progetto intorno alle pk 4+650 e tra le pk 5+500 e 6+000, mantenendosi però dalla parte opposta del rilevato della linea ferroviaria esistente.

12.3.4 Assetto idrogeologico

Non si evidenziano criticità idrogeologiche particolari nella tratta in esame. In base ai dati disponibili l'acquifero alluvionale (complesso idrogeologico CSL) ospita una falda freatica dall'andamento abbastanza irregolare, probabilmente condizionato da una compartimentazione sia verticale sia orizzontale legata alla presenza di strati lenticolari a dominante componente limoso-argillosa a un estremo, e ghiaioso-sabbiosa all'altro *end member*. La soggiacenza misurata nei diversi piezometri disponibili varia tra 2 e 6 m ca. dal piano campagna (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni

sull'affidabilità del dato di soggiacenza).

12.3.5 Criticità principali

Nessuna criticità di rilievo.

12.4 GN01 - Imbocco ovest

La tratta corrisponde a una galleria artificiale mediante la quale si realizza l'imbocco della galleria naturale Santa Catena, descritta nella tratta successiva.

La quota del p.f. raggiunge un punto alto a circa 486.3 m per poi iniziare a scendere.

12.4.1 Sondaggi

L'assetto geologico dell'imbocco è descritto dal sondaggio 3a-GN1-S01 e dal sondaggio 3a-SI04 realizzato più a sud per la viabilità NV06b.

12.4.2 Assetto geologico

La galleria artificiale è impostata nei litotipi prevalentemente sabbiosi del membro arenaceo della formazione Terravecchia (TRVa). I sondaggi mettono comunque in rilievo la presenza di facies sabbioso-limose, fino a limoso-argillose, in proporzioni e per spessori talora non trascurabili, indice di un'eterogeneità litologica che riflette una certa variabilità nella dinamica dell'ambiente di deposizione. È presente uno strato di coltre eluvio-colluviale di spessore compreso tra 1.5 e 3 m.

12.4.3 Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità nell'area interessata dall'imbocco per quanto riguarda la dinamica del versante, interessato in questa zona da lenti processi di soliflusso a carico della coltre superficiale. Nel tratto di versante più a sud, a circa 100 m di distanza dall'imbocco, si osservano fenomeni franosi per movimento complesso, impostatisi sulla coltre detritico-colluviale e sulla parte alterata del substrato (livelli sabbiosi della Formazione di Terravecchia). Di tali dissesti, che non interferiscono con l'opera principale, si deve tener conto nella progettazione della viabilità di accesso al cantiere.

12.4.4 Assetto idrogeologico

L'imbocco è impostato nei litotipi del complesso idrogeologico CCA, con intervallo di permeabilità media compreso tra 1E-05 e 1E-07 m/s. I dati piezometrici dei due sondaggi 3a-GN1-S01 e 3a-S21 collocano la superficie della falda libera a circa 3-3.8 m dal p.c. (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza).

È prevedibile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si formi un livello saturo all'interfaccia coltre/substrato, anche se l'infiltrazione nel substrato prevalentemente sabbioso e quindi a permeabilità relativamente alta tende a mitigare questo effetto.

12.4.5 Criticità principali

Nessuna criticità di rilievo.

12.5 GN01 - Galleria naturale Santa Catena

La galleria GN01 Santa Catena attraversa un rilievo con copertura topografica massima di circa 200 m. Il p.f. scende da 486 m ca. (lato Palermo) fino a 457.5 m in corrispondenza dell'imbocco lato Catania.

12.5.1 Sondaggi

L'assetto geologico della galleria è descritto dai sondaggi 3a-GN1-S01 (imbocco lato Palermo), 3a-SI04, 3a-GN1-S04, 3a-GN1-S05, 3a-GN1-S06, 3a-F01, 3S1 (anno 2018), 3a-F02, 3a-GN1-S07, 3S2 (anno 2018) e 3a-GN1-S08 (imbocco lato Catania).

12.5.2 Assetto geologico

La galleria si sviluppa all'interno della formazione di Terravecchia, attraversando il membro arenaceo dall'imbocco lato Palermo fino approssimativamente alla pk 14+740, quindi il membro pelitico fino all'imbocco lato Catania. La posizione esatta del limite, che si ritiene stratigrafico, è stimata con un margine di indeterminazione dell'ordine di 100 m almeno; essa si colloca comunque tra i sondaggi 3S1 a W e 3a-F02 / 3a-GN1-S07 a E. In prossimità del limite e quindi nella zona dell'imbocco, l'unità TRV presenta un carattere sabbioso, più che francamente argilloso-limoso.

Non sono presenti elementi strutturali di rilievo tali da condizionare negativamente le caratteristiche dei

terreni attraversati. La stratificazione si dispone in media con un'inclinazione di 15-30° verso NW, ma con ondulazioni a scala decametrica o ettometrica che potrebbero farne variare l'orientazione anche in maniera significativa, rispetto alla direzione di scavo.

All'interno del membro arenaceo sarà possibile incontrare intercalazioni (strati lenticolari) di arenarie cementate dello spessore massimo di 1-2 m e/o strati di conglomerati debolmente cementati a matrice sabbiosa, con ciottoli arrotondati di diametro massimo fino a 10-15 cm, dello spessore di 3-5 m. In relazione alla giacitura della stratificazione, questi livelli potrebbero essere seguiti lungo scavo per lunghezze dell'ordine anche di alcune decine di metri.

12.5.3 Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità per la galleria in progetto, che per la profondità alla quale si sviluppa non è interessata dagli effetti di eventuali dissesti superficiali. Al tempo stesso, si escludono lungo la tratta in esame fenomeni di dissesto estesi in profondità.

12.5.4 Assetto idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico la galleria GN01 attraversa due complessi a permeabilità differente: il complesso CCA (intervallo di riferimento tra 1E-05 e 1E-07 m/s) e il complesso CAM (intervallo di riferimento tra 1E-07 e 1E-09 m/s).

I sondaggi disponibili indicano la presenza di un carico idraulico che segue approssimativamente l'andamento della topografia, con valori massimi stimabili intorno a 100 m tra le pk 10+000 e 11+500 e tra le pk 12+750 e 13+500. Da segnalare il fatto che i carichi maggiori si hanno all'interno del complesso più permeabile.

12.5.5 Criticità principali

Possibile carico idraulico elevato tra le pk 10+000 e 11+500 e tra le pk 12+750 e 13+500.

Possibile presenza di gas all'interno della formazione di Terravecchia.

Possibili deformazioni dell'ammasso in terreni a dominante componente argillosa sotto elevate coperture.

12.6 GN01 - Imbocco est

Il tratto corrisponde a una galleria artificiale, che costituisce l'imbocco lato Catania della GN01 e immette su un successivo tratto in trincea.

12.6.1 Sondaggi

L'assetto geologico dell'imbocco è descritto dal sondaggio 3a-GN1-S08.

12.6.2 Assetto geologico

La galleria artificiale è impostata nei litotipi argilloso-marnosi dell'unità TRV, che lungo il versante risultano ricoperti da una coltre eluvio-colluviale di spessore variabile tra 1 e 4 m ca.

12.6.3 Assetto geomorfologico

Non sono presenti dissesti in corrispondenza dell'imbocco, che non risulta interessato da criticità di tipo geomorfologico.

12.6.4 Assetto idrogeologico

L'imbocco è interamente impostato nel complesso idrogeologico CAM a bassa permeabilità ($1E-09 < k < 1E-07$ m/s). Il sondaggio 3a-GN1-S08 indica un carico idraulico collocato al di sotto di 15 m dal p.c. a monte dell'imbocco, con possibilità di interferenza con lo scavo soprattutto nella parte terminale, all'innesto con la galleria naturale (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza).

Lo strato superficiale argilloso-limoso riferibile alla coltre eluvio-colluviale (complesso CAL) suscettibile di essere saturato, in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate, lungo l'interfaccia coltre/substrato, in relazione alla minore permeabilità relativa del substrato rispetto ai terreni sciolti della coltre.

12.6.5 Criticità principali

Nessuna criticità di rilievo.

12.7 Tratta all'aperto, pk 15+866 ÷ 28+086 circa

La tratta si sviluppa lungo il fondovalle alluvionale del Torrente Belici e comprende la nuova stazione di Vallelunga. Il piano del ferro corre in leggera discesa tra le quote di 457 m ca. (imbocco GN01 lato Palermo) e 353 m ca. (imbocco GN02 lato Catania).

12.7.1 Sondaggi

La tratta è stata investigata dai sondaggi dal 3a-S22 al 3a-S51 (in ordine di progressiva crescente) e inoltre dai sondaggi 3a-V07, 3a-V09, 3a-V10, 3a-V13, 3a-SI05; sono inoltre state esaminate le stratigrafie dei sondaggi 3S14, 3S3 e 3S4 (anno 2018), e S4 (anno 2013).

12.7.2 Assetto geologico

Il tracciato si sviluppa interamente sul fondovalle alluvionale, attraversando solo un basso rilievo collinare tra le pk 23+200 e 23+300 ca.

I depositi alluvionali del T. Bellichi hanno in questo settore uno spessore medio che si aggira intorno ai 10-12 m, con valori massimi intorno a 17 m ca. (sondaggi 3a-S36 e 3a-S48). Sono contraddistinti dalla presenza di strati metrici o plurimetrici a dominante componente ghiaioso-sabbiosa, a geometria lenticolare o tabulare, alternati a depositi a dominante componente limoso-sabbioso-argillosa. In generale la frazione più grossolana occupa la parte basale della sequenza di depositi alluvionali, a diretto contatto con il substrato, anche se non mancano livelli ghiaioso-sabbiosi posti a livelli stratigrafici più alti.

Il substrato prequaternario è riferibile alla formazione di Terravecchia, con i termini argillosi (TRV) prevalenti da inizio tratta alla pk 21+800, i termini del membro sabbioso-conglomeratico (TRVa) tra le pk 21+800 e 23+860 e nuovamente i litotipi membro argilloso-marnoso (TRV) tra la pk 23+860 e fine tratta. Non si è riscontrata alcuna evidenza di zone di faglia in affioramento, anche se una faglia ipotetica ("F1" nella carta geologica allegata) è stata posizionata intorno alla pk 21+300, per coerenza con il Progetto Preliminare. Nonostante ciò si ritiene che i contatti interni alla formazione siano di tipo stratigrafico.

La giacitura della successione stratigrafica non è sempre ben determinabile, specialmente all'interno

della formazione pelitico-marnosa (TRV); le bancate di sabbie addensate che risaltano all'interno del membro arenaceo-conglomeratico (TRVa) hanno una giacitura da suborizzontale a moderatamente immergente (20-25° ca.) tra W e NW.

12.7.3 Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato si mantiene generalmente a una certa distanza dal piede dei versanti collinari e non è interessato da dissesti di alcun tipo. I versanti stessi, in questa zona, sono caratterizzati da una morfologia piuttosto attenuata e dalla prevalenza di processi di soliflusso a carico della coltre eluvio-colluviale che non determinano condizioni di rischio geomorfologico particolarmente elevate.

Intorno alla pk 22+050-22+175 il tracciato lambisce un accumulo di materiale eluvio-colluviale dello spessore di alcuni metri (sondaggio 3a-S36) derivante dal progressivo apporto di materiale proveniente da un'area classificata "a franosità diffusa" situata tra 20 e 50 m ca. a monte. Tale zona corrisponde a una bancata di sabbie addensate più compatte dei sedimenti circostanti, che quindi emergono dal pendio a formare una scarpata dai contorni comunque molto attenuati, maggiormente soggetta all'erosione superficiale. Non sono ipotizzabili condizioni di rischio significative in corrispondenza di questa scarpata.

Alla pk 28+000 ca. il tracciato lambisce marginalmente il piede di un fenomeno di colamento lento attivo di cui si ha evidenza sul versante a NE della linea ferroviaria. Il fenomeno interessa uno strato di coltre eluvio-colluviale di spessore dell'ordine di 2-3 m (cfr. scheda dissesti n. 36).

Per quanto riguarda la dinamica fluviale, si rileva la presenza lungo il fondovalle di diverse direttrici di deflusso del T. Belici temporaneamente abbandonate e potenzialmente riattivabili in concomitanza con eventi di piena, in particolare tra le pk 21+400 e 21+800 e alla pk 27+300.

12.7.4 Assetto idrogeologico

Non si evidenziano criticità idrogeologiche particolari nella tratta in esame. In base ai dati disponibili l'acquifero alluvionale (complesso idrogeologico CSL) ospita una falda freatica con soggiacenza media compresa tra 3 e 6 m dal p.c. (valori più frequenti) dall'andamento abbastanza irregolare, probabilmente condizionato da una compartimentazione sia verticale sia orizzontale legata alla

presenza di strati lenticolari a dominante componente limoso-argillosa a un estremo, e ghiaioso-sabbiosa all'altro *end member*. La soggiacenza misurata nei diversi piezometri disponibili varia tra 2 e 6 m ca. dal piano campagna (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza).

12.7.5 Criticità principali

Presenza di un fenomeno di colamento lento attivo che lambisce appena il tracciato intorno alla pk 28+000 ca. Criticità marginale.

12.8 GN02 - Imbocco ovest

Il tratto corrisponde a una galleria artificiale, che costituisce l'imbocco della galleria naturale GN02, lato Palermo.

12.8.1 Sondaggi

L'area è stata investigata dai sondaggi a carotaggio continuo 3a-S52bis e 3a-GN2-S01.

12.8.2 Assetto geologico

La galleria verrà realizzata nei litotipi argilloso-marnosi del membro TRV della formazione di Terravecchia, in assenza di criticità geologiche di particolare rilievo. Il substrato in posto è coperto da una coltre eluvio-colluviale a dominante granulometria fine (limoso-argillosa) di spessore variabile tra 1.5 e 4 m.

12.8.3 Assetto geomorfologico

In corrispondenza dell'imbocco non si rilevano criticità geomorfologiche di rilievo.

12.8.4 Assetto idrogeologico

L'imbocco è interamente impostato nel complesso idrogeologico CAM a bassa permeabilità ($1E-09 < k < 1E-07$ m/s). Il sondaggio 3a-GN1-S08 indica un carico idraulico collocato al di sotto di 15 m dal p.c. a monte dell'imbocco, con possibilità di interferenza con lo scavo soprattutto nella parte terminale, all'innesto con la galleria naturale (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del

dato di soggiacenza).

Lo strato superficiale argilloso-limoso riferibile alla coltre eluvio-colluviale (complesso CAL) suscettibile di essere saturato, in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate, lungo l'interfaccia coltre/substrato, in relazione alla minore permeabilità relativa del substrato rispetto ai terreni sciolti della coltre.

12.8.5 Criticità principali

Nessuna criticità di rilievo.

12.9 GN02 - Galleria naturale Nuova Marianopoli

La galleria Nuova Marianopoli attraversa il principale rilievo dell'area, raggiungendo una copertura topografica di circa 500 m intorno alla pk 31+400. La quota del piano del ferro scende da circa 353 m (imbocco lato Palermo) a circa 343 m (imbocco lato Catania).

12.9.1 Sondaggi

La galleria GN02 è stata indagata attraverso i sondaggi della serie 3a-GN2-S01÷S08 e dai sondaggi 3S5 e 3S6 del 2018.

12.9.2 Assetto geologico

Le formazioni attraversate dalla galleria sono, da ovest a est:

- formazione Terravecchia, membro pelitico-marnoso (TRV), pk 28+126 - 32+195
- formazione del Tripoli (TPL), pk 32+195 - 32+620
- formazione di Cattolica, membro del Calcare di Base (GTL1), pk 32+620 - 34+280
- formazione di Cattolica, membro selenitico (GTL2), pk 34+280 - 34+570
- formazione di Cattolica, membro salino (GTL3), pk 34+570 - 34+662

A partire dall'imbocco lato Palermo i terreni intercettati sono di natura essenzialmente argilloso marnosa, riferibili al membro argilloso-marnoso della formazione di Terravecchia (TRV). Sulla base dei dati di terreno è possibile che la galleria intercetti una zona di faglia ad alto angolo (faglia F4, cfr. profilo geologico allegato) intorno alla pk 31+520; la posizione esatta della struttura non è determinabile con

precisione per cui si stima un margine di incertezza almeno dell'ordine di ± 100 m. La faglia è a quota galleria interamente compresa nell'unità TRV e non si ritiene che possa comportare cambiamenti litologici.

Si ritiene probabile che anche il passaggio alle formazioni del Tripoli e quindi del Calcarea di Base avvenga attraverso zone di faglia (F5, F6 e F7, cfr. profilo geologico allegato) che tenderebbero a ribassare la sequenza stratigrafica verso est. La principale di queste faglie (F5) corre lungo la strada che sale verso Marianopoli da est, dove (pur non affiorando mai chiaramente) costituisce un limite abbastanza netto all'affioramento in superficie del Calcarea di Base.

Le marne e marne calcaree più o meno bituminose riferibili al Tripoli sono state attraversate dal sondaggio 3a-GN2-S04, per una lunghezza di almeno 95 m (cioè almeno fino a fondo foro), il che rappresenta un dato un po' anomalo poiché lo spessore massimo riportato in letteratura per questa formazione è dell'ordine dei 40 m (cfr. § 5.2).

Il membro del Calcarea di Base è rappresentato da calcari e calcari marnosi, caratterizzati da un diffuso microcarsismo, associati a facies brecciate (autoclastiche), con interstratificazioni più o meno sottili di marne calcaree e calcareniti e talora con tracce più o meno evidenti di idrocarburi. Si tratta comunque di una formazione litologicamente piuttosto eterogenea.

Il successivo passaggio (stratigrafico?) ai membri selenitico e successivamente salino della formazione di Cattolica determina la transizione da un ammasso francamente litoide a un ammasso stratigraficamente molto eterogeneo, caratterizzato da dominanti facies argilloso-marnose e da subordinate breccie argillose a clasti litoidi (calcarea, gesso) con intercalazioni marnose, gessarenitiche, gessose e, verso est, saline.

La successione stratigrafica attraversata dalla galleria è caratterizzata da una generale giacitura monoclinale, immergente tra 20 e 35-40° verso SE (il versante montuoso opposto a quello su cui sorge l'abitato di Marianopoli è impostato lungo la superficie di strato che costituisce verosimilmente il limite superiore del calcarea di base). Sono presenti però a scala locale numerose deformazioni legate sia a piegamenti a scala decametrico-ettometrica, sia alla presenza di zone di faglia. I primi, legati probabilmente alla messa in posto delle unità tettoniche della catena, determinano variazioni anche significative dell'assetto giaciturale generale; le seconde determinano la dislocazione dei contatti tra le

unità litologiche. È quindi probabile che anche a quota galleria l'assetto strutturale generale sia molto più complicato di quanto sia possibile ricostruire in base ai sondaggi e ai dati di superficie.

Il sistema di faglie più importante controlla la geometria del Calcere di Base e i suoi rapporti geometrici con i litotipi del membro Selenitico tra le pk 31+400 e 34+000: una prima struttura (F4; cfr. profilo geologico allegato) interseca l'asse del tracciato tra le pk 31+400 e 31+500. La faglia corrisponde a un canalone dal bordo rettilineo che incide la dorsale di Marianopoli con direzione N-S e immersione ad alto angolo verso W.

Altre strutture, ipotizzate tra le pk 32+200 e 32+800 ca. (F5, F6, F7), determinano un generale abbassamento della successione litostratigrafica verso SE. In particolare, sul versante meridionale del monte di Marianopoli la struttura F4 sopra descritta incontra e probabilmente disloca una seconda zona di faglia (F5), una delle poche di cui si osservino le tracce in affioramento lungo la strada provinciale 42 di Marianopoli (cfr. § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Un'ulteriore struttura (faglia F11) è stata ipotizzata sulla base di considerazioni idrogeologiche (cfr. paragrafo successivo) e tracciata in base ad alcuni lineamenti morfologici (valli, scarpate lungo il versante, ecc.). Questa faglia, che si suppone subparallela al tracciato di linea, potrebbe dislocare significativamente il Calcere di Base, ribassando il blocco a nord. La struttura non è direttamente visibile in affioramento. Se effettivamente presente, come ipotizzato in base a considerazioni di natura puramente idrogeologica, questa struttura potrebbe essere intercettata a livello galleria; non è però possibile allo stato attuale, definire con precisione il suo andamento in profondità e quindi determinare i suoi rapporti geometrici con le opere in progetto.

12.9.3 Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità per la galleria in progetto, che per la profondità alla quale si sviluppa non è interessata dagli effetti di eventuali dissesti superficiali. Al tempo stesso, si escludono lungo la tratta in esame fenomeni di dissesto estesi in profondità.

12.9.4 Assetto idrogeologico

La galleria in esame attraversa i seguenti complessi idrogeologici delle unità del substrato:

- CAM (k variabile tra 1E-07 e 1E-09 m/s): formazione di Terravecchia;
- CCM (k variabile tra 1E-04 e 1E-06 m/s, con componente non trascurabile legata al carsismo): formazioni del Tripoli e di Cattolica (Calcere di Base);
- CGM (k variabile tra 1E-08 e 1E-07 m/s, con possibile componente legata al carsismo): formazione di Cattolica, membro selenitico e membro salino.

All'interno del complesso CAM possibili variazioni della permeabilità verso valori più elevati si possono verificare in corrispondenza di facies a componente limoso-sabbiosa non trascurabile, la cui presenza è in genere sempre possibile; tuttavia la permeabilità perlopiù bassa del complesso nel suo insieme riduce la possibilità che gli orizzonti a permeabilità relativamente più elevata possano costituire degli acquiferi significativi.

A livello di rischi potenziali di natura idrogeologica, è già stato fatto cenno sia all'aggressività chimica di parte delle acque intercettate in galleria, sia alla possibile presenza di circuiti idrici sotterranei associati al microcarsismo sviluppato nei litotipi carbonatici.

L'aggressività delle acque è confermata da test eseguiti su campioni di acqua prelevati dai sondaggi 3a-GN2-S07 e 3a-GN2-S08, che attestano la presenza di un "ambiente chimico altamente aggressivo" come definito dalla norma UNI 206:2016 (certificati Sidercem CCC C/AMB-CL n. 003087 e 003088 del 25/11/19).

Per quanto riguarda il flusso idrico sotterraneo, evidenze di microcarsismo sono state osservate sia in affioramento sia in sondaggio, all'interno del Calcere di Base. Tuttavia, le problematiche legate sia al carsismo sia all'eventuale presenza di carichi idraulici elevati non possono non essere considerate in relazione alla presenza di elementi di forte condizionamento del regime idrogeologico locale, rappresentati da un lato dalla galleria ferroviaria storica di Marianopoli, lungo cui corre la linea attuale e che si sviluppa secondo un tracciato quasi esattamente parallelo a quello di progetto e a un interasse di circa 50-70 m, che all'estremità est aumentano fino a circa 200 m, e dall'altro dalla possibile presenza di una faglia subparallela al tracciato che potrebbe costituire un limite di permeabilità verso sud.

Come già discusso nel paragrafo 9.7.2, si ipotizza che l'effetto di drenaggio operato dalla Galleria Marianopoli esistente sia significativo solo per i primi 4 km circa dall'imbocco lato Palermo della nuova galleria in progetto. Nella restante parte di galleria si ipotizza, al contrario, la presenza di una falda che

genera un carico a quota tunnel variabile tra 20 e 100 m circa. Inoltre, localmente la falda potrebbe essere in pressione, pertanto il carico reale potrebbe essere sensibilmente più alto, fino a circa 200 m.

12.9.5 Criticità principali

Al di là della probabile eterogeneità a livello strutturale (e quindi di rapporti geometrici tra le unità), la tratta collocata tra il contatto con le argille marnose dell'unità TRV e l'imbocco lato Catania è caratterizzata da potenziali rischi geologici di diversa natura, in particolare:

- fenomeni di deformazione del cavo all'interno dei litotipi argilloso-marnosi nelle zone a copertura topografica più elevata.
- Possibile presenza di manifestazioni gassose in galleria (da sottolineare la chiara presenza di idrocarburi nelle marne del Tripoli e nel Calcare di Base: spalmature di bitume e forte odore di idrocarburi nelle carote di sondaggio).
- Possibili fenomeni di microcarsismo tali da indurre la presenza di cavità localizzate, potenzialmente associate a venute d'acqua concentrate.
- Eterogeneità litologica e geomeccanica dell'ammasso, con tipi di risposta allo scavo molto diversi da zona a zona.
- Potenziale presenza di acque chimicamente aggressive per il calcestruzzo (solfuri, cloruri), in corrispondenza dei litotipi gessosi; questo rischio è da considerare esteso all'intero sviluppo della formazione di Cattolica.
- Fenomeni di dissoluzione a breve e brevissimo termine all'interno degli orizzonti di salgemma intercettati dallo scavo; strati da metrici a plurimetrici di salgemma e sali di K-Mg sono stati incontrati a più livelli dai sondaggi 3a-GN2-S07 e 3S6 (2018), oltre che dai sondaggi 3a-S54 e 3a-S55 realizzati a est dell'imbocco lato Catania della galleria. La presenza di salgemma in sottosuolo è quindi confermata.
- Fenomeni di dissoluzione a medio-lungo termine sia negli orizzonti salini sia nei livelli gessosi e gessarenitici non direttamente intaccati dallo scavo della galleria.
- Subsidenze superficiali in corrispondenza di orizzonti gessosi e salini soggetti a dissoluzione accelerata.

- In bibliografia si rinvencono cenni relativi alla presenza di anidriti, localmente associate ai gessi della formazione di Cattolica. Non si hanno conferme in tal senso dai sondaggi eseguiti lungo l'asse della galleria in fase di Progetto Definitivo, così come le analisi diffrattometriche eseguite in fase di Progetto Preliminare su tre campioni prelevati nel sondaggio 3S6 non avevano fornito conferme in tal senso. Il rischio di fenomeni di rigonfiamento in livelli di anidrite messi a contatto con i rivestimenti del tunnel è da ritenere basso, ma comunque da monitorare in fase di scavo attraverso un'accurata analisi dei litotipi incontrati.
- Presenza di venute d'acqua significative a quota galleria in corrispondenza della tratta 32+200 e 34+000.

12.10 GN02 - Imbocco est

L'opera corrisponde a una breve galleria artificiale; il piano del ferro si colloca a circa 343 m di quota.

12.10.1 Sondaggi

L'imbocco del tunnel è stato indagato mediante il sondaggio 3a-GN2-S08. Ulteriori informazioni sono state ottenute dal sondaggio 3a-S53bis, localizzato a SSE dell'imbocco.

12.10.2 Assetto geologico

La galleria artificiale si sviluppa integralmente all'interno della formazione di Cattolica (membro salino, GTL3) che caratterizza il tratto terminale della galleria naturale GN02, al passaggio verso la soprastante formazione di Pasquasia (GPQ).

Si riscontra quindi un ammasso stratigraficamente molto eterogeneo, caratterizzato dall'alternanza di argille ± marnose, talora laminate, brecce a clasti litoidi (calcare, gesso) in matrice argillosa, laminiti gessose, gessareniti e livelli metrici o plurimetrici di gesso e sali di Na/K/Mg.

12.10.3 Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità per quanto riguarda la dinamica di versante, interessato in questa zona da lenti processi di soliflusso a carico della coltre superficiale.

12.10.4 Assetto idrogeologico

La galleria artificiale è realizzata all'interno del complesso idrogeologico CGM (k variabile tra 1E-08 e 1E-07 m/s, con possibile componente legata al carsismo) ma a scala locale non risultano presenti livelli di gesso o salgemma, quindi i fenomeni di dissoluzione ipotizzati per la galleria naturale non sembrano qui costituire una criticità di rilievo.

Permane comunque elevata la probabilità l'eventuale falda incontrata nella parte più interna del versante sia caratterizzata da acque chimicamente aggressive come confermato dai test chimici eseguiti nei sondaggi 3a-GN2-S07 e S08.

Data la permeabilità relativamente bassa del substrato è possibile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa generare una falda temporanea che satura l'interfaccia tra il substrato e la coltre detritico-colluviale (complesso idrogeologico CAL).

12.10.5 Criticità principali

Presenza di acque potenzialmente aggressive verso il calcestruzzo in relazione alla presenza di gesso nei sedimenti.

12.11 Tratta all'aperto, pk 34+706 ÷ 35+246

Questa tratta corrisponde all'attraversamento della valle del T. Mimiani, affluente di destra del F. Salito, cui segue verso Catania, separata da un breve dosso, la vallecchia di un tributario laterale del medesimo torrente. La quota del p.f. passa da 343 m ca. a est a 335.5 m ca. a est.

12.11.1 Sondaggi

La tratta è stata indagata mediante i sondaggi 3a-S53, 3a-S54 e 3a-S55.

12.11.2 Assetto geologico

La tratta si sviluppa al passaggio tra le formazioni di Cattolica (membro salino GTL3) e di Pasquasia (GPQ), tra loro in contatto stratigrafico, probabilmente discordante, tutt'altro che ben definito in superficie. In base alle informazioni dei sondaggi 3a-S54 e 3a-S55, il limite tra le due unità è stato ipotizzato al passaggio tra un livello decametrico di sale e delle soprastanti argille, brecce a matrice

argillosa e sabbie che sembrerebbero riflettere la natura detritica della formazione di Pasquasia.

La valle del T. Mimiani e i versanti circostanti sono costellati da piccole sorgenti con portata estremamente ridotta nel periodo estivo, poco più che sgocciolii, caratterizzati da acque ricche in cloruro di sodio che depositano allo sbocco concrezioni saline biancastre chiaramente visibili anche in lontananza.

I terreni riferibili alla formazione GPQ riflettono il suo carattere detritico, consistendo principalmente di breccie a matrice argillosa con clasti litoidi gessosi e carbonatici (detritismo proveniente da formazioni costiere del Calcare di Base, cfr. Figura 13, facies “b” e “c”), argille a tessitura caotica con livelli limoso-sabbiosi e lenti di gessi e gessareniti.

12.11.3 Assetto geomorfologico

Il dosso presente nella parte centrale della tratta, che sarà attraversato da una galleria artificiale, è parzialmente costituito, nella parte a ridosso del corso del T. Mimiani, da depositi di smarino riferibili allo scavo della galleria ferroviaria storica di Marianopoli e probabilmente anche, in parte, a discariche dell'ex-miniera di salgemma “Santa Caterina” (complesso minerario di Monte Trabona). Questi depositi sono attualmente del tutto stabilizzati e rinaturalizzati.

Il corso del torrente è inciso abbastanza profondamente sia nel substrato prequaternario sia nei depositi alluvionali recenti di pertinenza del medesimo corso d’acqua, indizio di una fase di approfondimento in atto, per lo meno nel tratto a cavallo della linea ferroviaria.

Il ciglio della scarpata di erosione fluviale che delimita verso SE il dosso attraversato dalla galleria artificiale, è ubicato a una distanza variabile tra 20 e 50 m dall’asse di linea; ciò potrebbe rappresentare un potenziale elemento di rischio nel medio e lungo periodo, nell’eventualità di un progressivo arretramento della scarpata causato da un’accentuazione dei fenomeni erosivi.

12.11.4 Assetto idrogeologico

I dati piezometrici suggeriscono la presenza di una superficie di falda che a livello locale segue in maniera abbastanza marcata l’andamento della topografia; la superficie piezometrica si colloca intorno a 16-17 m dal p.c. in corrispondenza del dosso della galleria artificiale, mentre è molto più superficiale lungo il fondovalle del T. Mimiani e del suo piccolo affluente laterale (cfr. paragrafo 9.7 per le

considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza).

La presenza diffusa di sorgenti saline intorno all'asse di linea, la presenza di una componente detritica di natura gessosa nelle argille di Pasquasia e i test chimici effettuati in sondaggio (cfr. paragrafi precedenti) confermano anche per questo tratto la probabile presenza di acque sotterranee chimicamente aggressive.

12.11.5 Criticità principali

Alveo del T. Mimiani in approfondimento erosivo.

Erosione attiva a carico della scarpata fluviale a sud dell'asse della galleria artificiale GA07.

Presenza di acque ricche in cloruro di sodio e solfati, potenzialmente aggressive verso il calcestruzzo.

12.12 GN03 - Imbocco ovest

L'opera corrisponde a una breve galleria artificiale. Il piano del ferro si colloca tra 335 e 334 m ca., in discesa verso est.

12.12.1 Sondaggi

L'imbocco del tunnel è stato indagato mediante il sondaggio 3a-GN3-S01, i cui dati possono essere agevolmente estrapolati alla galleria artificiale.

12.12.2 Assetto geologico

La galleria artificiale si sviluppa integralmente all'interno della formazione di Pasquasia (GPQ). Si riscontra quindi un ammasso stratigraficamente molto eterogeneo, caratterizzato dall'alternanza di argille \pm marnose, talora laminate, brecce a tessitura massiva matrix-supported, con clasti litoidi (calcare, gesso) in matrice argillosa, laminiti gessose, gessareniti e livelli o blocchi metrici/plurimetrici di gesso stratificato (balatino) e/o cristallino.

12.12.3 Assetto geomorfologico

Non sono presenti elementi geomorfologici di particolare rilievo. L'imbocco si colloca su un pendio regolare ad oggi non interessato da fenomeni particolari.

12.12.4 Assetto idrogeologico

La galleria artificiale è realizzata all'interno del complesso idrogeologico CGM (k variabile tra 1E-08 e 1E-07 m/s, con possibile componente legata al carsismo). In corrispondenza dell'imbocco non sembrano esservi corpi di dimensioni significative di gesso o salgemma. Esiste tuttavia la possibilità che siano incontrate acque chimicamente aggressive, poiché i sedimenti della formazione di Pasquasia contengono una rilevante frazione di gesso detritico.

Il livello della superficie piezometrica è stimato intorno a 10-11 m dal p.c. (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza).

Data la permeabilità relativamente bassa del substrato è possibile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa generare una falda temporanea che satura l'interfaccia tra il substrato e la coltre detritico-colluviale (complesso idrogeologico CAL).

12.12.5 Criticità principali

Presenza di acque aggressive verso il calcestruzzo in relazione alla presenza di gesso nei sedimenti.

Eterogeneità litologica del fronte di scavo (possibile presenza di masse/blocchi litoidi: gessi, gessareniti, calcareniti).

12.13 GN03 - Galleria naturale e galleria artificiale Trabona.

La galleria Trabona si estende tra le pk 35+343 e 36+693; da questa progressiva segue un lungo tratto di galleria artificiale, fino alla pk 37+019. In corrispondenza della pk 36+050 circa si ha l'innesto della Finestra Trabona sulla galleria di linea principale. La copertura topografica arriva a circa 110 m intorno alla pk 36+000, poco prima dell'innesto con la Finestra Trabona. La quota del piano del ferro scende da circa 334 m (imbocco lato Palermo) a circa 310 m (imbocco lato Catania).

12.13.1 Sondaggi

La tratta in esame comprende i sondaggi della serie 3a-GN2-S01÷S04 e il sondaggio 3S7 del 2018.

12.13.2 Assetto geologico

Le formazioni attraversate dalla galleria sono, da ovest a est:

- formazione di Pasquasia (GPQ)
- formazione di Cattolica, membro salino (GTL3)
- formazione di Terravecchia, membro argilloso a tessitura caotica (TRVb)
- formazione di Terravecchia, membro arenaceo-conglomeratico (TRVa)

La formazione di Pasquasia presenta le caratteristiche già descritte per le tratte precedenti, si tratta quindi di una formazione detritica in cui domina la componente argillosa, con alternanze di siliti, argille marnose, livelli sabbiosi e mud-brecce a clasti carbonatici e gessosi; la frazione gessosa rappresenta una parte importante della componente clastica. A partire dal versante a est della vallecchia dell'affluente laterale del T. Mimiani iniziano ad affiorare all'interno della formazione dei blocchi e livelli di dimensioni da plurimetriche a ettometriche di gessi stratificati (alternanza di strati di gesso selenitico e balatino con intercalazioni pelitiche \pm gessose) e di gessareniti, annegati nelle argille (GPQb).

Il contatto con il membro salino (GTL3) della formazione di Cattolica, che si presume localizzato intorno alla pk 36+000, è di natura presumibilmente stratigrafica. Concentrazioni notevoli di salgemma sono state rinvenute nei sondaggi 3a-S54, 3a-S55 e 3a-GN3-S02; in base a quest'ultimo sondaggio è possibile stabilire che il salgemma risale leggermente in direzione SE, lungo la linea di tracciato, andando a interessare una porzione significativa della galleria Trabona, tra le pk 36+000 e 36+360 ca. e anche la parte terminale della Finestra Trabona, dove questa si innesta sull'asse di linea.

Il contatto con la formazione di Terravecchia avviene probabilmente per faglia, lungo un piano immergente ad alto angolo verso NW (faglia F8, cfr. profilo geologico allegato), che potrebbe essere intersecato dall'asse di linea intorno alla pk 36+360, con un margine di incertezza piuttosto elevato (\pm 100 m).

I due membri TRVb e TRVa non sono facilmente delimitabili sul terreno, sia a causa della coltre eluvio-colluviale che ne maschera i rapporti stratigrafici, sia per la comune presenza di facies sabbiose anche all'interno del membro TRVb. Nel sondaggio 3a-GN3-S03 è evidente una facies argillosa di colore grigio, caratterizzata da tessiture brecciate, differente dai classici conglomerati riferibili al TRVa in quanto caratterizzate dalla presenza di clasti poligenici a spigoli vivi. Il probabile passaggio al membro TRVa avviene nel tratto interessato dalla galleria artificiale.

12.13.3 *Assetto idrogeologico*

Le due gallerie, naturale e artificiale, sono scavate, in ordine di pk crescenti, all'interno dei complessi del substrato CGM ($1E-08 < k < 1E-07$ m/s), CAM ($1E-07 < k < 1E-05$ m/s) e CCA ($1E-07 < k < 1E-05$ m/s). Le problematiche idrogeologiche variano a seconda del complesso attraversato e saranno legate, in particolare, alla probabile presenza di acque chimicamente aggressive nel complesso CGM e a permeabilità relativamente elevate nel complesso CCA.

Non si ritengono probabili, seppur non possano essere esclusi, fenomeni di carsismo diffuso nonostante la presenza di corpi allungati e masse a prevalente composizione gessosa, poiché queste masse risultano annegate in un complesso a dominante composizione argillosa, poco permeabile, per cui non è ipotizzabile l'instaurarsi di estesi circuiti idrici di tipo carsico; gli stessi fenomeni di dissoluzione potenzialmente attivi nei corpi gessosi sono probabilmente circoscritti a scala molto locale.

All'interno dei litotipi sabbiosi del complesso CCA sono ipotizzabili permeabilità relativamente elevate, come già detto, tuttavia non si prospettano criticità particolari tenuto conto del fatto che il carico idraulico definito in base alle misurazioni fatte in sondaggio si mantiene relativamente basso rispetto alla quota del p.f. (dell'ordine dei 20 m in base al foro 3a-GN3-S03), pur seguendo l'andamento della superficie topografica (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza). Nelle zone in cui il carico idraulico è potenzialmente più elevato (complessi CGM e CAM) esso è associato a permeabilità basse, per cui non sono ipotizzabili venute d'acqua significative in galleria.

Una relativa maggiore quantità di acqua potrebbe essere registrata in corrispondenza della zona di sovrascorrimento che mette a contatto i complessi CGM e CAM, che si presume possa collocarsi intorno alla pk 36+135. Venute d'acqua puntuali o diffuse potrebbero registrarsi per una decina di metri da ogni lato della zona di deformazione, tuttavia si osserva che questo presunto sovrascorrimento mette a contatto due complessi a dominante componente argillosa, per cui l'incremento di permeabilità nella fascia di deformazione potrebbe non essere così significativo.

Data la permeabilità relativamente bassa del substrato è possibile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa generare una falda temporanea che satura l'interfaccia tra il substrato e la coltre detritico-colluviale (complesso idrogeologico CAL), in particolare dove prevalgono i litotipi argillosi (formazioni GPQ e TRVb).

12.13.4 Criticità principali

Presenza di acque chimicamente aggressive nella formazione di Pasquasia.

Presenza di un tratto caratterizzato da coperture inferiori a 20 m, tra le pk 36+630 e 36+690, corrispondente a una vallecola secondaria con fondovalle su cui è deposto uno strato di circa 3 m di depositi alluvionali e colluviali (sondaggio 3a-GN3-S03). Lo spessore di substrato indisturbato (argille a tessitura caotico-brecciata) compreso tra la volta della galleria e la base dei depositi alluvionali sciolti arriva in questo tratto a un minimo di circa 4 m.

12.14 Finestra Trabona

La finestra Trabona imbocca alla base del versante sinistro idrografico del T. Mimiani innestandosi sulla galleria di linea in corrispondenza della pk 36+050 circa. La copertura topografica va da 0 a circa 110 m, la quota di imbocco è di circa 360 m, quella di intersezione di circa 322.7 m.

12.14.1 Sondaggi

La finestra è stata investigata dai sondaggi 3a-F03 e 3a-F04.

12.14.2 Assetto geologico

La galleria attraversa la formazione di Pasquasia (GPQ),

- formazione di Terravecchia, membro argilloso a tessitura caotica (TRVb)
- formazione di Terravecchia, membro arenaceo-conglomeratico (TRVa)

La formazione di Pasquasia, che presenta caratteri analoghi a quelli che contraddistinguono la galleria GN03. Si tratta quindi di una formazione detritica in cui domina la componente argillosa, con alternanze di silti, argille marnose, livelli sabbiosi e mud-brecce a clasti carbonatici e gessosi; la frazione gessosa rappresenta una parte importante della componente clastica. A partire dal versante a est della vallecola dell'affluente laterale del T. Mimiani iniziano ad affiorare all'interno della formazione dei blocchi e livelli di dimensioni da plurimetriche a ettometriche di gessi stratificati (alternanza di strati di gesso selenitico e balatino con intercalazioni pelitiche \pm gessose) e di gessareniti, annegati nelle argille (GPQb).

Uno di questi blocchi è stato intercettato dal sondaggio 3a-F04, in particolare tra 73 e 76 m ca. di

profondità.

12.14.3 Assetto idrogeologico

La galleria è scavata all'interno del complesso del substrato CGM ($1E-08 < k < 1E-07$ m/s). Le problematiche idrogeologiche saranno legate in particolare alla probabile presenza di acque chimicamente aggressive nel complesso CGM.

Non si ritengono probabili fenomeni di carsismo diffuso nonostante la presenza di corpi allungati e masse a prevalente composizione gessosa, che sono circondate da litotipi a dominante composizione argillosa, poco permeabili. Non è quindi ipotizzabile l'instaurarsi di estesi circuiti idrici di tipo carsico; gli stessi fenomeni di dissoluzione potenzialmente attivi nei corpi gessosi sono probabilmente circoscritti a scala molto locale.

12.14.4 Criticità principali

Presenza di acque chimicamente aggressive nella formazione di Pasquasia.

Eterogeneità litologica del fronte di scavo, in presenza di ripetute alternanze di terreni argillosi e litoidi (livelli o blocchi di calcari, gessareniti e/o gessi).

12.15 GN03 - Imbocco est / GN04 - Imbocco ovest

L'imbocco est della GN03 corrisponde alla galleria artificiale citata nel paragrafo precedente; esso si affaccia su una stretta vallecchia, attraversata la quale, nello spazio di circa 60 m, la linea incontra l'imbocco ovest della successiva galleria naturale, rappresentato da una seconda breve galleria artificiale. Il piano del ferro è sempre in lieve discesa, arrivando alla fine della galleria artificiale alla quota di 309.4 m ca.

12.15.1 Sondaggi

Presso il fondo della vallecchia che congiunge i due imbocchi è stato realizzato il sondaggio 3a-GN4-S01. Sono inoltre state realizzate alcune indagini penetrometriche (3PP8, 3PP9, 3PP10, 3PP11) per definire gli spessori della copertura quaternaria.

12.15.2 Assetto geologico

La tratta si sviluppa al contatto di tipo tettonico, tra il membro argilloso-marnoso della Formazione di Terravecchia (TRV) e il membro sabbioso della Formazione di Pasquasia.

Il substrato è coperto da una coltre di tipo eluvio-colluviale e detritico-colluviale continua, di spessore individuato dalle indagini dell'ordine di 2.5-3 m. Al di sotto della coltre le indagini penetrometriche mostrano la presenza di livelli di substrato caratterizzati da bassa resistenza alla penetrazione: si tratta presumibilmente di livelli sabbiosi poco o nulla cementati o da substrato alterato.

12.15.3 Assetto geomorfologico

La vallecchia che separa i due imbocchi è interessata da fenomeni diffusi fenomeni franosi di tipo complessi (scivolamenti rotazionali evoluti in colamenti), prevalentemente quiescenti, a carico dei terreni della coltre eluvio-colluviale superficiale. Questi fenomeni sono causati essenzialmente dallo scarso drenaggio di questi materiali, a sua volta determinato sia dalla permeabilità relativamente bassa dei depositi, sia da una morfologia locale poco acclive che tende a favorire il ristagno prolungato sui versanti e sul fondovalle delle acque di infiltrazione. Non è da escludere una locale estensione dei fenomeni a profondità superiori a qualche metro, anche se i sondaggi eseguiti non mostrano tracce di deformazioni profonde a carico del substrato.

Il corso d'acqua stagionale che percorre il fondovalle è caratterizzato da un'attività erosiva moderata e tende a incidere il piede dei depositi colluviali favorendone la destabilizzazione; le sponde sono definite da scarpate di erosione di altezza variabile tra 0.5 e 3 m, che localmente mostrano la tendenza ad arretrare per progressivo cedimento del ciglio.

12.15.4 Assetto idrogeologico

L'asse vallivo è caratterizzato dalla presenza di una falda libera molto prossima alla superficie, come indicato sia dal sondaggio 3a-GN4-S01 (la cella Casagrande installata indica una superficie piezometrica a meno di 1 m dal p.c.) sia dalla presenza di diverse aree di evidente ristagno idrico, a monte del tracciato di progetto.

12.15.5 Criticità principali

Presenza di dissesti superficiali quiescenti a carico della coltre eluvio-colluviale.

Possibile locale estensione dei fenomeni di dissesto a profondità di alcuni m dalla superficie a interessare la parte di substrato maggiormente alterata.

Drenaggio superficiale difficoltoso su tutta l'area.

Presenza di un corso d'acqua con tendenza erosiva a carico delle sponde e del piede dei versanti.

Presenza all'imbocco est della GN04 di terreni parzialmente soggetti a colamento lento quiescente, per uno spessore di 2 m ca.

Non si evidenziano criticità particolari per quanto riguarda le caratteristiche del substrato in corrispondenza di entrambi gli imbocchi.

12.16 GN04 - Galleria naturale Salito 1

La galleria Salito 1 ha una lunghezza di 276 m ca. e attraversa un modesto rilievo raggiungendo una copertura topografica massima di circa 45 m. La quota del piano del ferro, sempre discendente in direzione est, va da 309.4 m (termine della galleria artificiale dell'imbocco ovest) a circa 307 m (galleria artificiale dell'imbocco est).

12.16.1 Sondaggi

Nella tratta in esame sono disponibili i sondaggi 3a-GN4-S01 e 3a-GN4-S02.

12.16.2 Assetto geologico

La galleria si sviluppa per gran parte all'interno delle argille più o meno marnose e siltose del membro argilloso della formazione di Terravecchia (TRV). All'estremità est della galleria l'unità TRV è interrotta da una zona di faglia potente circa 2-4 m, visibile in affioramento lungo il corso del Fiume Salito (faglia F9, cfr. profilo geologico allegato). La faglia, con immersione ad alto angolo (80°ca.) verso NW, mette a contatto la formazione TRV a NW con una sequenza stratificata di sabbie e siltiti a SE, che è stata riferita alla formazione di Pasquasia del gruppo della Gessoso-Solfifera (GPQa), sulla base della locale presenza, nella frazione detritica, di una componente clastica gessosa.

La zona di faglia F9 presenta un movimento di tipo obliquo-inverso, definito da indicatori cinematici come l'uncinatura a scala metrica della stratificazione; la potenza della fascia di disturbo tettonico varia come già detto da 2 a 4 m ca. In base alla sua posizione cartografata sul terreno e alla giacitura, la zona di faglia dovrebbe intersecare l'asse di linea intorno alla pk 37+370.

La stratificazione delle sabbie e siltiti riferite all'unità GPQa immerge di circa 30° verso NNW con frequenti variazioni legate a ondulazioni a grande scala.

12.16.3 Assetto geomorfologico

Non sono presenti criticità geomorfologiche di rilievo per il tratto in galleria.

12.16.4 Assetto idrogeologico

Le uniche informazioni disponibili riguardanti la posizione della superficie piezometrica sono relative ai sondaggi 3a-GN4-S01 e 3a-S56 e S56bis (realizzati verso l'imbocco lato Catania). Correlando questi dati con il livello di base imposto dal corso del F. Salito (quota 280 m ca.) è possibile ipotizzare una superficie piezometrica con tendenza ad abbassarsi da ovest verso est, pur risentendo parzialmente di una ricarica dalla superficie e mostrando pertanto un locale innalzamento al di sotto delle aree di cresta. Un probabile brusco abbassamento si verifica in corrispondenza della zona di faglia principale F9, che costituisce verosimilmente un corridoio di deflusso sotterraneo a permeabilità più elevata. È presumibile che la galleria si trovi al di sopra della zona satura a partire all'incirca dalla pk 37+320.

In relazione alla presenza locale di una frazione gessosa nelle sabbie dell'unità GPQa sarebbe in teoria ipotizzabile un rischio correlato alla presenza di acque chimicamente aggressive. Tuttavia, in considerazione del fatto che nel tratto in cui la galleria attraversa la formazione GPQb essa si trova sopra falda, nonché del fatto che la presenza di elementi gessosi nelle sabbie è solo occasionale, questo rischio è da considerare molto basso.

12.16.5 Criticità principali

Nessuna criticità di rilievo. Rischio di acque chimicamente aggressive molto basso.

12.17 GN04 - Imbocco est

L'imbocco est della galleria GN04 corrisponde a una breve galleria artificiale.

12.17.1 Sondaggi

Il sondaggio più vicino alla zona di imbocco è il 3a-GN4-S02, 80 m circa a NNW.

12.17.2 Assetto geologico

L'imbocco si sviluppa interamente all'interno della sequenza stratificata di sabbie e siltiti riferita alla formazione di Pasquasia (GPQa), a SE della faglia F9 che separa quest'unità dalle argille marnoso-siltose della formazione di Terravecchia (TRV).

La stratificazione delle sabbie e siltiti immerge di circa 30° verso NNW con frequenti variazioni legate a ondulazioni a grande scala.

Al piede del versante si osservano accumuli poco potenti di materiale detritico fine derivante dalla progressiva disgregazione del substrato, che affiora diffusamente grazie all'erosione operata dal Fiume Salito. Affioramenti del substrato si possono osservare inoltre lungo il corso del fiume, in corrispondenza di alcuni meandri addossati al versante.

I depositi alluvionali del Fiume Salito nei dintorni della zona di imbocco costituiscono un materasso dello spessore massimo di 2 m che forma alcuni terrazzi di meandro. Sono costituiti da sabbie e ghiaie stratificate con frequenti patine saline biancastre.

12.17.3 Assetto geomorfologico

L'imbocco è situato in corrispondenza di una scarpata alta circa 50-60 m, originata dall'azione erosiva del corso d'acqua che in questo punto erode direttamente il substrato prequaternario; la scarpata in corrispondenza dell'asse di linea non è direttamente interessata dall'erosione fluviale, poiché è affacciata sulla superficie alluvionale terrazzata di un meandro. È però interessata da processi diffusi di erosione superficiale per ruscellamento che portano al progressivo denudamento del substrato, prevalentemente sabbioso e generano localmente piccoli franamenti puntuali che interessano uno spessore di materiale che va da pochi decimetri fino a un massimo di 1,5-2 m. Al piede del pendio si osservano accumuli di materiale detritico-colluviale deposti sulla superficie del terrazzo alluvionale che

testimoniano questa lenta degradazione superficiale. Sono assenti corpi di frana veri e propri.

12.17.4 Assetto idrogeologico

In base ai dati disponibili l'imbocco si colloca sopra falda. Si evidenziano fenomeni di ruscellamento superficiale lungo il versante.

12.17.5 Criticità principali

Fenomeni di erosione diffusa a carico del versante.

Acclività del pendio.

Processi di ruscellamento superficiale erosivo.

12.18 Tratta all'aperto, pk 37+413 ÷ 38+192

La tratta all'aperto attraversa il fondovalle del Fiume Salito. La quota del piano del ferro va da circa 307 m fino a un punto di flesso a 302.9 m ca. (pk 38+023 ca.), per poi risalire fino a 303.7 m ca. a fine tratto.

12.18.1 Sondaggi

In questo tratto sono disponibili le informazioni dei sondaggi 3a-S56bis, 3a-S56, 3a-S57 e 3S13 (2018).

Assetto geologico

La tratta è impostata sui terrazzi alluvionali depositi dal Fiume Salito. I sondaggi mostrano uno spessore di depositi alluvionali variabile da 6 a 9 m circa, con prevalenza di facies sabbioso-limose o francamente sabbiose, stratificate; la parte basale dei depositi alluvionali è caratterizzata da un livello di ghiaie sabbiose più o meno limose di circa 2-3 m di spessore.

Il substrato dei depositi alluvionali è rappresentato da una successione di argille siltose stratificate, di colore grigio, con alternanze centimetrico-decimetriche di livelli sabbiosi, riferite alla formazione del Flysch Numidico, membro di Nicosia (FYN4), con stratificazione regolarmente immergente di 20-30° verso tra NW e NNW.

12.18.2 Assetto geomorfologico

La tratta attraversa il corso del Fiume Salito, in corrispondenza della confluenza nel corso d'acqua principale del Torrente della Salina, suo tributario di destra. Entrambi i corsi d'acqua sono caratterizzati da un alveo meandriforme che tende a incidere il substrato prequaternario in corrispondenza delle battute di sponda. I terrazzi alluvionali depositi nella parte interna dei meandri sono relativamente sottili, soprattutto nei tratti d'alveo a ridosso dei versanti, dove spesso affiora il substrato prequaternario.

12.18.3 Assetto idrogeologico

I sondaggi disponibili indicano la presenza di una falda libera con superficie localizzata a circa 5 m dal piano campagna (riferito alla quota dei terrazzi alluvionali), in equilibrio con i corsi d'acqua principali (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza). I depositi alluvionali sono riferiti al complesso idrogeologico CSL e appoggiano sul complesso del substrato CAM.

12.18.4 Principali criticità

La tratta non è interessata da criticità di rilievo.

12.19 GN05 - Imbocco ovest

L'imbocco ovest della galleria GN05 è rappresentato da una breve trincea di 30 m ca. di lunghezza. L'imbocco è in leggera salita da ovest a est, da 303.7 a 304 m ca.

12.19.1 Sondaggi

In prossimità della zona di imbocco è disponibile il sondaggio 3a-GN5-S01.

12.19.2 Assetto geologico

La formazione attraversata dalla galleria è rappresentata dal Flysch Numidico, membro di Nicosia (FYN4), caratterizzato da una successione monotona di argille \pm marnose, localmente con interstrati sabbiosi centimetrici o decimetrici.

12.19.3 Assetto geomorfologico

La zona di imbocco e il corridoio di progetto non è interessato da dissesti in atto o quiescenti, ma sono comunque evidenti le tracce di processi di soliflusso a carico dello strato di terreno agrario e della coltre eluvio-colluviale.

Tuttavia, ai lati dell'imbocco il versante è interessato da fenomeni di movimento complesso, innescatisi come scivolamenti rotazionali e poi evoluti con fenomeni di colamento lento della massa spostata, in stato quiescente, che si incanalano nel vallone a est dell'asse di linea e lungo il pendio a ovest.

La zona di imbocco e il corridoio di progetto si localizzano apparentemente nell'unico settore non interessato da dissesti, e i sondaggi eseguiti sembrano confermare questa interpretazione, anche se non è possibile escludere con assoluta certezza che settori localizzati di pendio possano in futuro essere interessati da fenomeni analoghi a quelli osservati all'intorno. Sono comunque evidenti in quest'area le tracce di processi di soliflusso a carico dello strato di terreno agrario e della coltre eluvio-colluviale.

12.19.4 Assetto idrogeologico

In base ai dati disponibili la galleria artificiale si localizza al passaggio tra la zona non satura e la zona satura, posizionata approssimativamente all'interfaccia coltre-substrato.

Considerata la natura argillosa del substrato (complesso idrogeologico CAM con conducibilità idraulica compresa tra $1E-07$ e $1E-09$ m/s) è probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale, a permeabilità relativamente maggiore rispetto al substrato.

12.19.5 Principali criticità

Non sono presenti criticità di rilievo lungo l'asse del tracciato, anche se non si esclude del tutto la possibile localizzata comparsa di movimenti, soprattutto come riflesso di eventuali riattivazioni delle aree in dissesto che circondano il settore di imbocco.

12.20 GN05 - Galleria naturale Salito 2

La galleria Salito 2 si estende tra le pk 38+225 e 39+052 e attraversa un modesto rilievo collinare con copertura topografica massima di circa 75 m intorno alla pk 38+670. La quota del piano del ferro sale da

circa 304 m (imbocco lato Palermo) a circa 309.7 m (imbocco lato Catania).

12.20.1 Sondaggi

Nella tratta in esame sono disponibili i sondaggi 3a-GN5-S01, 3S9 (2018) e 3a-GN5-S03.

12.20.2 Assetto geologico

La galleria attraversa una successione monotona di litotipi prevalentemente argillosi riferibili al Flysch Numidico, membro di Nicosia (FYN4). Il sondaggio 3a-GN5-S01 ha attraversato una sequenza di argille limose grigie, quindi una zona caratterizzata da tessitura brecciata e da numerose discontinuità che è stata interpretata come una zona di faglia ad alto angolo (faglia F10, cfr. profilo geologico allegato), impostata in una litofacies sempre di natura argilloso-siltosa ma prevalentemente litoide, che si segue fino a fondo foro. La zona di faglia F10 è caratterizzata dalla presenza di diversi piani di fratturazione, per uno spessore complessivo (lungo asse foro) di circa 9 m, che considerando la giacitura dei piani di frattura si traducono in uno spessore reale di 2-3 m al massimo. La faglia immerge presumibilmente verso NW ma non se ne hanno evidenze in superficie, a causa della coltre detritico-colluviale che ricopre uniformemente il versante. Essa dovrebbe presumibilmente venire attraversata dalla galleria nella tratta iniziale, intorno alla pk 38+240.

Il sondaggio 3S9 ha invece attraversato una successione monotona di argille grigie a tessitura scagliosa.

12.20.3 Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico si segnala la presenza lungo il tracciato di diversi fenomeni di movimento complesso in stato di quiescenza (cfr. carta geologica allegata), di cui l'asse tunnel interseca la zona superiore di distacco. Questi dissesti hanno nella maggior parte dei casi carattere superficiale, interessando principalmente lo strato di coltre eluvio-colluviale; localmente viene interessata anche la porzione di substrato alterato posta a contatto con i terreni di copertura, per una profondità non determinabile a priori, ma dipendente dallo spessore della zona di alterazione.

È poco probabile che questi dissesti si spingano ad interessare il substrato prequaternario sano, ed è analogamente improbabile che vi possano essere influenze di qualche tipo a quota tunnel, anche se l'assenza di indagini dirette in questo settore specifico non consente di definirne con precisione

l'estensione in profondità.

Come regola generale comunque, la profondità massima raggiunta da questo tipo di dissesti, soprattutto nella zona della nicchia di distacco, non può che essere una frazione della larghezza, per cui in assenza di indagini si può ipotizzare di arrivare, nella zona di distacco (nota bene: in gran parte già svuotata), a profondità dell'ordine della decina di metri.

12.20.4 Assetto idrogeologico

La galleria attraversa il complesso idrogeologico CAM a permeabilità medio-bassa ($1E-09 < k < 1E-07$ m/s). Le informazioni relative ai sondaggi 3a-GN5-S01 e 3b-S01 (localizzato a est dell'imbocco lato Catania) indicano la presenza di un carico idraulico la cui superficie segue approssimativamente l'andamento della topografia, con un valore massimo stimato in 15 m ca. dal piano del ferro (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza).

Non si evidenziano problematiche idrogeologiche di rilievo. La zona di faglia F10 incontrata alla pk 38+240 ca. potrebbe costituire un canale a permeabilità relativamente più elevata ma l'alimentazione dall'acquifero circostante rimane molto ridotta, data la sua natura argillosa, quindi non si prevedono apporti idrici consistenti in galleria, in corrispondenza della faglia.

12.20.5 Principali criticità

Potenziale presenza di gas (rischio basso).

Copertura topografica non molto elevata: possibile spessore ridotto del substrato sano sopra alla calotta.

Le frane esistenti in superficie sembrano sottili ma va posta attenzione alle modalità di scavo per non perturbare eccessivamente il substrato innescando possibili movimenti a profondità maggiori.

12.21 GN05 - Imbocco est

L'imbocco est della GN05 corrisponde a una galleria artificiale di circa 60 m, con quota del piano del ferro in salita da 309.7 a 310.1 m ca.

12.21.1 Sondaggi

In corrispondenza della zona di imbocco è stato realizzato il sondaggio 3a-GN5-S03.

12.21.2 Assetto geologico

Analogamente alla galleria GN05, l'imbocco est è impostato in una successione monotona di litotipi prevalentemente argillosi riferibili al Flysch Numidico, membro di Nicosia (FYN4).

12.21.3 Assetto geomorfologico

Non si rilevano criticità particolari dal punto di vista geomorfologico. Il versante risulta stabile.

12.21.4 Assetto idrogeologico

Non si evidenziano problematiche idrogeologiche di rilievo. In base ai dati di sondaggio la galleria artificiale dovrebbe mantenersi sopra falda.

Considerata la natura argillosa del substrato (complesso idrogeologico CAM con k compresa tra 1E-07 e 1E-09 m/s) è probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale, a permeabilità relativamente maggiore rispetto al substrato.

12.21.5 Principali criticità

Nessuna criticità di rilievo.

12.22 Tratta all'aperto pk 39+119 ÷ 42+505

In questo segmento l'asse di linea corre sulla piana alluvionale del Fiume Salito, in sinistra idrografica, lambendo localmente il piede del versante fino alla pk 41+700 ca., per poi attraversare il corso d'acqua e portarsi in destra idrografica fino alla pk 42+280, quindi di nuovo in sinistra fino all'imbocco della galleria GN06.

Il piano del ferro sale da 310.1 m ca. a 345 m ca.

12.22.1 Sondaggi

Nel tratto in esame sono disponibili i sondaggi della serie 3b-S01/S09 e i sondaggi 3a-SI08, 3b-V16, 3b-V18, 3b-SI-V08, 3b-V19, 3b-SI-V09 e 3S10 (2018).

12.22.2 Assetto geologico

La linea si sviluppa quasi completamente sui depositi alluvionali di fondovalle, intersecando il piede del versante sinistro della valle tra le pk 39+336 e 39+443 (tratto in trincea) e tra le pk 40+865 e 41+085.

I sondaggi evidenziano la presenza di un materasso alluvionale a dominante componente limoso-argillosa, con subordinate lenti di sabbie e ghiaie sabbiose di ridotto spessore e limitata estensione laterale. Lo spessore massimo dei depositi alluvionali è di circa 10-11 m in corrispondenza del foro 3b-S02 (km 39+630 ca.).

Il substrato è rappresentato dal Flysch Numidico, membro di Nicosia (FYN4), fino almeno alla pk 42+000. Qui, un presunto sovrascorrimento a basso angolo (non affiorante in quanto sepolto al di sotto dei depositi alluvionali) porta l'unità FYN4 a contatto con i litotipi argillosi del gruppo delle Argille Variegate (AV), anch'esse rappresentate da argille grigio-brune omogenee e monotone. La distinzione tra le due unità non è in genere evidente in base ai soli dati di superficie e di sondaggio. Le distinzioni proposte nella cartografia CARG (Foglio Caltanissetta) si basano essenzialmente su analisi micropaleontologiche per cui in assenza di elementi che ne suggeriscano una revisione, tali distinzioni vengono qui mantenute.

12.22.3 Assetto geomorfologico.

Come già accennato, il tracciato interseca il piede del versante sinistro della valle in due punti, in uscita dall'imbocco est della GN05 e intorno al km 41. Nel primo tratto, fino alla pk 39+500 ca., l'asse di linea tocca i corpi di accumulo di due colamenti lenti in stato quiescente, che si originano dalla fascia intermedia del versante, interessando la coltre eluvio-colluviale per uno spessore compreso tra 1 e 3 m. Tutta l'area circostante è interessata da processi di soliflusso. Nel tratto successivo, tra le pk 39+700 e 40+100 l'asse di linea lambisce, senza esserne toccato, due zone cartografate nei documenti del PAI come aree in potenziale dissesto, che all'analisi diretta mostrano alcune forme di origine gravitativa (in particolare svuotamenti nella parte alta del versante e forme di accumulo verso il piede), estesamente rimodellate dalle pratiche di aratura, corrispondenti a vecchie colate e frane superficiali a meccanismo

complesso, il cui piede non arriva a lambire l'asse ferroviario. La sommità del versante corrisponde a un orlo di scarpata di un antico terrazzo fluviale rimodellato, in parte coincidente con il ciglio delle forme di svuotamento sopra citate. L'intero settore in questione è comunque interessato da processi di soliflusso che, come altrove, non si esclude possano evolvere in futuro a dissesti localizzati; per quanto riguarda i dissesti preesistenti, è difficile che questi possano subire riattivazioni significative essendo in gran parte in stadio evolutivo avanzato, anche se non si possono escludere localmente l'arretramento o l'espansione laterale delle nicchie di distacco.

Il segmento finale della tratta in esame, che si congiunge all'imbocco della galleria GN06, percorre l'asse di un impluvio colmato da depositi detritico-colluviali, delimitato da due versanti lungo i quali si riscontrano una frana composta quiescente (lato sinistro dell'impluvio) e una zona a franosità diffusa che interessa una scarpata sul lato destro dell'impluvio, dove il substrato argilloso viene progressivamente denudato.

A livello di dinamica fluviale, il tracciato attraversa tra le pk 41+500 e 42+100 un settore di piana alluvionale di fondovalle con evidenze dell'esistenza di alvei temporaneamente abbandonati, potenzialmente riattivabili in caso di eventi di piena straordinaria del Fiume Salito. La tratta in questione è realizzata in viadotto.

12.22.4 Assetto idrogeologico

Non si evidenziano criticità idrogeologiche particolari nella tratta in esame. In base ai dati disponibili l'acquifero alluvionale (complesso idrogeologico CSL) ospita una falda freatica con soggiacenza media compresa tra 3 e 7 m dal p.c., più bassa nel settore orientale della tratta, più superficiale nel settore ovest, cioè verso monte (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza). La natura prevalentemente limoso-argillosa dei depositi alluvionali potrebbe determinare la risalita della falda di fondovalle fino al piano campagna, in occasione di periodi di pioggia particolarmente prolungati. I depositi alluvionali appoggiano sul complesso idrogeologico del substrato CAM a permeabilità medio-bassa.

Considerata la natura argillosa del substrato nelle zone, precedentemente descritte, in cui il tracciato interseca il piede del versante (complesso idrogeologico CAM con k compresa tra $1E-07$ e $1E-09$ m/s) è

probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale, a permeabilità relativamente maggiore rispetto al substrato. Condizioni di drenaggio difficoltoso e/o rallentato sono ipotizzabili in particolare nei settori di versante interessati da colamenti lenti in stato quiescente e/o da soliflussi.

12.22.5 Principali criticità

Non sono presenti criticità di rilievo per gran parte del tratto in esame, mentre a livello locale si riscontra la presenza di alcuni processi geomorfologici potenzialmente interferenti, in particolare:

- alcuni accumuli di frana per colamento lento, in stato quiescente, al piede del versante sinistro della valle (pk 39+210 e 39+470 circa).
- Una frana composita quiescente a sud dell'asse ferroviario, intorno alla pk 42+450; allo stato attuale il fenomeno non interferisce direttamente con il tracciato ma in caso di riattivazione può incanalarsi in direzione dell'asse di linea.
- Una zona a franosità diffusa a nord dell'asse ferroviario tra le pk 42+450 e 42+500 (a ridosso dell'imbocco della GN06). La franosità coinvolge uno strato sottile di coltre eluvio-colluviale e non rappresenta un elemento di rischio significativo per il tracciato.
- Alcuni alvei di piena temporaneamente abbandonati tra le pk 41+500 e 42+100.

12.23 GN06 - Imbocco ovest

L'imbocco ovest della galleria GN06 corrisponde a una galleria artificiale di 70 m ca. Il p.f. sale in questo tratto da 345 m ca. a 346.5 m ca.

12.23.1 Sondaggi

Nella zona di imbocco è disponibile il sondaggio 3b-GN6-S01. Sono inoltre state realizzate tre indagini penetrometriche (3PP12, 3PP13, 33PP14) per definire gli spessori della coltre quaternaria e un sondaggio integrativo (3b-SI10) a supporto della progettazione della viabilità esterna.

12.23.2 Assetto geologico

L'imbocco è impostato in corrispondenza di un possibile limite tra le Argille Variegate (AV) e il Flysch

Numidico, membro di Nicosia (FYN4), con giacitura immergente a basso angolo verso W. La natura essenzialmente argillosa di tutti i litotipi non consente di definire con certezza la posizione di questo contatto, che oltretutto rimane mascherato dai depositi superficiali (coltre eluvio-colluviale). Anche il sondaggio 3b-GN6-S01 non appare risolutivo da questo punto di vista attraversando una sequenza omogenea e monotona di argille limose grigie.

È presente una coltre detritico-colluviale di spessore variabile tra 2 e 5 m ca., localmente interessata da dissesti per colamento lento o compositi.

12.23.3 Assetto geomorfologico

In corrispondenza dell'imbocco si riscontra una frana attiva che presenta le caratteristiche di un movimento complesso, iniziato come rotazionale ed evoluto a colamento lento. La frana è descritta nelle schede dissesti al n. 77b. Il corpo di frana risulta traslato di pochi metri nella parte apicale, mentre i meccanismi di colamento lento che si instaurano al suo interno tendono a far espandere l'accumulo al piede incanalandolo nell'impluvio che incide il versante, con asse di drenaggio circa parallelo al tracciato ferroviario.

Nella nicchia di distacco è esposta la stratigrafia della parte superficiale del versante, con una coltre detritica coinvolta nel dissesto che qui ha spessore compreso tra 2.5 e 2.7 m; la coltre appoggia su un substrato argilloso-marnoso grigio che non appare coinvolto in maniera significativa dal dissesto. Sulla base delle indagini penetrometriche, risulta che localmente la massa mobilizzata raggiunge spessori di circa 4 m. Le indagini inoltre evidenziano la presenza di livelli di substrato molto alterati, per uno spessore di 2-4 m.

Sul lato destro dell'impluvio, a nord del tracciato, è presente un'area a franosità diffusa che corrisponde a una scarpata incisa nel substrato in posto, che non viene arata a fini agricoli in quanto troppo inclinata. Di conseguenza, la scarpata rimane esposta all'erosione, che innesca piccoli cedimenti a carico di uno strato sottile di coltre e/o del substrato stesso man mano che questo viene progressivamente alterato e disgregato dagli agenti atmosferici.

12.23.4 Assetto idrogeologico

Si riscontrano ristagni di acqua localizzati all'interno dei corpi in frana cartografati nei dintorni

dell'imbocco; tali ristagni favoriscono la lenta evoluzione per colamento del materiale sciolto che costituisce i corpi di accumulo. La nicchia della frana attiva che interseca il tracciato rappresenta inoltre una zona di infiltrazione preferenziale delle acque di ruscellamento superficiale.

Per quanto riguarda l'idrogeologia del substrato argilloso poco permeabile (complesso idrogeologico CAM) non si riscontrano criticità di rilievo; il livello della superficie piezometrica dovrebbe mantenersi in questo segmento al di sotto della quota del tracciato (cfr. paragrafo 9.7 per le considerazioni sull'affidabilità del dato di soggiacenza).

12.23.5 Principali criticità

Presenza di una frana composta attiva coinvolgente uno spessore di materiale di 2-3 m direttamente a monte dell'imbocco.

Presenza di ristagni idrici e zone con drenaggio difficoltoso lungo tutto il versante.

Presenza di una zona a franosità diffusa a nord dell'imbocco, che non rappresenta un elemento di rischio significativo per il tracciato ma di cui è consigliabile eseguire la sistemazione in fase di realizzazione dell'imbocco.

12.24 GN06 - Galleria naturale Masareddu

La galleria GN06 ha una lunghezza di circa 1225 m. Alla pk 43+442 circa si ha l'intersezione con la galleria della Finestra Masareddu. La quota del p.f. sale da 346 m ca. (imbocco lato Palermo) a 368 m ca. (imbocco lato Catania).

12.24.1 Sondaggi

In questa tratta sono disponibili i sondaggi 3b-GN6-S01, S02, S03 e S04, inoltre i sondaggi 3b-F01 e 3b-F02 relativi alla Finestra Masareddu.

12.24.2 Assetto geologico

La galleria si sviluppa all'interno delle unità a dominante componente argillosa del Flysch Numidico, membro di Nicosia (fino alla pk 43+460 circa) e delle Argille Variegata (da 43+460 fino all'imbocco lato Catania). La posizione del limite tra le due unità è incerta in quanto sia in superficie sia in sondaggio i

litotipi argillosi che le compongono non sono facilmente distinguibili. Le distinzioni tra queste unità proposte nella cartografia CARG (Foglio Caltanissetta) si basano essenzialmente su analisi micropaleontologiche per cui in assenza di elementi che ne suggeriscano una revisione, tali distinzioni vengono qui mantenute.

In sintesi, la galleria attraversa una successione omogenea e monotona di litotipi che comprende argille s.s., argille siltose, limi argilloso-sabbiosi e, specie all'interno del Flysch Numidico, facies argilloso-marnose.

12.24.3 Assetto geomorfologico

Non si evidenzino elementi geomorfologici particolarmente significativi nei confronti della galleria.

12.24.4 Assetto idrogeologico

I dati relativi ai carichi idraulici misurati nelle celle installate nei diversi sondaggi disponibili sono ad oggi piuttosto contrastanti. In linea generale essi suggeriscono un carico idraulico il cui andamento segue quello della superficie topografica. Il complesso idrogeologico CAM in cui si sviluppa la galleria è caratterizzato da permeabilità medio-basse e i valori di k misurati in sondaggio arrivano molto spesso fino a $1E-09$ m/s, indicando in sostanza un mezzo pressoché impermeabile. In questo contesto, picchi di carico locali misurati da alcune celle (come nel sondaggio 3b-GN5-S02, che riporta una superficie piezometrica a -5 m dal p.c.) non sono probabilmente interpretabili come espressione di una falda vera e propria, ma solo di un carico locale legato a orizzonti anche saturi, ma non produttivi.

Come modello di riferimento, e in base ai dati ad oggi disponibili, si ritiene quindi più probabile un carico idraulico complessivo che arrivi fino 20-25 m al di sopra della galleria.

12.24.5 Principali criticità

Possibile presenza di gas (rischio basso).

12.25 GN06 - Imbocco est

L'imbocco est della galleria GN06 corrisponde a una breve galleria artificiale, con piano del ferro in salita da 368 m ca. a 368.5 m ca.

12.25.1 Sondaggi

Nella zona di imbocco è disponibile il sondaggio 3b-GN6-S04, situato 75 m a WSW.

12.25.2 Assetto geologico

L'imbocco è impostato all'interno delle Argille Variegata (AV), attraversando una sequenza omogenea e monotona di argille limose grigie. È presente una coltre detritico-colluviale di spessore variabile tra 2 e 4 m ca., che non risulta interessata da dissesti.

12.25.3 Assetto geomorfologico

L'imbocco si affaccia sul fianco sinistro di una vallecchia laterale che immette sulla più ampia valle del T. Taurino, affluente a sinistra del F. Salito. Non si riscontrano particolarità geomorfologiche significative.

12.25.4 Assetto idrogeologico

In base alla ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica, nel tratto in esame il tracciato della linea si colloca al di sopra della quota della falda, che è in equilibrio con il corso d'acqua principale (soggiacenza a -4 m dal p.c. nel foro 3b-S11 realizzato nel fondovalle del T. Taurino).

12.25.5 Principali criticità

Nessuna criticità di rilievo.

12.26 Finestra Masareddu

La finestra Masareddu imbecca a sud dell'asse di linea, a circa 396 m di quota in corrispondenza di una dorsale che separa due impluvi minori. L'innesto sulla galleria di linea è in corrispondenza della pk 43+442 circa. La copertura topografica va da 0 a circa 30 m, la quota di intersezione è di circa 361.9 m.

12.26.1 Sondaggi

La finestra è stata investigata dai sondaggi 3b-F01 e 3b-F02.

12.26.2 Assetto geologico

La galleria si sviluppa per l'intera lunghezza all'interno delle unità a dominante componente argillosa del Flysch Numidico, membro di Nicosia. Si presume che in corrispondenza dell'intersezione con la galleria di linea possano venire incontrati litotipi riferibili alle Argille Variegate ma posizione del limite tra le due unità è incerta in quanto sia in superficie sia in sondaggio i litotipi argillosi che le compongono non sono facilmente distinguibili. La transizione non implica comunque significativi cambiamenti a livello geotecnico.

In sintesi, la galleria attraversa una successione omogenea e monotona di litotipi che comprende argille s.s., argille siltose, limi argilloso-sabbiosi e facies argilloso-marnose.

12.26.3 Assetto geomorfologico

Non si evidenzino elementi geomorfologici particolarmente significativi nei confronti della galleria.

12.26.4 Assetto idrogeologico

I dati relativi ai carichi idraulici misurati nelle celle installate nei diversi sondaggi disponibili sono ad oggi piuttosto contrastanti. In linea generale essi suggeriscono un carico idraulico il cui andamento segue quello della superficie topografica. Il complesso idrogeologico CAM in cui si sviluppa la galleria è caratterizzato da permeabilità medio-basse e i valori di k misurati in sondaggio arrivano molto spesso fino a $1E-09$ m/s, indicando in sostanza un mezzo pressoché impermeabile. Sulla base del livello piezometrico misurato nel sondaggio 3b-F02 si stima un carico idraulico fino a circa 10 m al di sopra del p.f.

12.26.5 Principali criticità

Possibile presenza di gas (rischio basso).

12.27 Tratta all'aperto, pk 43+829 ÷ 44+224

La tratta in esame corrisponde all'attraversamento della valle del T. Taurino. La quota del p.f. sale da 368.5 m ca. a 375.8 m ca.

12.27.1 Sondaggi

In questa tratta sono disponibili i sondaggi 3b-S10, 3b-S11 e 3b-S12.

12.27.2 Assetto geologico

La tratta all'aperto attraversa il fondovalle alluvionale del Torrente Taurino e il piede dei due versanti destro e sinistro, fungendo da raccordo tra gli imbocchi delle gallerie naturali GN06 e GN07. In corrispondenza del fondovalle si presume possa passare una zona di sovrascorrimento che mette a contatto due formazioni di età differente ma molto simili dal punto di vista litologico, tanto da risultare quasi indistinguibili (se non su base micropaleontologica): le Argille variegata (AV) a ovest e la più giovane formazione di Terravecchia, membro argilloso (TRV) a est. Il presunto sovrascorrimento corre sul fondovalle, colmato da sedimenti alluvionali recenti che lo mascherano completamente; la sua presenza è pertanto ipotetica, basata sulla sovrapposizione di un'unità più vecchia (AV) su una più giovane (TRV) e tale rimane anche alla luce delle informazioni derivate dai sondaggi geognostici, che non mettono in evidenza zone di disturbo tettonico.

I depositi alluvionali del Torrente Taurino sono di tipo sabbioso-limoso, con un sottile strato basale ghiaioso; in asse al tracciato raggiungono lo spessore massimo di 6-7 m e occupano una fascia di fondovalle relativamente ristretta, della larghezza di circa 150 m; il raccordo tra il fondovalle e i versanti avviene in maniera graduale, mediata dalla presenza di accumuli di depositi eluvio-colluviali che possono raggiungere lo spessore di 4-5 m.

12.27.3 Assetto geomorfologico

Una frana composta quiescente (rotazionale + colamento) si estende sul versante destro del Torrente Taurino, tra il fondovalle e 415 m ca. di quota, in asse al tracciato ed è descritta nelle schede dissesti al n. 81. L'accumulo, molto allungato per effetto dei processi di colamento lento, occupa il fondo di un impluvio con asse obliquo rispetto all'asse della linea, tendendo quindi ad allontanarsi dal tracciato. Il piede dell'accumulo raggiunge il fondovalle 140 m a sud (a monte) dell'asse di linea e viene lentamente e progressivamente eroso dal corso d'acqua.

Lo scavo in trincea che immette nel tratto di galleria artificiale che formerà a sua volta l'imbocco della galleria naturale, andrà probabilmente ad interessare parte del corpo franoso. Il sondaggio 3b-GN7-S01

è stato realizzato attraverso il corpo franoso principale, nella parte alta, esattamente in corrispondenza dell'imbocco, incontrando tuttavia uno spessore di materiale detritico non superiore a 1.9 m, cui segue un substrato argilloso (formazione di Terravecchia) debolmente alterato (tracce di ossidazione) ma comunque indisturbato.

Il dissesto appare quindi interessare uno spessore di coltre eluvio-colluviale piuttosto modesto.

Per quanto riguarda la dinamica fluviale, il corso d'acqua è caratterizzato da sponde in erosione impostate nei propri depositi recenti ma non mostra una tendenza all'approfondimento marcata o tracce evidenti di esondazione.

12.27.4 Assetto idrogeologico

Si rileva la probabile presenza di una falda ospitata nei depositi alluvionali di fondovalle, in equilibrio con il corso d'acqua e soggetta a forti variazioni stagionali. Le informazioni disponibili (sondaggio 3b-S11) la collocano a 4 m ca. dal piano campagna.

Considerata la natura argillosa del substrato (complesso CAM, k compresa tra $1E-07$ e $1E-09$ m/s) è probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale, a permeabilità relativamente maggiore rispetto al substrato. Condizioni di drenaggio difficoltoso e/o rallentato sono ipotizzabili nei settori di versante interessati da colamenti lenti in stato quiescente e/o da soliflussi e in particolare in corrispondenza della frana quiescente che si trova sul versante destro del vallone del T. Taurino, precedentemente descritta.

12.27.5 Principali criticità

Presenza di una frana composta quiescente in corrispondenza della trincea TR06 che si collega all'imbocco lato Palermo della galleria naturale GN07. La frana coinvolge uno spessore di detriti di circa 2 m nel tratto di versante intersecato dall'asse di linea.

12.28 GN07 - Imbocco ovest

L'imbocco ovest della GN07 viene realizzato attraverso una breve galleria artificiale, con piano del ferro in salita in direzione Catania.

12.28.1 Sondaggi

Nella zona di imbocco è disponibile il sondaggio 3b-GN7-S01.

12.28.2 Assetto geologico

L'imbocco è realizzato nei litotipi argilloso-marnosi della formazione di Terravecchia (TRV), ricoperti da una coltre eluvio-colluviale di versante di spessore compreso tra 2 e 4 m.

12.28.3 Assetto geomorfologico

Lo scavo della galleria artificiale interesserà parte del corpo franoso descritto in precedenza (cfr. schede dissesti, n. 81). Il sondaggio 3b-GN7-S01 realizzato nella parte alta del corpo franoso, esattamente nel punto in cui è previsto lo scavo, attraversa uno spessore di materiale detritico non superiore a 1.9 m, cui segue un substrato argilloso (formazione di Terravecchia) debolmente alterato (tracce di ossidazione) ma comunque indisturbato. Il dissesto coinvolge quindi uno spessore di coltre eluvio-colluviale piuttosto modesto.

12.28.4 Assetto idrogeologico

In base alla ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica, nel tratto in esame il tracciato della linea si colloca al di sopra della quota della falda. Tuttavia, condizioni di drenaggio difficoltoso e/o rallentato sono probabili all'interno del corpo di frana complessa, in stato quiescente, che si trova in asse al tracciato. Considerata la natura argillosa del substrato (complesso CAM, k compresa tra 1E-07 e 1E-09 m/s) è inoltre probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale, a permeabilità relativamente maggiore rispetto al substrato, anche al di fuori della zona in frana.

12.28.5 Principali criticità

Presenza di una frana composita quiescente in corrispondenza della volta della galleria artificiale. La frana coinvolge uno spessore di detriti di circa 2 m nel tratto di versante intersecato dall'asse di linea.

Probabili condizioni di drenaggio difficoltoso/rallentato nei terreni della coltre in occasione di piogge intense e/o prolungate.

12.29 GN07 - Galleria naturale Xirbi

La galleria Xirbi ha una lunghezza di 1974 m ca. e attraversa un rilievo collinare poco pronunciato raggiungendo una copertura topografica massima di circa 70 m.; la quota del p.f. sale in direzione Catania da 376 m ca. a 410.7 m ca.

Intorno alla pk 45+312 si ha l'innesto della galleria della Finestra Xirbi.

12.29.1 Sondaggi

In questa tratta sono disponibili i sondaggi 3b-GN7-S01, S02, S03 e S04, inoltre i sondaggi 3b-F03 e 3b-F04 relativi alla Finestra Xirbi e il sondaggio 3S11 (2018).

12.29.2 Assetto geologico

La galleria attraversa nell'ordine, da ovest a est, i litotipi della formazione di Terravecchia, membro argilloso-marnoso (TRV) e membro arenaceo (TRVa), il membro di Nicosia del Flysch Numidico (FYN4) e le Argille Variegate (AV). La formazione TRV/TRVa è stata attraversata dai sondaggi 3b-GN7-S01 e 3b-GN7-S02; il secondo in particolare ha messo in evidenza la presenza di facies sabbiose, che si ritiene siano interdigitate stratigraficamente con la facies argilloso-marnosa, come indicato nel profilo geologico allegato.

La parte di galleria impostata nelle unità del substrato pre-tortoniano FYN4 e AV vede la prevalenza di litotipi argilloso-marnoso-siltosi o francamente argillosi, difficilmente differenziabili.

Assetto geomorfologico

Non vi sono particolarità geomorfologiche tali da influire sullo sviluppo dell'opera. È però da segnalare un tratto compreso tra le pk 44+875 e 45+485 caratterizzato da copertura topografica inferiore a 20 m.

12.29.3 Assetto idrogeologico

I litotipi attraversati dalla galleria sono riferibili ai complessi idrogeologici CAM (unità TRV, FYN4 e AV; $1E-09 < k < 1E-07$ m/s) e CCA (unità TRVa; $1E-07 < k < 1E-05$ m/s). In base ai dati dei sondaggi disponibili si ritiene che gran parte del tracciato sia caratterizzata da un carico idraulico che si mantiene prossimo a quota tunnel. Si prevede che il carico possa risalire fino a 25-30 m sopra alla quota del p.f. tra le pk 45

300 e 45+800.

12.29.4 Criticità principali

Potenziale presenza di gas (rischio basso) Si segnala un tratto a bassa copertura topografica tra le pk 44+875 e 45+485.

12.30 GN07 - Imbocco est

L'imbocco est della GN07 corrisponde a una galleria artificiale con piano del ferro quasi orizzontale alla quota di 410.7 m ca.

12.30.1 Sondaggi

In prossimità dell'imbocco sono disponibili i sondaggi 3b-GN7-S05 e 3S12 (2018), quest'ultimo posizionato circa 60 m a ESE.

12.30.2 Assetto geologico

L'imbocco sarà realizzato all'interno dei litotipi argillosi delle Argille Variegate (AV). È presente una coltre eluvio-colluviale di versante di spessore compreso tra 1 e 3 m ca.

12.30.3 Assetto geomorfologico

L'imbocco si affaccia sulla valle di un affluente di sinistra del F. Salito. Non vi sono aspetti geomorfologici di particolare rilievo.

12.30.4 Assetto idrogeologico

In base ai dati disponibili l'area di imbocco si colloca sopra falda.

Considerata la natura argillosa del substrato (complesso CAM, k compresa tra 1E-07 e 1E-09 m/s) è probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale, a permeabilità relativamente maggiore rispetto al substrato.

12.30.5 *Principali criticità*

Nessuna criticità di rilievo.

12.31 *Finestra Xirbi*

La finestra Xirbi imbocca circa 600 m a sud dell'asse di linea, a 449 m di quota in corrispondenza di una dorsale collinare. L'innesto sulla galleria di linea è in corrispondenza della pk 45+312 circa. La copertura topografica va da 0 a circa 47 m, la quota di intersezione è di circa 394 m.

12.31.1 *Sondaggi*

La finestra è stata investigata dai sondaggi 3b-F03 e 3b-F04. Ulteriori informazioni possono essere derivate dal sondaggio 3S11 (2018) che però si posiziona 110 m ca. a ENE dell'asse della finestra.

12.31.2 *Assetto geologico*

La galleria è interamente impostata all'interno del membro di Nicosia del Flysch Numidico (FYN4), con prevalenza di litotipi argilloso-marnoso-siltosi o francamente argillosi.

12.31.3 *Assetto geomorfologico*

Non vi sono particolarità geomorfologiche tali da influire sullo sviluppo dell'opera.

12.31.4 *Assetto idrogeologico*

I litotipi attraversati dalla galleria sono riferibili al complesso idrogeologico CAM (unità FYN4; $1E-09 < k < 1E-07$ m/s). In base ai dati dei sondaggi disponibili si ritiene che parte del tracciato sia sopra falda e che il carico idraulico possa risalire fino a circa 25 m sopra alla quota del p.f. in corrispondenza dell'intersezione con l'asse di linea.

12.31.5 *Criticità principali*

Potenziale presenza di gas (rischio molto basso).

12.32 Tratta all'aperto, pk 46+329 ÷ 46+703 (termine lotto)

12.32.1 Sondaggi

Sono disponibili i sondaggi 3S12 (2018) e 3b-GN8-S01.

12.32.2 Assetto geologico

Il tratto in esame si sviluppa all'interno dell'unità Argille Variegate (AV). È presente una coltre eluvio-colluviale uniforme, di spessore mediamente compreso tra 1 e 3 m.

12.32.3 Assetto geomorfologico

Nessun elemento di rilievo da segnalare

12.32.4 Assetto idrogeologico

La tratta si sviluppa sul complesso idrogeologico del substrato CAM (k compresa tra 1E-07 e 1E-09 m/s). Dalle informazioni disponibili in base alle misure piezometriche effettuate la superficie di falda sembra seguire abbastanza da vicino l'andamento della superficie topografica, per cui è presumibile che lo scavo della galleria artificiale prevista possa incontrare materiali argillosi parzialmente saturi.

Considerata la natura argillosa del substrato è inoltre probabile che in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate si possa creare una zona satura temporanea nella coltre eluvio-colluviale superficiale.

12.32.5 Criticità principali

Nessuna criticità da segnalare.

13 QUADRO DI SINTESI DELLE CRITICITÀ

Sulla base dei dati illustrati nel presente studio geologico, geomorfologico e idrogeologico, si sintetizzano di seguito le criticità rilevate per il tracciato in esame, descritte in dettaglio nel capitolo precedente.

13.1 Criticità generali

13.1.1 *Caratteristiche litotecniche delle unità del substrato*

Queste criticità sono correlate alla natura essenzialmente argillosa o argilloso-limosa di gran parte dei litotipi incontrati lungo il tracciato, appartenenti alle seguenti unità geologiche:

- formazione di Terravecchia, membro argilloso (TRV)
- Flysch Numidico membro di Nicosia /FYN4)
- Argille Variegata (AV)
- Gruppo della Gessoso-Solfifera, formazione di Pasquasia (GPQ)

In base ai dati di terreno, di sondaggio e di laboratorio, i litotipi appartenenti a queste unità sono costituiti essenzialmente da argille, argille limose e argille marnose, a tessitura da stratificata a caotica, in generale sovraconsolidate.

13.1.2 *Eterogeneità litologica*

Le formazioni facenti capo al gruppo della Gessoso-Solfifera sono caratterizzate da una notevole variabilità litologica legata alle caratteristiche dell'ambiente di sedimentazione. Si hanno quindi formazioni in cui si alternano a scala da metrica a pluridecmetrica litotipi molto diversi tra loro per composizione, granulometria, parametri geotecnici e geomeccanici: argille, breccie a matrice argillosa, siltiti, calcari, marne, gessi, livelli salini e sequenze fittamente stratificate di litofacies diverse.

In alcuni casi (ad es. nella formazione di Pasquasia) si possono trovare blocchi e masse da decametriche a pluriettometriche, generalmente stratiformi, a comportamento litoide (es. gessareniti, gessi) annegate in un mezzo a dominante componente argillosa.

13.1.3 Fenomeni di rigonfiamento

In base ai dati bibliografici, nel gruppo della Gessoso-Solfifera possono essere presenti, associati ai gessi, dei livelli di anidriti (CaSO_4 anidro) che potrebbero determinare fenomeni di rigonfiamento al contorno dello scavo, causati dalla loro progressiva idratazione a contatto con l'aria e con acque sotterranee, qualora venissero intercettate dalle gallerie. La presenza di anidriti non è tuttavia stata confermata dai sondaggi realizzati, per cui si ritiene che tale rischio, se non trascurabile, sia comunque basso.

Non si dispone di prove di rigonfiamento relativamente alle diverse facies argillose intercettate dalle gallerie.

13.1.4 Presenza di acquiferi produttivi

Corpi idrici produttivi e caratterizzati da permeabilità media relativamente alta sono localizzati all'interno della formazione di Terravecchia, in particolare nel membro sabbioso-conglomeratico (complesso idrogeologico CSC, $1\text{E}-07 < k < 1\text{E}-05$ m/s). In funzione del carico idraulico locale, definito attraverso le misure piezometriche, in questa formazione si possono intercettare, in galleria, alcune venute d'acqua non trascurabili.

13.1.5 Carsismo e fenomeni di dissoluzione

I fenomeni di carsismo e dissoluzione interessano principalmente i litotipi del gruppo della Gessoso-Solfifera, in particolare calcari, gessi e livelli salini, e subordinatamente calcareniti e gessareniti.

L'estensione dei fenomeni di dissoluzione dipende molto dalla presenza di sistemi di flusso sotterraneo sufficientemente sviluppati. La formazione del Calcarea di Base, che si sviluppa su una porzione considerevole di territorio è in grado di ospitare un acquifero carsico vero e proprio e in effetti le tracce di microcarsismo sono evidenti sia in superficie sia in sondaggio.

Dall'altro lato, la maggior parte delle lenti e livelli gessosi o salini messiniani si ritrova imballata in un sedimento prevalentemente argilloso, marnoso o siltoso poco permeabile; questi orizzonti sono quindi interessati da fenomeni di dissoluzione molto lenti. Questa condizione può ovviamente cambiare in maniera repentina nel momento in cui questi litotipi vengono intercettati dallo scavo di una galleria o di una trincea, che può determinare modificazioni locali del flusso idrico sotterraneo all'intorno del raggio

plastico, oppure portare l'ammasso a contatto con umidità e/o acque provenienti da altri settori dello scavo.

13.1.6 *Presenza di gas*

Dati bibliografici integrati con le osservazioni di terreno e misurazioni fatte in sondaggio sia nella presente fase progettuale sia in fase di progettazione preliminare confermano che la potenziale presenza di gas in galleria, metano in particolare, rappresenta un rischio non trascurabile.

Manifestazioni gassose che danno origine a vulcani di fango (le cosiddette "maccalube") sono note nell'area di Caltanissetta, alla cui periferia est si trova un campo di emanazioni gassose attivo. Da dati bibliografici sono considerate suscettibili alla presenza di gas metano la formazione Terravecchia, il Flysch Numidico e le Argille Variegate. Dati storici riportano anche la presenza di emanazioni superficiali di gas nei pressi di Marianopoli, mentre i rilievi di gas metano effettuati a bocca foro in alcuni sondaggi del PP hanno confermato la presenza di metano nel sottosuolo.

Tale aspetto dovrà essere tenuto in considerazione su tutta la tratta oggetto di intervento in quanto è documentata, anche in altre aree, ad esempio nei pressi della stazione di Marianopoli, la presenza di aree di emissione di gas metano.

I sondaggi realizzati nel corso della presente fase progettuale hanno messo in luce la presenza di idrocarburi anche all'interno dei litotipi del gruppo Gessoso-Solfifera e della formazione dei Trubi, sotto forma sia di spalmature bituminose sia di un forte odore di idrocarburi che permea le carote subito dopo la loro estrazione.

13.1.7 *Aggressività chimica delle acque*

La presenza di lenti saline all'interno della Gessoso Solfifera è stata confermata sia dai sondaggi eseguiti in fase di PD, sia dai dati di terreno (presenza diffusa di sorgenti saline, concrezioni di cloruri nei depositi alluvionali del F. Salito).

La potenziale aggressività delle acque circolanti all'interno delle formazioni messiniane è confermata dai dati analitici che evidenziano a scala locale un ambiente altamente aggressivo legato alla presenza di solfati e cloruri disciolti.

13.2 Sintesi delle criticità

Le tabelle delle pagine seguenti presentano una sintesi delle criticità descritte nei paragrafi precedenti, suddivise per macrotratte e per singole WBS.

Macrotratta	Criticità	Incidenza
Tratta all'aperto pk 0+000 ÷ 8+011	nessuna criticità di rilievo	-
GN01 Galleria Santa Catena	carico idraulico	media
	presenza di gas	bassa
Tratta all'aperto pk 15+866 ÷ 28+086	una frana per colamento lento attiva	marginale
GN02 Galleria Nuova Marianopoli	eterogeneità strutturale	media
	eterogeneità litologica e geomeccanica	alta
	copertura topografica	medio-alta
	litotipi argillosi	alta
	deformazione del cavo	media
	presenza di gas	alta
	carsismo	alta
	acque aggressive	alta
	fenomeni di dissoluzione	medio-alta
	fenomeni di rigonfiamento (anidriti)	bassa
subsidenze superficiali per dissoluzione (sali)	medio-bassa	
Tratta all'aperto pk 34+706 ÷ 35+246	Alveo del T. Mimiani in erosione	bassa
	Scarpata fluviale in arretramento	alta
	Presenza di depositi antropici (smarino)	media
	acque aggressive	alta
GN03 Galleria Trabona	acque aggressive	alta
	presenza di gas	bassa
	basse coperture topografiche	alta
Finestra Trabona	acque aggressive	alta
	eterogeneità litologica	bassa
Tratta all'aperto tra GN03 e GN04	frane superficiali quiescenti	media
	drenaggio difficoltoso	media
	corso d'acqua in erosione	media
GN04 Galleria Salito 1	frane superficiali quiescenti	media
	acque aggressive	bassa
	presenza di gas	bassa
	versante in erosione	alta
	topografia acclive	media
ruscellamento superficiale diffuso	media	
Tratta all'aperto pk 37+413 ÷ 38+192	nessuna criticità di rilievo	-

Macrotratta	Criticità	Incidenza
GN05 Galleria Salito 2	zona di faglia F10 presso imbocco W	bassa
	presenza di gas	media
	copertura topografica ridotta	bassa
Tratta all'aperto pk 39+119 ÷ 42+505	frana quiescente superficiale alla pk 39+210	media
	frana quiescente superficiale alla pk39+470	media
	alvei di piena riattivabili pk 41+500 ÷ 42+100	media
	frana quiescente superficiale alla pk 42+450	media
	zona a franosità diffusa pk 42+450 ÷ 42+500	bassa
GN06 Galleria Masareddu	frana composita attiva	alta
	drenaggio difficoltoso	alta
	zona a franosità diffusa a S dell'imbocco E	bassa
	presenza di gas	media
Finestra Masareddu	presenza di gas	bassa
Tratta all'aperto pk 43+829 ÷ 44+224	una frana composita quiescente	alta
GN07 Galleria Xirbi	frana composita quiescente	alta
	drenaggio difficoltoso	alta
	presenza di gas	media
	bassa copertura topografica	alta
Finestra Xirbi	presenza di gas	bassa
Tratta all'aperto pk 46+329 ÷ 46+703 (termine lotto)	nessuna criticità di rilievo	-

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	235 di 257

14 AFFIDABILITÀ DEL MODELLO GEOLOGICO PER LE GALLERIE PRINCIPALI

Nel lotto esaminato sono presenti alcune gallerie naturali di lunghezza significativa. Dal momento che per queste opere le ricostruzioni geologiche riguardano settori profondi del substrato, che spesso richiedono considerevoli estrapolazioni a partire dalla superficie, esse rappresentano gli elementi per i quali possono esistere incertezze significative.

Con lo scopo di fornire una quantificazione di tali incertezze, utile per supportare scelte progettuali più o meno conservative, l'affidabilità del modello geologico previsionale è stata stimata tramite l'approccio proposto da Perello (Perello, 2011), che definisce l'indice GMR o "Geological Model Rating".

14.1 Principi alla base del metodo GMR

Il metodo permette la definizione di un indice numerico che assume il significato riportato nella tabella che segue.

Class	GMR	Reliability	Description
A	10–7.5	Good	(1) to be excluded; (2) possible: imprecision order of magnitude 0–50 m; (3) possible: imprecision order of magnitude 0–25%; (4) to be excluded; (5) to be excluded
B	7.5–5	Fair	(1) to be excluded; (2) possible: imprecision order of magnitude 0–100 m; (3) possible: imprecision order of magnitude 0–50%; (4) possible but not probable; (5) to be excluded
C	5–2.5	Poor	(1) possible but not probable; (2) possible: imprecision order of magnitude 0–200 m; (3) possible; imprecision order of magnitude 0–100%; (4) possible; (5) possible but not probable
D	2.5–0	Unreliable	(1) possible; (2) possible: imprecision order of magnitude >200 m; (3) possible: imprecision order of magnitude >100%; (4) possible; (5) possible

Points 1–5 in the description field refer to the following items: 1 significant deviation with regard to the RGM; 2 imprecision in the position of lithological or fault zones contacts; 3 imprecision in the thickness of lithological levels or fault zones; 4 presence of further critical geological elements of secondary importance besides the forecasted ones (metric to decametric faults/levels with poor geomechanical conditions); 5 presence of further critical geological elements of primary importance besides the forecasted ones (decametric to pluri-decametric faults/levels with poor geomechanical conditions)

Tabella 41 - Significato dell'indice GMR (Perello, 2011).

In sostanza, sulla base del valore GMR ottenuto, il modello geologico previsionale può ricadere in una delle quattro classi di affidabilità (A-buona, B-discreta, C-mediocre, D-inaffidabile). A ognuna di queste quattro classi corrispondono diverse possibilità che elementi del modello siano effettivamente presenti nella posizione prevista, che non siano presenti, oppure che non sia da escludersi la presenza di elementi diversi da quelli attesi e critici dal punto di vista costruttivo.

La valutazione è fatta su base numerica, attribuendo dei "rating" a parametri ritenuti significativi.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. C	FOGLIO 236 di 257
--	------------------	-------------	---------------------	--------------------------	-----------	----------------------

L'attribuzione dei *rating* è guidata da alcune tabelle che tendono ad incentivare la maggior oggettività possibile.

I parametri chiave da valutare riguardano la qualità delle indagini, ovvero:

- a. la qualità delle indagini dirette (sondaggi);
- b. la qualità dei rilievi geologici di superficie;
- c. la qualità delle indagini indirette, ovvero delle indagini geofisiche.

Tali parametri vengono poi combinati attraverso specifici processi matriciali, valutando la loro efficacia nel determinare previsioni attendibili attraverso la stima di ulteriori aspetti che sono:

- d. la complessità del sistema geologico da modellizzare;
- e. i criteri di interpretazione e la capacità ed esperienza del team che ha condotto l'interpretazione;
- f. l'eterogeneità delle caratteristiche meccaniche del sistema geologico.

Per maggiori dettagli si rimanda a Perello (2011).

14.2 Considerazioni generali sui risultati delle valutazioni

Di seguito vengono presentati dei diagrammi che illustrano la variazione di affidabilità del modello geologico lungo lo sviluppo delle principali gallerie di linea. Nei diagrammi, in ascissa sono rappresentate le progressive chilometriche, sull'ordinata sinistra il valore dell'indice GMR e sull'ordinata destra il peso che i tre parametri relativi alle indagini (punti a-c del paragrafo precedente) hanno nel determinare l'esito della valutazione. Il peso è espresso con un valore che varia tra 0 e 1, ovvero sostanzialmente in percentuale; esso fornisce sostanzialmente una indicazione sull'entità dei contributi che i tre parametri forniscono alla affidabilità del modello. Tale dato può essere utile per comprendere in quale dei tre tipi di indagini il modello sia più carente e pertanto sia conveniente, in eventuali campagne future, investire maggiormente.

Per quanto riguarda la stima dei rating dei tre parametri riguardanti le indagini (punti a-c precedenti) si tenga conto dei commenti seguenti.

Per le indagini dirette (punto a precedente; Tabella 42);

- la quantità dei sondaggi è stata stimata tenendo conto di tutte le campagne di indagine

disponibili;

- la percentuale di sondaggi carotati è quasi sempre del 100%.
- La distanza media dal tunnel è stata attribuita tenendo conto della distribuzione dei sondaggi, ovvero quando esistevano situazioni in cui molti sondaggi erano concentrati su brevissime distanze e quando essi investigavano sostanzialmente sempre la medesima situazione, nel calcolo della distanza media essi sono stati considerati come un unico sondaggio.
- La profondità raggiunta dai sondaggi è quasi sempre superiore a quella delle gallerie e pertanto si ricade sempre nella condizione migliore tra quelle previste dalle tabelle di definizione del rating.

Factors contributing to DPQ (drillholes potential quality)

Factor	Value	Rating	Factor	Value	Rating	Factor	Value	Rating	Factor	Value	Rating
Drillholes quantity in an interval of 2 km	1	3	m% of cored drillhole	0%	1	Average distance from tunnel axis (m)	2000	1	Average drillholes depth vs. tunnel depth	0,25	1
	3	5		30%	3		500	4		0,75	5
	5	8		60%	5		250	8		1,00	9
	>7	10		100%	9		0	10		1,20	10
Add the rating (10-rating) × 0.5 if some of the drillholes are extrapolable with certainty to the considered stretch; rating 10 with 1 drillhole intersecting the stretch			Add the rating (10-rating) × 0.5 if BHTV is available; rating=10 for 100% cored drillhole + BHTV			Add the rating (10-rating) × 0.5 if some of the drillholes are extrapolable with certainty to the considered stretch; rating 10 with 1 drillhole intersecting the stretch			Rating 10 with 1 drillhole intersecting the stretch		

Tabella 42 - valutazione della qualità delle indagini dirette (Perello, 2011).

Per quanto attiene ai rilevamenti di superficie (punto b precedente; Tabella 43):

- il *rating* attribuito rimane costante su tutta l'area esaminata. Ciò è dovuto al fatto che gli elementi che lo determinano non subiscono variazioni significative.
- La scala di rilevamento è costante pari a 1:5.000; l'area cartografata nell'intorno del tunnel è sempre di estensione tale da garantire il massimo *rating*.
- La percentuale di affioramento è sempre molto bassa.
- Il metodo di raccolta dei dati è di qualità omogenea e da considerarsi medio-alta.

Factors contributing to MPQ (mapping potential quality) derivation

Factor	Value	Rating	Factor	Value	Rating	Factor	Value	Rating	Factor	Value	Rating
Mapping scale	1:50000	1	Mapped area (km ²) vs. tunnel depth (km)	2	1	Outcrop percentage	<10%	1	Field data collection method	A	2
	1:25000	3		4	4		30%	4		B	5
	1:10000	7		10	8		60%	8		C	10
	1:5000	8		>20	10		>90%	10	See note (1) below		
			This parameter is not referred to a specific section, but to the whole tunnel layout			This parameter must be evaluated over a distance of some km (0.5–3) around the considered layout, depending on tunnel depth (see also note 2 below)					

Tabella 43 - Valutazione della qualità dei rilevamenti di superficie (Perello, 2011).

Per quanto attiene alle indagini geofisiche (punto c precedente; Tabella 44):

- Il rating per questo parametro è praticamente nullo sulla maggior parte delle zone investigate; solo nelle zone di imbocco sono localmente presenti delle indagini geofisiche, che comunque contribuiscono in modo relativamente limitato.

Factors contributing to GPQ (geophysic potential quality) derivation

Factor	Value	Rating	Factor	Value	Rating	Factor	Value	Rating	Factor	Value	Rating
km of sampling lines in an interval of 2 km	<0,1	1	Method resolution	A	2	Average distance from tunnel axis (m)	2000	1	Average investigated depth vs. tunnel depth	0,25	1
	0,5	4		B	4		500	4		0,75	5
	1	7		C	7		250	7		1	9
	2	9		D	10		0	10		1,2	10
Add the rating (10-Rating) × 0.5 if some line is extrapolable with certainty to the considered stretch; rating 10 with 1 line intersecting the stretch			A=low resolution without validation drillholes; B=high resolution without validation drillholes; C=low resolution with validation drillholes; D=high resolution with validation drillholes			Add the rating (10-Rating) × 0.5 if some line is extrapolable with certainty to the considered stretch; rating 10 with 1 line intersecting the stretch			Rating 10 with 1 line intersecting the stretch		

Tabella 44 - Valutazione della qualità delle indagini geofisiche (Perello, 2011).

14.3 Risultati delle valutazioni

14.3.1 GN01 – Galleria Santa Catena

L'esito dell'analisi GMR per questa galleria indica che l'affidabilità del modello è sempre discreta (Fair) oppure ancora migliore ("Fair": Figura 53). Pertanto, si può escludere che esistano significative deviazioni rispetto al modello previsionale e che esistano elementi geologici critici diversi da quelli previsti. Degli errori rispetto agli elementi geologici previsti possono verificarsi ma rimangono confinati all'ordine del centinaio di metri per quanto riguarda la posizione e del 50% per quanto riguarda gli spessori. Elementi geologici di rilevanza secondaria non prevedibili possono essere presenti, benché la probabilità che ciò si verifichi sia piuttosto bassa.

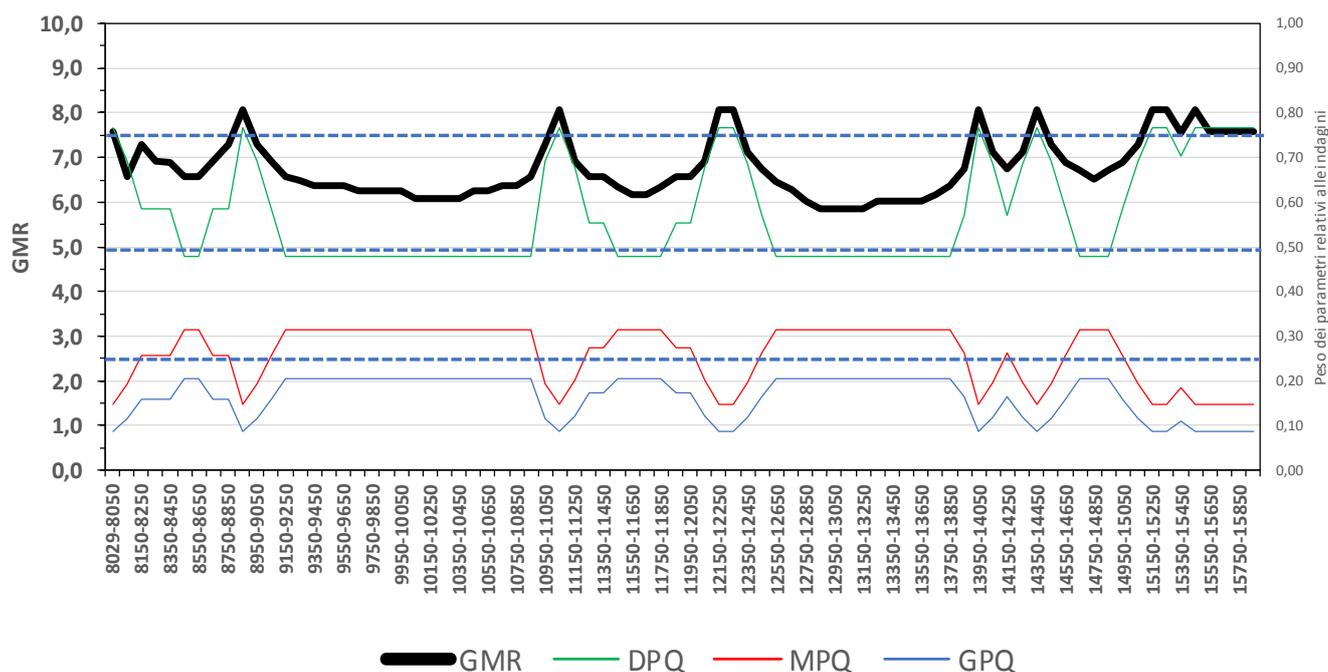


Figura 53 –Diagramma di valutazione dell'affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN01 Santa Catena. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.

Come si osserva dal grafico, gli incrementi più significativi nell'indice GMR sono determinati dalla presenza di sondaggi nella tratta esaminata. Si può pertanto affermare che, se si volessero ulteriormente ridurre le zone di incertezza, il metodo di indagine più efficace per farlo sarebbe la realizzazione di nuovi sondaggi; gli approfondimenti cartografici porterebbero dei benefici ma di limitata entità, soprattutto in ragione della scarsa percentuale di affioramento che rende difficoltoso

raggiungere dei buoni livelli di dettaglio nelle previsioni con questa metodologia. Approfondimenti geofisici porterebbero contributi molto limitati.

14.3.2 GN02 – Galleria Nuova Marianopoli

L'analisi GMR per questa galleria indica che l'affidabilità del modello è perlopiù discreta (Fair) con sporadici settori che presentano un'affidabilità buona (Good); va però notato che esistono anche zone, seppur di limitata estensione, in cui l'affidabilità del modello si riduce, divenendo scadente ("Poor": Figura 54). Pertanto, si può escludere che esistano significative deviazioni rispetto al modello previsionale e che esistano elementi geologici critici diversi da quelli previsti. Degli errori rispetto agli elementi geologici previsti possono verificarsi ma rimangono confinati all'ordine del centinaio di metri per quanto riguarda la posizione e del 50% per quanto riguarda gli spessori. Elementi geologici di rilevanza secondaria non prevedibili possono essere presenti, benché la probabilità che ciò si verifichi sia piuttosto bassa.

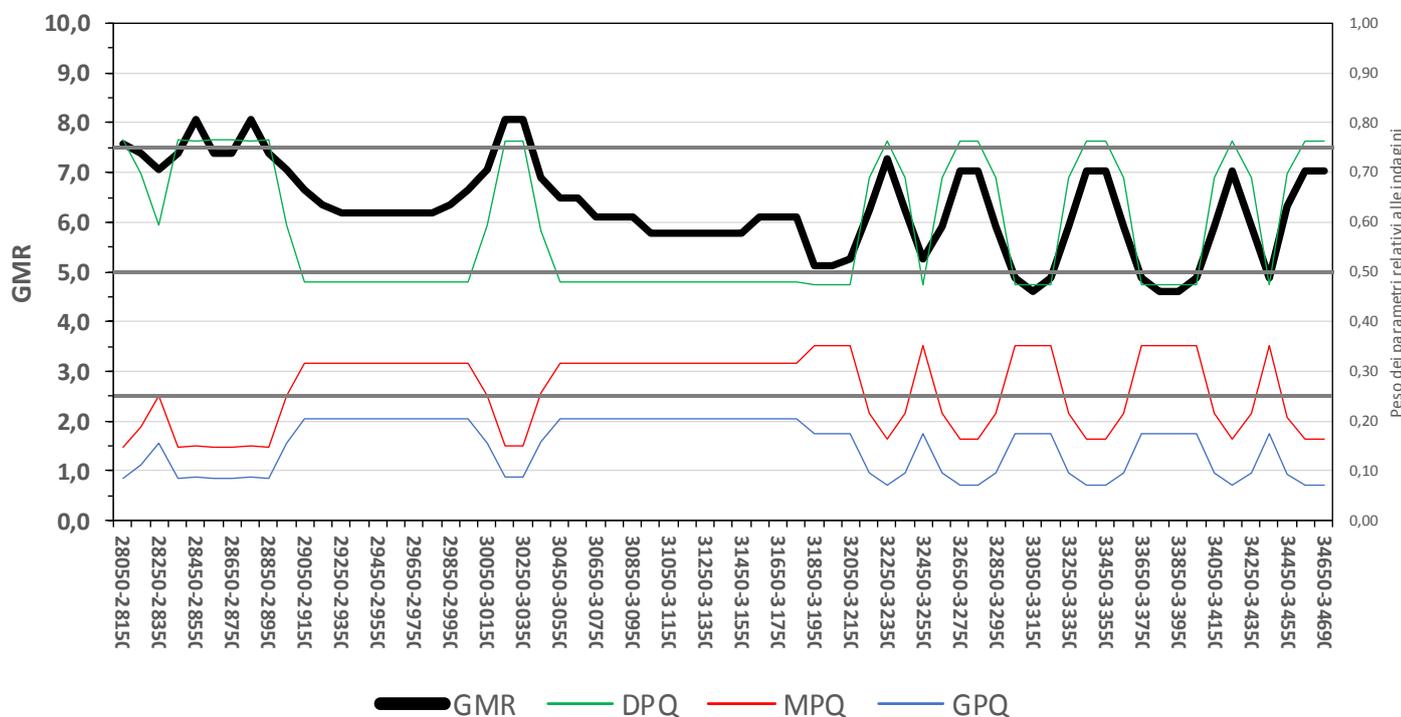


Figura 54 – Diagramma di valutazione dell'affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN02 Nuova Marianopoli. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a , b , c .

Nelle tratte con affidabilità scadente gli scostamenti dal modello geologico e la presenza di elementi

geologici critici di primaria importanza non può essere esclusa, pur rimanendo bassa la probabilità che ciò accada. Gli errori di posizionamento e spessore degli elementi geologici eventualmente presenti in queste tratte sono maggiori.

Anche in questo caso valgono le considerazioni fatte per la galleria precedente in merito al peso dei vari metodi di indagine.

La diminuzione dell'affidabilità del modello nella zona dell'imbocco est è principalmente dovuta a un contesto geo-litologico più complesso che nel resto della tratta, che limita quindi la capacità di previsione delle indagini effettuate.

14.3.3 GN03 – Galleria Trabona

L'indice GMR per la Galleria Trabona varia da discreto a scadente (Figura 55).

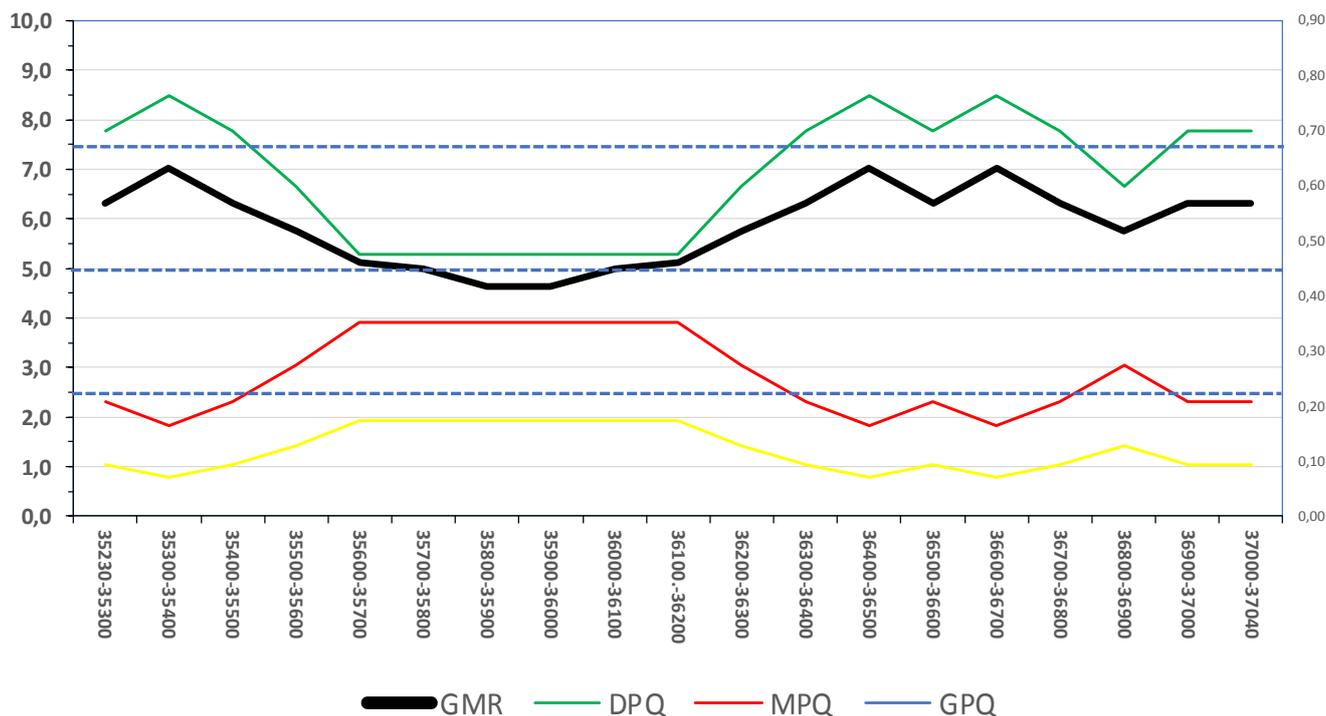


Figura 55 – Diagramma di valutazione dell'affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN03 Trabona. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.

La ragione principale per la qualità mediamente bassa del modello previsionale è legata all'assenza di indagini dirette se non sugli imbocchi e anche a una complessità del contesto geologico che si può presumere piuttosto elevata. Ciò rende possibile, seppur poco probabile, che nella porzione centrale

dell'opera vengano intercettati elementi geologici di primaria importanza non previsti.

Anche per questa galleria valgono le considerazioni fatte per la galleria precedente in merito al peso dei vari metodi di indagine.

14.3.4 GN04 – Galleria Salito 1

Per quest'opera l'analisi GMR indica una qualità discreta del modello previsionale. Pertanto non sono ipotizzabili significativi scostamenti dalle previsioni; errori di limitata rilevanza sono possibili nel posizionamento dei limiti geologici.

14.3.5 GN05 – Galleria Salito 2

Anche per questa galleria l'analisi GMR indica una qualità discreta del modello previsionale. Non sono ipotizzabili significativi scostamenti dalle previsioni; errori di limitata rilevanza sono possibili nel posizionamento dei limiti geologici.

14.3.6 GN06 – Galleria Masareddu

Per la Galleria Masareddu l'analisi GMR indica una discreta affidabilità della previsione (Figura 56).

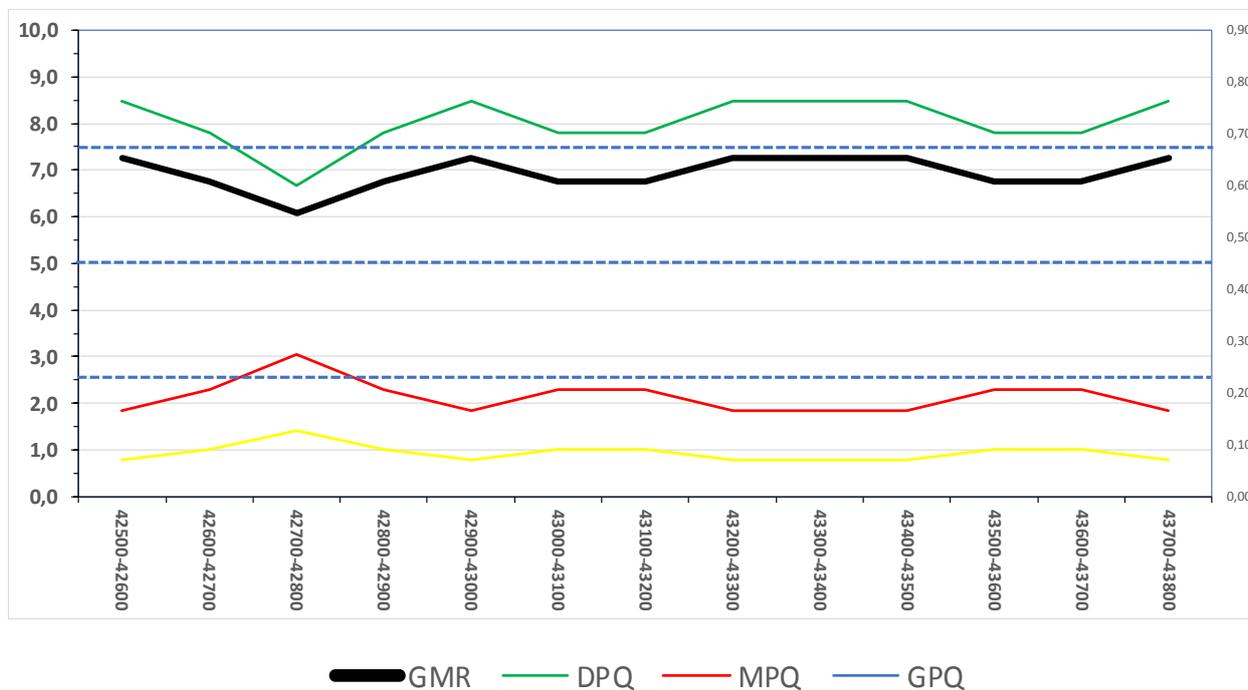
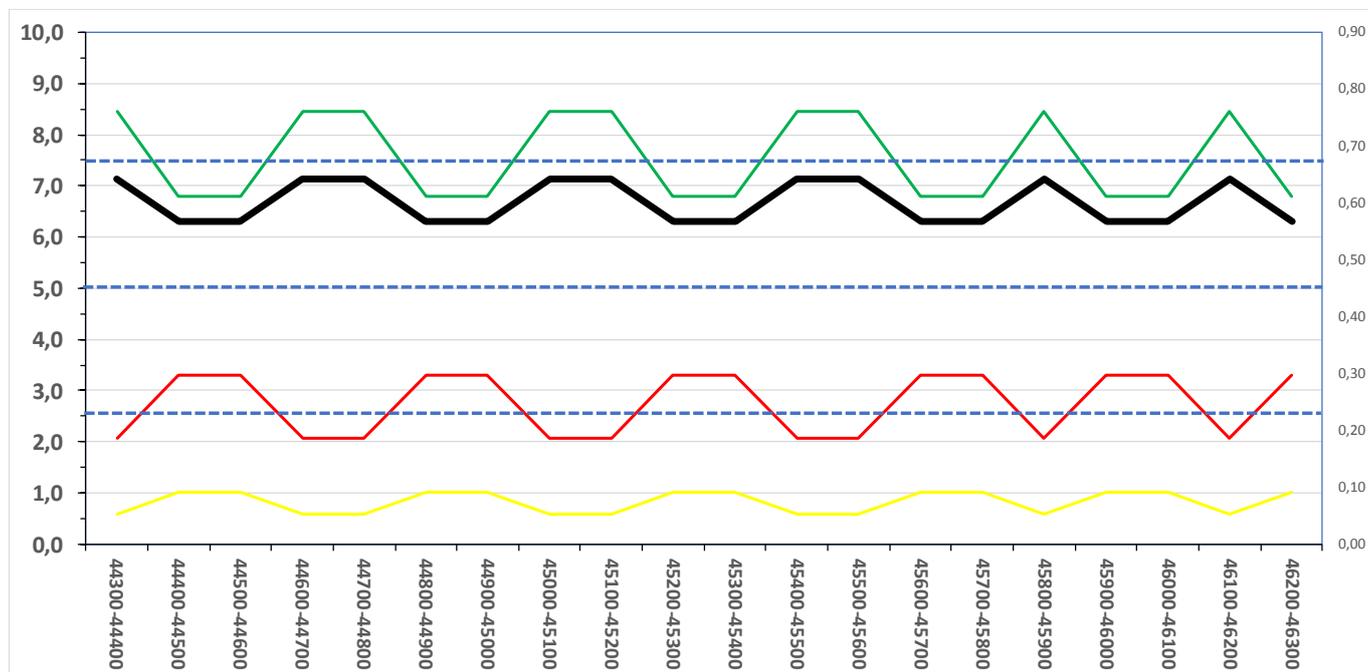


Figura 56 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN06 Masareddu. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.

14.3.7 GN07 – Galleria Xirbi

Anche per quest’opera l’analisi GMR attesta una discreta affidabilità del modello geologico previsionale. Come nel caso precedente ciò è da ricondursi principalmente alla elevata densità di indagini dirette, fattore che ha una elevata incidenza sulla buona capacità previsionale del modello. Non sono ipotizzabili significativi scostamenti dalle previsioni; errori di limitata rilevanza sono possibili nel posizionamento dei limiti geologici.



— GMR — DPQ — MPQ — GPQ

Figura 57 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN06 Masareddu. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a , b , c .

14.3.8 GN01 – Galleria Montestretto

L’esito dell’analisi GMR per questa galleria indica che l’affidabilità del modello varia da discreta (Fair) a scadente (Poor; Figura 58). Nei tratti ricadenti nella prima casistica, si può escludere che esistano significative deviazioni rispetto al modello previsionale e che esistano elementi geologici critici diversi da quelli previsti. Degli errori rispetto agli elementi geologici previsti possono verificarsi ma rimangono confinati all’ordine del centinaio di metri per quanto riguarda la posizione e del 50% per quanto riguarda gli spessori. Elementi geologici di rilevanza secondaria non prevedibili possono essere presenti, benché la probabilità che ciò si verifichi sia piuttosto bassa.

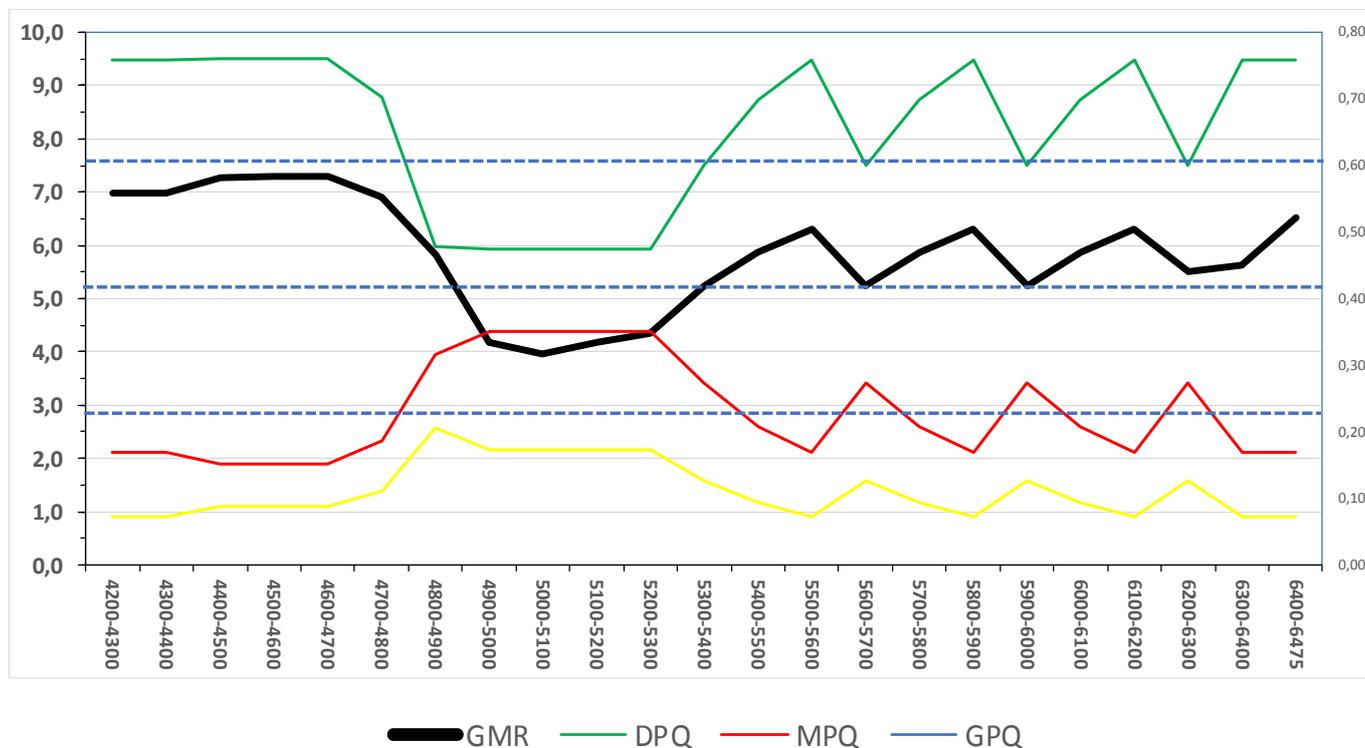


Figura 58 –Diagramma di valutazione dell’affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN01 Montestretto. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a, b, c.

La seconda casistica è invece verificata tra pk 4+900 e 5+400. In questo caso degli scostamenti e la presenza di elementi geologici significativi diversi da quelli previsti sono possibili, seppur ciò non sia molto probabile. Anche gli errori sul posizionamento dei limiti geologici e sullo spessore degli elementi presenti possono essere maggiori che nelle altre tratte.

Come si osserva dal grafico, gli incrementi più significativi nell’indice GMR sono determinati dalla presenza di sondaggi nella tratta esaminata. Si può pertanto affermare che, se si volessero ulteriormente ridurre le zone di incertezza, il metodo di indagine più efficace per farlo sarebbe la realizzazione di nuovi sondaggi; gli approfondimenti cartografici porterebbero dei benefici ma di limitata entità, soprattutto in ragione della scarsa percentuale di affioramento che rende difficoltoso raggiungere dei buoni livelli di dettaglio nelle previsioni con questa metodologia. Approfondimenti geofisici porterebbero contributi molto limitati.

Va comunque osservato che anche in tratte coperte da un discreto numero di sondaggi si registra la tendenza ad avere previsioni, seppur discrete, tendenti allo scadente. Ciò è dovuto al contesto

geologico, che presenta una complessità piuttosto elevata e che pertanto tende a rendere poco efficaci le estrapolazioni dei dati puntuali dei sondaggi. Pertanto, nel progettare eventuali nuovi approfondimenti di indagine si dovrà tenere conto di queste limitazioni e considerare che la densità di indagini deve essere piuttosto alta se si vuole ottenere un elevato grado di affidabilità.

14.3.9 GN02 – Galleria Salso

Per questa galleria l'analisi GMR indica sempre un grado di affidabilità discreto per il modello geologico previsionale (Figura 59). Pertanto, si può escludere che esistano significative deviazioni rispetto al modello previsionale e che esistano elementi geologici critici diversi da quelli previsti.

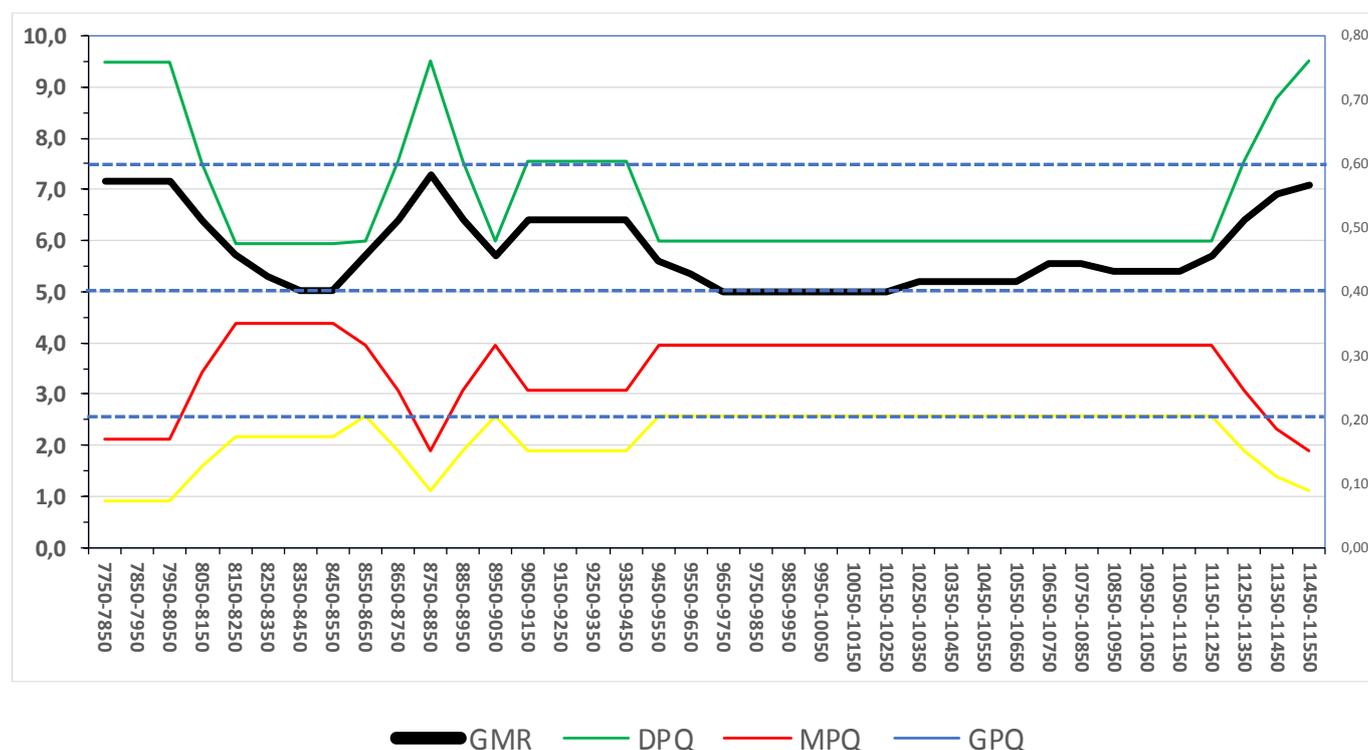


Figura 59 – Diagramma di valutazione dell'affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN01 Salso. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a , b , c .

Degli errori rispetto agli elementi geologici previsti possono verificarsi ma rimangono confinati all'ordine del centinaio di metri per quanto riguarda la posizione e del 50% per quanto riguarda gli spessori. Elementi geologici di rilevanza secondaria non prevedibili possono essere presenti, benché la probabilità che ciò si verifichi sia piuttosto bassa.

Va tuttavia notato che in larghe tratte l'indice GMR scende fino a collocarsi in corrispondenza del passaggio tra una classe discreta e scadente. Ciò è dovuto per la maggior parte dei casi alla diminuzione della densità di indagini dirette in tali settori; anche la realizzazione di un solo sondaggio di verifica in queste tratte contribuirebbe stabilire una maggior affidabilità previsionale.

14.3.10 GN03 – Galleria Trinacria

Questa galleria presenta una tratta piuttosto estesa in cui l'indice GMR testimonia un grado di affidabilità scadente delle previsioni (Figura 60). Si tratta in particolare della tratta compresa fra le pk 16+200 e 23+200. All'interno di questo settore, localmente il grado di affidabilità cresce fino a discreto, ma si tratta di sezioni di limitata estensione, mentre esiste invece un'ulteriore sezione, compresa fra le pk 20+600 e 22+200 in cui l'indice testimonia condizioni prossime o addirittura collocate direttamente all'interno del campo tipico di modelli non affidabili (Unreliable).

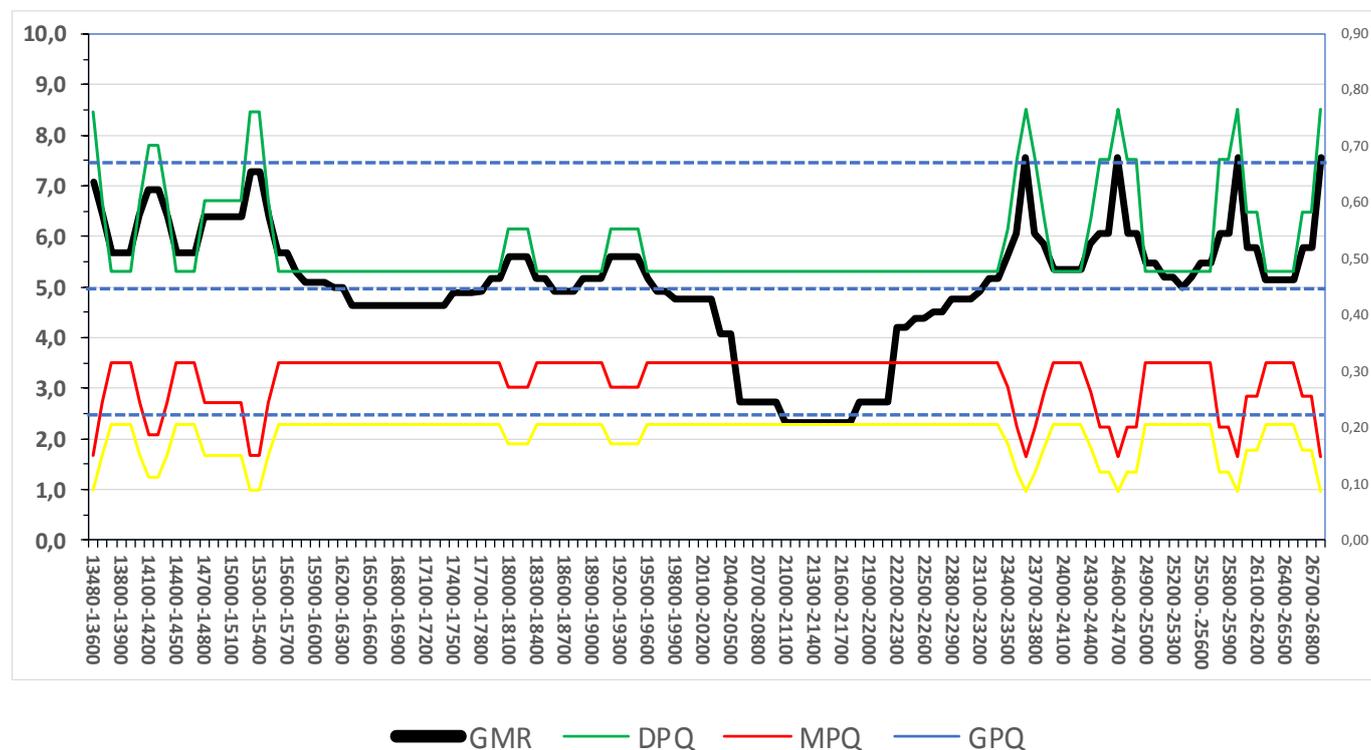


Figura 60 –Diagramma di valutazione dell'affidabilità del modello geologico (GMR) per la galleria GN03 Trinacria. DPQ, MPQ e GPQ sono le curve relative ai pesi dei tre parametri a , b , c .

Questa condizione è legata soprattutto alla bassa densità di indagini dirette, che si giustifica soprattutto

per l'elevata copertura topografica della galleria.

In questo caso dunque larghe porzioni della galleria possono essere caratterizzate da scostamenti rispetto al modello previsionale, con eventuale presenza di elementi geologici significativi non previsti. La presenza di tali scostamenti può essere più o meno probabile da zona a zona, ma comunque da tenere in considerazione a livello generale.

Un miglioramento della previsione geologica può essere ottenuto solo attraverso la realizzazione di nuove indagini dirette.

15 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AA.VV. (1990) – Carta geologica della Sicilia centro-orientale (scala 1:50.000). S.EL.CA., Firenze.
- Abate B., Renda P. & Tramutoli M. (1988) – Note illustrative della carta geologica dei Monti di Termini Imerese e delle Madonie occidentali (Sicilia centro-settentrionale). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 41, 475-505.
- Accordi B. (1958) – Relazione sui rilevamenti geologici del 1956 nei monti Nebrodi (Sicilia Settentrionale). *Bollettino del Servizio Geologico d'Italia*, 79, 929-949.
- Agnesi V., De Cristofaro D., Di Maggio C., Macaluso T., Madonia G. & Messina V. (2000) – Morphotectonic setting of the Madonie area (central northern Sicily). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 55, 373-379.
- Alfieri A., Bafuno G., Collalti M., Giglio I., Renda S. & Ricco S. (1994) – I dissesti in Sicilia. Primi risultati del censimento dei dissesti nei centri abitati. Studio della franosità del bacino del Torrente Fichera (Fiume Imera Settentrionale). *Rivista Mineraria Siciliana*, 30, 51-65.
- 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.
- Antonioli F., Ferranti L., Lambeck K., Kershaw S., Verrubbi V. & Dai Pra G. (2006) – Late Pleistocene to Holocene record of changing uplift-rates in southern Calabria and northeastern Sicily (southern Italy, Central Mediterranean Sea). *Tectonophysics*, 422, 23-40.
- APAT (2006) - Fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti. Classificazione e simbologia. Manuali e Linee Guida 39/2006, 177 pp.
- APAT (2007) – Rapporto sulle frane in Italia: il Progetto IFFI. Metodologia, risultati e rapporti regionali. *Rapporti APAT*, 78, 681 pp.
- Argnani A., Mazzarini F., Bonazzi C., Bisson M., Isola I., 2013. The deformation offshore of Mount Etna as imaged by multichannel seismic reflection profiles. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 251: 50-64.
- Aurelli A., Contino A. & Cusimano G. (2008) – Aspetti idrogeologici e vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi delle Madonie (Sicilia centro-settentrionale). Note illustrative della "Carta delle Vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi delle Madonie", scala 1:50'000. Regione Siciliana-Azienda Regionale Foreste Demaniali, Università degli studi di Palermo, Dipartimento di Geologia e Geodesia.
- Aurelli A., Contino A., Cusimano G., Fazio F. & Silluzio C. (2001) – Groudwater vulnerability of the Madonie mountains. In: Mudry J. & Zwaler F. (Eds.), *Proceeding of the 7th Conference on Limestone Hydrogeology and Fissured Media*, Besançon, France, 20-22 Settembre 2001.
- 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., Rigano R. & Antichi B. (2000) – Contributo alla revisione delle zone sismogenetiche della Sicilia. Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-99), CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa Terremoti, Roma 31-38.
- Baratta M. (1901) – I terremoti d'Italia. Arnaldo Forni, Bologna.
- Barbano M.S. & Rigano R. (2001) – Earthquake sources and seismic hazard in the south-eastern Sicily. *Annali di Geofisica*, 44, 723-738.
- Bello M., Franchino A. & Merlini S. (2000) – Structural model of eastern Sicily. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 55, 61-70.
- Bianca M., Monaco C., Tortorici L. & Cernobori L. (1999) – Quaternary normal faulting in south-eastern Sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake. *Geophysical Journal International*, 139, 370-394.
- Bianchi F., Carbone S., Grasso M., Invernizzi G., Lentini F., Longaretti G., Merlini S. & Monstardini F. (1987) – Sicilia orientale: profilo geologico Bebrodi-Iblei. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 38, 429-458.
- Bonardi G., Cello G., Perrone V., Tortorici L., Turco E. & Zuppetta A. (1982) – The evolution of the northern sector of the Calabria-Peloritani arc in a semiquantitative palynspastic restoration. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 101, 259-284.
- Bonardi G., Giunta G., Liguori V., Perrone V., Russo M. & Zuppetta A. (1976) – Schema geologico dei Monti Peloritani. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 95, 49-74.
- 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., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. & Valensise G. (1995) – Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.c. al 1980. ING-S.G.A., Bologna, 970 pp., con database su CD-ROM.
- 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.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. & Gasperini P. (1997) – Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C al 1980. ING-SGA, Bologna.
- Bosellini A. (2005) – Storia Geologica d'Italia: Gli ultimi 200 milioni di anni. Zanichelli, Bologna, 183 p.
- Branca S., Azzaro R., De Beni E., Chester D., Duncan A. (2015) - Impacts of the 1669 eruption and the 1693 earthquakes on the Etna Region (Eastern Sicily, Italy): An example of recovery and response of a small area to extreme events. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 303, Supplement C: 25-40.
- 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., Kanes W. & Stelhi F.G. (eds): *The ocean basins and margins*. Plenum Press, New York, 331-339.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	251 di 257

- Butler B.C.M. & Bell J.D. (1996) – Lettura e interpretazione delle carte geologiche. Zanichelli Editore, Bologna.
- Butler et alii (1995) – Tectonic and sequence stratigraphy in Messinian basin Sicily: constraints on the initiation and termination on the Mediterranean salinity crisis – GSA Bull. Apr. 1995, v. 107; no. 4; p. 425-439.
- 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., Catalano S., Grasso M., Lentini F., Monaco C. (1990) - Carta geologica della Sicilia centro-orientale. Scala 1:50.000.
- Carbone S., Lentini F. & Branca S. (2010) – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50,000. Foglio 633 Paternò. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba c. & Amato a. (2006) – CSI, Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://www.ingv.it/CSI/>.
- Catalano R. & D'Argenio B. (1982) – Schema geologico della Sicilia occidentale. In: Catalano R. & D'Argenio B. (eds): Guida alla geologia della Sicilia Occidentale, Memorie Società Geologica Italiana, suppl. A, 24, 9-41, Palermo.
- Catalano R., Avellone G., Basilone L., Contino A. & Agate M. (2011) – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000. Foglio 609 Termini Imerese – Capo Plaia. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.
- 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.
- Catalano R., Franchino A., Merlini S. & Sulli A. (2000) – Central western Sicily structural setting interpreted from seismic reflection profiles. Memorie della Società Geologica Italiana, 55, 5-16.
- Catalano S. & De Guidi G. (2003) – Late Quaternary uplift of north-eastern Sicily: relation with the active normal faulting deformation. Journal of Geodynamics, 36, 445-467.
- Catalano S., De Guidi G., Romagnoli G., Torrisi S., Tortorici G. & Tortorici L. (2007) – The migration of plate boundaries in SE Sicily: influence on the large-scale kinematic model of the African Promontory in Southern Italy. Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto. 2007.12.003.
- 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.
- Channell J.E.T., Oldow J., Catalano R., D'Argenio B. (1990) - Paleomagnetically Determined Rotations in the Western Sicilian Fold and Thrust Belt. Tectonics 9: 641-660.
- 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.
- Contino A. (2002) – Geologia e Geomorfologia della bassa valle del fiume Imera settentrionale. In: Belvedere O., Bertini A.,

Boschian G., Burgio A., Contino A., Cucco R. M. & Lauro D., Himera I (eds) *Prospezione archeologica nella valle dell'Imera*. Dipartimento di Beni Culturali Storico – archeologici, Socio – antropologici e Geografici, Sezione Archeologica, Università degli Studi di Palermo, pp.25 – 48.

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. n 537, 127-144, Roma.

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

Di Grande A., Grasso M., Lentini F. & Scamarda G. (1976) – *Facies e stratigrafia dei depositi pliocenici tra Leoforte e Centuripe (Sicilia centro-orientale)*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 95, 1319-1345.

DISS Working Group (2010) – *Database of individual Seismogenic Sources (DISS)*, version 3.1.1., disponibile in internet all'indirizzo <http://diss.rm.ingv.it/diss/index.html>.

DISS Working Group (2018) - *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)*, Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Ferrara V. & Marchese G. (1977) – *Ricerche idrogeologiche su alcuni acquiferi alluvionali della Sicilia orientale*. *Atti dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali di Catania*, 9, 189-230.

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.

Finetti I., Lentini F., Carbone S., Del Ben A., Di Stefano A., Forlin E., Guarnieri P., Pipan M. & Prizzon A. (2005) – *Geological outline of Sicily and lithospheric tectono-dynamics of its Tyrrhenian Margin from new CROP seismic data*. In: Finetti I. (ed), "CROP Deep Seismic exploration of the Mediterranean Region. Spec. Vol. Elsevier, chapter 15, 319-376.

Francaviglia A. (1960) – *Appunti sulla geologia del M. Judica (Sicilia centro-orientale)*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 79, 197-206.

Galadini F., Meletti C. & Vittori E. (2000) – *Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie*. Risultati del progetto 5.1.2. "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili", CNE Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 1-30.

Gasparini C., Iannacone G., Scandone P. & Scarpa R. (1982) – *Seismotectonics of the Calabrian Arc*. *Tectonophysics*, 82, 267-286.

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*

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	253 di 257

Geologica Italiana, 99, 57-102.

Ghisetti F. & Vezzani L. (1984) – Thin-skinned deformations of the western Sicily thrust belt and relationships with crustal shortening: Mesosstructural data on the Mt. Kumeta-Alcantara Fault Zone and related structures. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 103, 129-157.

GNDT (1996) – Zonazione sismogenetica del territorio nazionale ed aree limitrofe ZS 4.0. *Atti del Convegno Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*, 1, 119-135.

Granath J.W. & Casero P. (2004) – Tectonic setting of the petroleum system of Sicily. In: Swenner R., Roure F. & Granath J.W. (eds): *Deformation, fluid flow, and reservoir appraisal in foreland and thrust belts*. AAPG Hedberg Series, n. 1, 391-411.

Grasso M. & Butler R.W.H (1991) – “Tectonic controls on the deposition of late Tortonian sediments in the Caltanissetta Basin of central Sicily” *MEM. SOC. GEOL. IT.*, 47 (1191), 313-324.

Gruppo di Lavoro CPTI (1999) – *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. ING, GNDT, SGA, SSN. 92 pp.

Gruppo di Lavoro CPTI (2004) - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV, Bologna.

Guerrera F. & Wezel F.C. (1974) – Nuovi dati stratigrafici sui flysch oligo-miocenici siciliani e considerazioni tettoniche relative. *Rivista Mineraria Siciliana*, 145-147, 27-51.

Hugonie G. (1979) – *L'évolution géomorphologique de la Sicile septentrionale*. Thèse Lettres (Géomorphologie). Université de Paris-Sorbonne, 2, 565-884.

Interbartolo F. (2013) - *I bacini sin-orogenici al tetto della catena siciliana. Evoluzione tra il Serravalliano superiore e il Messiniano inferiore*. Tesi di dottorato, Università di Palermo, 204 pp.

ISPRA (2010) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000. Foglio 610 (Castelbuono)*. Servizio Geologico d'Italia.

ISPRA (2010) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000. Foglio 633 (Paternò)*. Servizio Geologico d'Italia.

ISPRA (2011) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000. Foglio 609 (Termini Imerese)*. Servizio Geologico d'Italia.

ISPRA (2014) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000. Foglio 631 (Caltanissetta)*. Servizio Geologico d'Italia.

ISPRA (2018) – *Aggiornamento ed integrazioni delle linee guida della Carta Geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000. Quaderni serie III, Vol. 13, Fascicolo I*, 93 pp.

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.

Lanzafame G., Leonardi A. & Neri M. (1999) – *Retrocoprimiento medio-pleistoceno di Argille Scagliose a Serra San Biagio (Sicilia orientale): evidenze stratigrafiche e tettoniche*. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 9, 63-80.

Lavecchia G., Ferrarini F., De Nardis R., Visini F. & Barbano M.S. (2007b) – *Active thrusting as a possible seismogenic source in*

Sicily (Southern Italy): Some insights from integrated structural–kinematic and seismological data. *Tectonophysics*, 445, 145-167.

Lavecchia G., Ferrarini F., De Nardis R., Visini F., Barbano M.S. (2007) - Seismogenic evidence of ongoing compression in eastern-central Italy and mainland Sicily: a comparison. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 126: 209-222.

Lentini F. & Vezzani L. (1978) – Tentativo di elaborazione di uno schema strutturale della Sicilia orientale. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 19, 495-500.

Lentini F. (1974) – Caratteri stratigrafici e strutturali della zona di M. Judica (Sicilia Orientale). *Rivista Mineraria Siciliana*, 25, 1-22.

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

Lentini F., Carbone S. & Grasso M. (1984) – Carta geologica della Sicilia sud-orientale, scala 1:100.000. S.EL.CA., Firenze.

Lentini F., Carbone S., Catalano S., & Grasso M. (1995) – Principali lineamenti strutturali della Sicilia nord-orientale. *Studi Geologici Camerti*, vol. spec. 1995/2, 319-329.

Lentini F., Carbone S., Catalano S., Grasso M. & Monaco C. (1990) – Principali elementi strutturali del thrust belt appenninico-maghrebide in Sicilia centro-orientale. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 45, 495-502.

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., 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 pp.

Lentini F & Carbone S. (2014) - *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia in scala 1:250.000*. Geologia della Sicilia. Servizio Geologico d'Italia – ISPRA, Vol. XCV, 409 pp.

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., Conte S., Rocchetti E. (2016) - DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Maniscalco R., De Guidi G., Pedley M., Sturiale G. & Grasso M. (2010) - Geological map of the Corvillo and Mandre Basins (Caltanissetta Basin, Central Sicily): Explanatory notes. *Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.)*, Vol. 129, No. 2 (2010), pp. 316-326, DOI: 10.3301/IJG.2010.04

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.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30	D 69 RG	GE 0001 001	C	255 di 257

- 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.
- Meletti C., Patacca E. & Scandone P. (2000) – Construction of a seismo-tectonic model: the case of Italy. *Pure and Applied Geophysics*, 157, 11-35.
- 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., 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. & Ferlito C. (2010) – The Morphotectonic map of Mt. Etna. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 129, 408-428.
- Monaco C., Mazzoli S. & Tortorici L. (1996) – Active thrust tectonics in western Sicily (southern Italy): the 1968 Belice earthquake sequence. *Terra Nova*, 8, 372-381.
- Monaco C., Tortorici L. & Paltrinieri W. (1998) – Structural evolution of the Lucanian Apennines, southern Italy. *Journal of Structural Geology*, 20, 617-638.
- Mostardini F. & Merlini S. (1986) – Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di un modello strutturale. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 35, 177-202.
- Nigro F. & Renda P. (2000) – Un modello di evoluzione tettono-sedimentaria dell’avanfossa neogenico siciliana. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 119, 667-686.
- Ogniben L. (1953) – Argille Scagliose ed Argille Brecciate in Sicilia. *Bollettino del Servizio Geologico d’Italia*, 75, 281-289.
- Ogniben L. (1960) – Nota illustrativa dello Schema geologico della Sicilia nord-orientale. *Rivista Mineraria Siciliana*, 64-65, 183-212.
- Ogniben L. (1969) – Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 8, 453-763.
- 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 1:50’000, Guida al Rilevamento. Quaderni serie III, 1, 203 pp.
- Patacca E., Scandone P., Giunta G. & Liguori V. (1979) – Mesozoic paleotectonic evolution of the Ragusa zone (southern Sicily). *Geologica Romana*, 18, 331-369.
- Pescatore T., Renda P. & Tramutoli M. (1978) – Facies ed evoluzione sedimentaria del Bacino Numidico nelle Madonie Occidentali (Sicilia). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 38, 297-315.

- Postpischl D. (1985) – Catalogo dei forti terremoti italiani dall’anno 1000 al 1980. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica.
- Regione Sicilia (2005) – Piano stralcio Assetto Idrogeologico Regione Sicilia.
- Regione Sicilia (2007) – Piano di tutela delle acque della Sicilia.
- Rigano R., Antichi B., Arena L., Azzaro R. & Barbano M.S. (1999) – Sismicità e zonazione sismogenetica in Sicilia occidentale. Atti del 17° Convegno Nazionale NGTGS.
- Rigo M. & Cortesini A. (1961) – Contributo alla conoscenza strutturale della Sicilia sud-orientale. Bollettino del Servizio Geologico d’Italia, 81, 349-369.
- Roveri M., Lugli S., Manzi V. & Schreiber B.C. (2008) - The Messinian salinity crisis: a sequence-stratigraphic approach. In: Amorosi A., Haq B.U. & Sabato L. (eds.) Advances in Application of Sequence Stratigraphy in Italy. GeoActa, Special Publication 1 (2008), pp. 117-138.
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M. (2011) - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano.
- Saroli M., Stramondo S., Moro M. & Doumaz F. (2005) – Movements detection of deep seated gravitational slope deformations by means of InSAR data and photogeological interpretation: northern Sicily case study. Terra Nova, 17, 35-43.
- Scalia S. (1909) – Il gruppo del Monte Judica. Bollettino della Società Geologica Italiana, 28, 269-340.
- 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.
- Servizio Geologico d’Italia - ISPRA - ITHACA, Italy HAZARD from CAPABLE faults. Disponibile in internet all’indirizzo <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>.
- SgROI T., de Nardis R. e Lavecchia G. (2012) - Crustal structure and seismotectonics of central Sicily (southern Italy): new constraints from instrumental seismicity. Geophys. J. Int. 189, 1237–1252.
- Speranza F., Maniscalco R., Mattei M., Di Stefano A., Butler R.W.H., Funicello R. (1999) - Timing and magnitude of rotations in the frontal thrust systems of south-western Sicily. Tectonics 18: 1178-1197.
- Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F. & Azzaro R. (2007) – DBMI04, il Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04.
- 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.
- Tavarnelli E., Renda P., Pasqui V., Tramutoli M. (2003) - The effects of post-orogenic extension on different scales; an example from the Apennine–Maghrebide fold-and-thrust belt, SW Sicily, Terra Nova, 15, 1–7.

- 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.
- Torrì S., Catalano S., Romagnoli G. & Tortorici G. (2008) – Tettonica di indentazione ed estrusione laterale in Sicilia Orientale. *Rendiconti online della Società Geologica Italiana*, 1, 148-152.
- Tortorici L., Cocina O., Monaco C. & Tansi C. (1995) – Recent and active tectonics of the Calabrian Arc (Southern Italy). *Tectonophysics*, 243, 37-55.
- 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 pp.
- Valensise G. & Pantosti D. (2001) – The investigation of potential earthquake sources in peninsular Italy: a review. *Journal of Seismology*, 5, 287-306.
- Varnes D.J. (1976) – Slope movement types and processes. Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington.
- Wezel F.C. (1974) – Flysch successions and the tectonic evolution of Sicily during the Oligocene and Early Miocene. In: Alvarez W. & Gohrbandt K.H.A. (Eds.): *Geology and History of Sicily*. Petroleum Expl. Soc. Libya, pp.1-23.