

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA

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

PROGETTO DEFINITIVO

METROFERROVIA DI RAGUSA.

LOTTO 1B

NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA
E SISMICA- AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI**

SCALA:

-

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

RS3Y 1B D 69 RG GE0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	S.Giugliano	Luglio 2021	S. Giugliano	Luglio 2021	S. Vanfiori	Luglio 2021	M. COMEDINI	Luglio 2021

Luglio 2021

Dott. Geol. Massimo Comedini
Ordine dei Geologi del Lazio
n° 2103

File: RS3Y.1B.D.69.RG.GE0001.001.A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	8
4.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE	8
	4.1.1 <i>Assetto stratigrafico</i>	13
4.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	16
5	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO	20
5.1	IDROGRAFIA	20
5.2	IDROGEOLOGIA.....	22
6	ANALISI DEL RISCHIO E DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	26
7	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO	29
8	ASSETTO STRATIGRAFICO DELLE AREE DI PROGETTO	31
8.1	AREA DELLA STAZIONE DI CISTERNAZZI.....	31
	8.1.1 <i>Permeabilità delle calcareniti da prove Lugeon</i>	31
	8.1.2 <i>Livelli di falda presso l'area di progetto</i>	35
9	INQUADRAMENTO SISMICO	37
9.1	PREMESSA	37
9.2	AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE	39
9.3	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	44
9.4	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	50
10	CONCLUSIONI.....	51
11	BIBLIOGRAFIA.....	53

TAVOLE DI RIFERIMENTO

Id	Scala	Codifiche Italferr																				
		R	S	3	Y	1	B	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica e geomorfologica con profilo geologico - Area della nuova stazione di Cisternazzi	1:5000/500	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta idrogeologica con profilo idrogeologico - Area della nuova stazione di Cisternazzi	1:5000/500	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A

ELABORATI DI RIFERIMENTO

Id	Scala	Codifiche Italferr																				
		R	S	3	Y	1	B	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Sondaggi e stratigrafie	-	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Indagini geofisiche	-	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	I	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Prove di laboratorio	-	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	P	R	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 4 di 70

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica redatto nell'ambito della Progettazione Definitiva della Metroferrovia di Ragusa, ed in particolare per la realizzazione della nuova Stazione di Cisternazzi.

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti da indagini geognostiche eseguite in questa fase progettuale e comprendenti:

- n°1 sondaggio a carotaggio continuo (S1) spinto fino alla profondità di 30 m dal p.c., con installazione di piezometro a “tubo aperto” per il monitoraggio della falda, prove di permeabilità Lugeon e prelievo di campioni lapidei. Il sondaggio è stato effettuato nell'area di progetto della stazione di Cisternazzi;
- n°1 prova geofisica di tipo MASW e n°1 prova HVSr eseguite in prossimità del sondaggio S1 per la definizione dell'azione sismica di progetto.

In sintesi, nei capitoli seguenti verranno approfondite le seguenti tematiche:

1. inquadramento geografico;
2. inquadramento generale dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici;
3. descrizione delle indagini eseguite a supporto della progettazione;
4. descrizione stratigrafica delle aree di progetto;
5. analisi della cartografia del rischio;
6. inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio di liquefazione;
7. Conclusioni geologiche sulla base dei dati a disposizione.

Sono stati inoltre elaborati degli stralci cartografici geologici e idrogeologici per l'area di progetto, con relativi profili stratigrafici e idrogeologici (elaborati RS3Y1BD69NZGE0001001A e RS3Y1BD69NZGE0001002A).

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI</p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI</p>	<p>COMMESSA RS3Y</p>	<p>LOTTO 1B</p>	<p>CODIFICA D 69 RG</p>	<p>DOCUMENTO GE0001 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 5 di 70</p>

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.8
- Circ. Min. II.TT. 02/02/2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008”.
- Circ. Min. II.TT. 05/08/2009, “Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248”.
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.8.
- RFI DTC SI AG MA IFS 002 A del Dic. 2018: Manuale di progettazione delle Opere Civili – Parte II – Sezione 7 – Geologia.
- Tariffa IG di RFI in vigore nel 2018.
- RFI DTC SI SP IFS 001 B del 22-12-2018 “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Sez. 3 – Rilievi geologici e indagini geognostiche”.
- D.M. 11.03.1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle opere di fondazione”. (DPR. 5 ottobre 2010, n. 207 artt. 52-53).
- RFI DTC INC LG IFS 001 A del 21-12-2012 – “Linea guida per la definizione della graduatoria di priorità dei tratti dell’infrastruttura ferroviaria interessati da fenomeni di dissesto idrogeologico, in base al valore di rischio ferroviario”.
- RFI DTC INC LG IFS 002 A del 09-07-2018 – “Procedure e interventi di protezione della sede dai fenomeni di dissesto idrogeologico”.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le aree oggetto del presente studio sono ubicate nella regione Sicilia, nel Comune di Ragusa. La città si sviluppa sulla parte meridionale dei monti Iblei, ad una distanza di 20 km dal mare Mediterraneo, su una superficie di 444,57 km² e si estende tra una quota pari a 0 m s.l.m. nella fascia costiera meridionale, fino a m 700 s.l.m.. Ad est la città è circondata dal colle San Cono, dove vi scorre il fiume Irminio, uno dei più importanti della Sicilia sud-orientale. A nord la città è delimitata dalla Cava del torrente San Leonardo e dal monte Patro; a sud si trova il monte Bollarito che è diviso da Ragusa tramite il torrente Fiumicello. Infine, a ovest sorge Ragusa superiore sui colli Patro e Cucinello, la parte più recente della città invece sui colli Corrado, Pendente e Selvaggio, i primi due staccati dalle colline circostanti da due profonde gole, le tipiche "cave" del tavolato ibleo, la Cava Gonfalone e la Cava Santa Domenica.

L'ubicazione delle opere in progetto nell'area di Cisternazzi è individuabile su cartografia stradale in Figura 3-1 mentre sulla Figura 3-2 l'area viene individuata su immagine aerea.

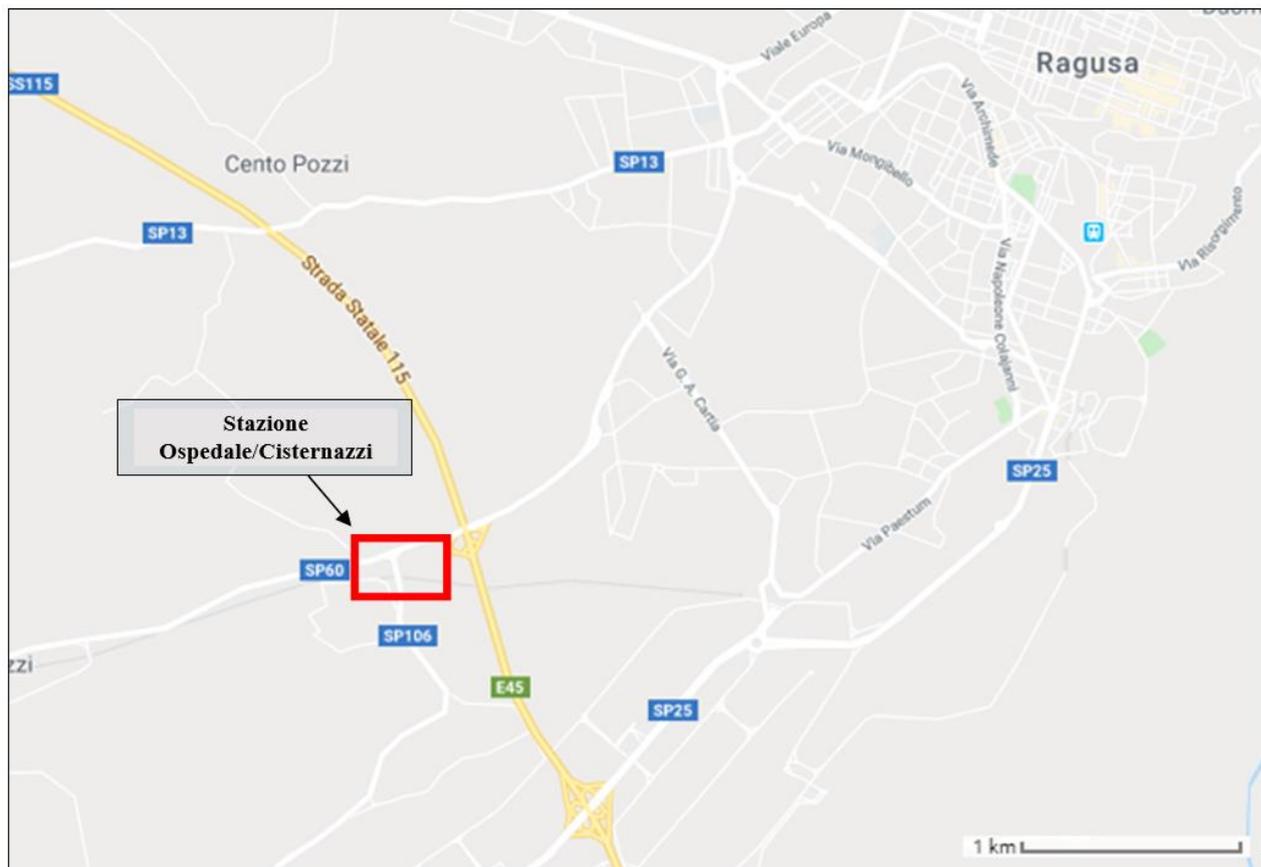


Figura 3-1 – Immagine aerea dell'area del Comune di Ragusa. In rosso si evidenzia l'area di progetto della stazione Ospedale/Cisternazzi (Google Maps).



Figura 3-2 – Immagine aerea dell’area di Ragusa. In rosso si evidenzia l’area di progetto della Stazione Cisternazzi. (Google Earth).

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Nei paragrafi seguenti si riporta l'inquadramento tettonico e strutturale, l'inquadramento geologico regionale, l'inquadramento geomorfologico e l'inquadramento idrogeologico dell'area di studio.

4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

La Sicilia, ubicata al centro del Mediterraneo, rappresenta un segmento dell'Orogene Appenninico-Maghrebide, che collega l'Appennino al Nord-Africa attraverso l'Arco Calabro-Peloritano. Essa, unitamente al suo margine tirrenico, costituisce un'area geologica in cui sono presenti varie unità tettoniche derivanti da differenti domini paleogeografici.

Il quadro geologico complessivo è dato da un edificio a falde Africa-vergente, la catena Appennino-Maghrebide, sovrapposto con il suo fronte più avanzato all'Avanfossa Gela - Catania, derivante a sua volta dallo sprofondamento del bordo settentrionale ed occidentale dell'Avampaese Ibleo. Le falde derivano da deformazioni di depositi relativi a differenti paleodomini; due sono stati i momenti essenziali: la transizione da ambiente "neritico" a condizioni "pelagiche" ed il passaggio ad una sedimentazione terrigena di tipo "flisch". Il Dominio Ibleo-Maltese è a sedimentazione quasi esclusivamente carbonatica, scarsamente influenzata dalle sedimentazioni silico-clastiche derivanti dalla catena in via di deformazione; esso inoltre risulta l'unico elemento stabile e indeformato dell'orogene siciliano. L'analisi dei dati geofisici dimostra che il Plateau Ibleo è ubicato sulla crosta continentale africana (spessori di circa 30 km), la quale sembrerebbe immergersi verso nord in direzione del Tirreno; l'altopiano è delimitato ad ovest e nord - ovest da un sistema di faglie noto in letteratura come "Ragusa - Chiaramonte" che ribassano gli Iblei verso la piana Gela-Catania, mentre a est e sud-est è limitato dai sistemi di faglie di Ispica e Rosolini che ribassano verso la Scarpata di Malta. I depositi carbonatici affioranti mostrano una giacitura sub-orizzontale o inclinata di pochi gradi. Le faglie presenti sono numerose, prevalentemente orientate NNE-SSO, sintetiche e antitetiche rispetto ad una "master fault" trascorrente nota come "Scicli-Ragusa-Giarratana", la quale attraversando tutto l'altipiano genera una serie di strutture estensionali e/o transtensionali quali horst e graben. Un'altra zona di taglio importante è quella plio-pleistocenica orientata da N-S a NNE-SSO nota come "Scicli-Ragusa" (Ghisetti & Vezzani, 1980) o "linea di Scicli" (Grasso et al., 1986), sismicamente attiva e ben sviluppata lungo il Fiume Irminio ove genera sistemi morfostrutturali a gradinata, horst, graben, blande pieghe di trascinamento (Di Grande & Grasso, 1979) oppure strutture compressive.

L'area di studio, facente parte del bacino idrografico del Fiume Irminio, si colloca in corrispondenza del plateau Ibleo (Figura 4-1), che rappresenta un settore emerso del Blocco Pelagiano, delimitato dalle aree fessurate sul suo margine nord-occidentale da un sistema di faglie normali di notevole rigetto orientate NE-SO. Queste ribassano verso NO, originando l'Avanfossa Gela-Catania, che è occupata dalle unità alloctone del cuneo frontale della catena, la Falda di Gela. Sul plateau Ibleo le rocce sedimentarie affioranti sono in prevalenza terziarie e quaternarie.

Vengono distinti due settori: quello orientale caratterizzato da una sequenza di ambiente marino poco profondo, condizionato dallo sviluppo di prodotti vulcanici, e quello occidentale contrassegnato da sedimenti carbonatici di mare aperto, che includono cospicui risedimenti provenienti dalle aree orientali. Nel settore occidentale del plateau Ibleo i termini affioranti iniziano dal Cretacico, ma le facies rappresentate hanno carattere di open shelf, cioè si sono depositate in un'area di mare aperto, anche se di modesta profondità. In gran parte i sedimenti carbonatici provenivano dalla risedimentazione dei notevoli volumi di materiale organogeno che si andava producendo nei bassifondi delle aree orientali, in particolare rodoliti algali e foraminiferi bentonici, oltre a molluschi ed echinoidi.

Il plateau Ibleo è stato sede di un'intermittente attività vulcanica dal Triassico fino al Pleistocene inferiore. Contrariamente ai prodotti delle fasi triassiche e giurassiche che sono sepolti, le vulcaniti submarine del Cretacico superiore affiorano, ricoperte da calcari a rudiste, nei settori orientali iblei. Un'attività vulcanica, con prodotti a composizione mafica alcalina, di ambiente da submarino a subaereo caratterizza il Miocene superiore. Nel Pliocene inferiore un'attività vulcanica basica alcalina ha continuato a interessare la parte settentrionale del plateau. L'attività del Pliocene superiore fu marcata da un drastico cambiamento composizionale da alcalina a tholeiitica, e dall'emissione di enormi volumi di lava. Tale attività si verificò quando il settore nord-occidentale dell'Avampaese Ibleo collassò, sviluppando un sistema di faglie normali e originando l'Avanfossa. I potenti intervalli di vulcaniti perforate nell'avanfossa sono ben correlabili con le vulcaniti del margine settentrionale dell'Avampaese Ibleo, ma includono un'unità più giovane nel sottosuolo della Piana di Catania, che indica una migrazione dell'attività ignea verso l'area etnea.

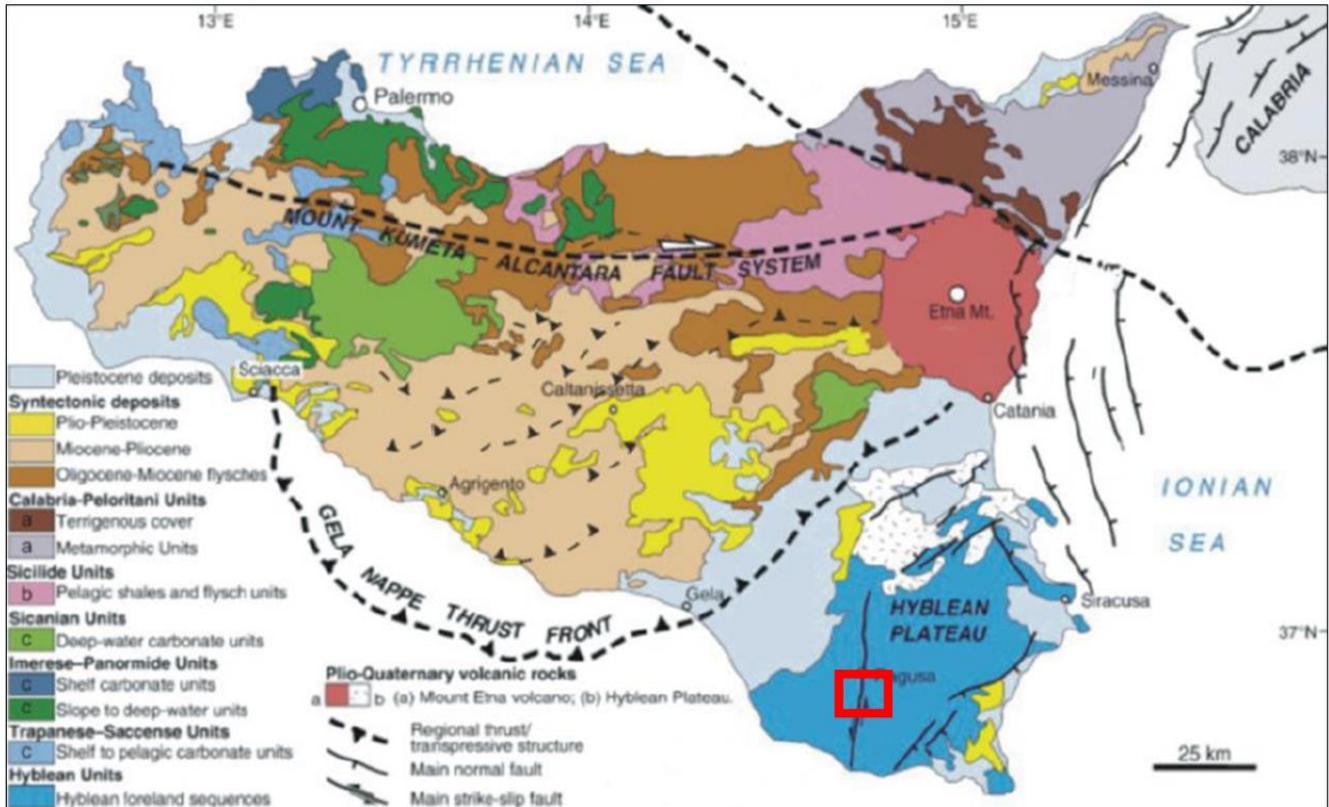


Figura 4-1 – Schema tettonico della Sicilia (da Macchiavelli et al. 2013). In rosso si evidenzia l’area di progetto.

Il Plateau ibleo è prevalentemente carbonatico. Il termine più profondo raggiunto in sottosuolo è dato da calcari e dolomie del Trias superiore potenti fino a 4800 metri. I prodotti vulcanici presenti nell’area Iblea possono essere ascritti a tre principali manifestazioni datate al Cretaceo superiore, al Miocene superiore ed al Plio-Pleistocene. Essi affiorano nel settore settentrionale Ibleo (Figura 4-2) lungo una fascia larga circa 30 – 40 km estesa in direzione NE-SO, mentre gli affioramenti più meridionali si hanno a Monterosso Almo e lungo il bacino dell’Anapo fino alla zona di Solarino. I sedimenti pliocenici sono distribuiti in maniera discontinua lungo i bordi dell’altopiano Ibleo. Breccie calcaree, sottili lembi di Trubi e sabbie a Strombus Coronatus sono presenti alla base delle coperture laviche della zona di Monte Lauro costituite inferiormente da pillow-breccia e superiormente da colate subaeree. Nel triangolo compreso tra Vizzini, Licodia Eubea e Mineo, l’attività vulcanica si sviluppa in ambiente costantemente submarino, come dimostra la presenza di ripetuti livelli di breccie vulcaniche alternate ai “Trubi” e alle marne medio-plioceniche. Il Pliocene superiore è scarsamente rappresentato in queste aree ad esclusione del piastrone calcarenitico di Licodia Eubea. L’attività vulcanica submarina e subaerea sembra spingersi fino al basso Quaternario, nelle aree più settentrionali vicino all’avanfossa, dove alle vulcaniti submarine si intercalano livelli di biocalcareni del Pleistocene inferiore. I depositi quaternari, che orlano il Plateau Ibleo, appartengono a due principali cicli sedimentari di età infra e medio-pleistocenica. I terreni del Pleistocene inferiore formano una cintura continua attorno all’Altipiano calcareo raggiungendo spessori notevoli lungo i bordi settentrionale ed occidentale. I

litotipi sono dati da biocalcareni tenere giallastre discordanti sul substrato miocenico o sulle vulcaniti plioceniche. Le calcareniti passano verso l'alto e lateralmente ad argille grigio-azzurre raggiungendo spessori considerevoli in corrispondenza di strutture più depresse (Augusta). Il secondo ciclo è rappresentato dalla cosiddetta "panchina" crotoniana che ricopre in discordanza termini di varia età con alla base un paelosuolo originatosi nel periodo della "Regressione Romana". Sul bordo occidentale Ibleo, lungo l'estesa piana tra Caltagirone e Vittoria, la sedimentazione infrapleistocenica è chiusa da una potente serie sabbiosa regressiva che ricopre e sutura la Falda di Gela (Figura 4-1 e Figura 4-2). Nel quadro geostrutturale della Sicilia Sud Orientale, il bacino del fiume Ippari e delle aree comprese tra il bacino idrografico del Fiume Acate – Dirillo e il bacino idrografico del Fiume Irminio, si sviluppa dal margine NE-SW dell'altopiano ibleo, occupando interamente la "scarpata" Comiso - Chiaramonte, alla zona di "transizione" verso l'avanfossa Gela-Catania (Figura 4-2), rappresentata dalla piana di Vittoria.

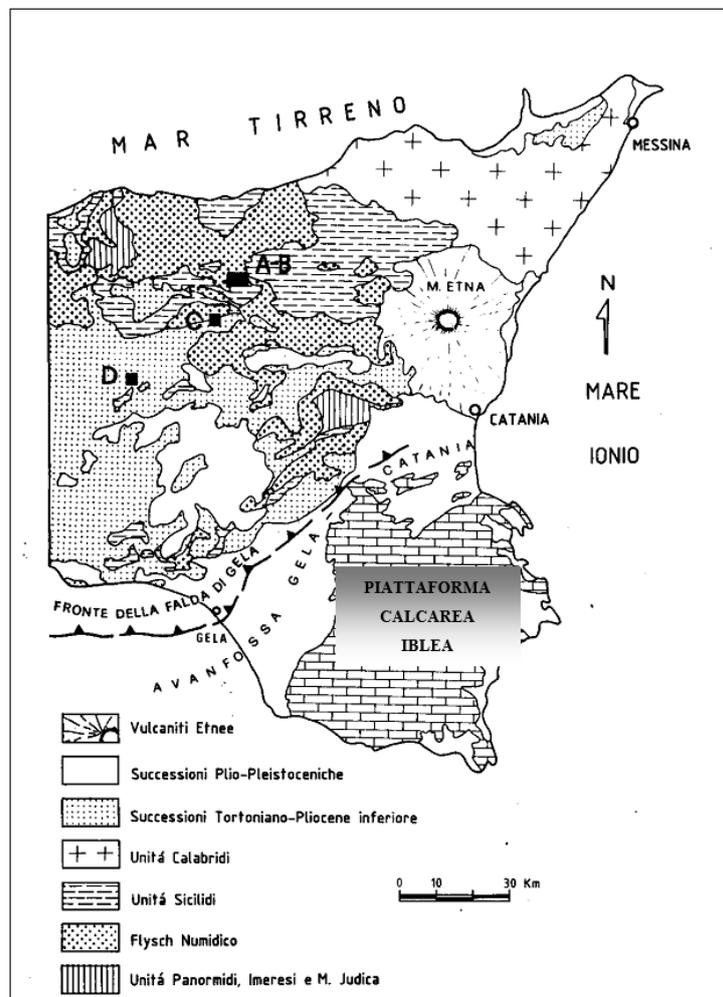


Figura 4-2 – Schema strutturale dei Monti Iblei (da Catalano & D'Argenio, 1982). (Immagine non in scala).

Nella Figura 4-3 è stato riportato lo stralcio della carta geologica del Piano Regolatore Generale della città di Ragusa (anno 2014, legenda in figura 4-4), sul quale si evince che l'area di studio, evidenziata in rosso, interseca il Membro Irminio (Mcm) (descritto nel paragrafo successivo: 4.1.1).

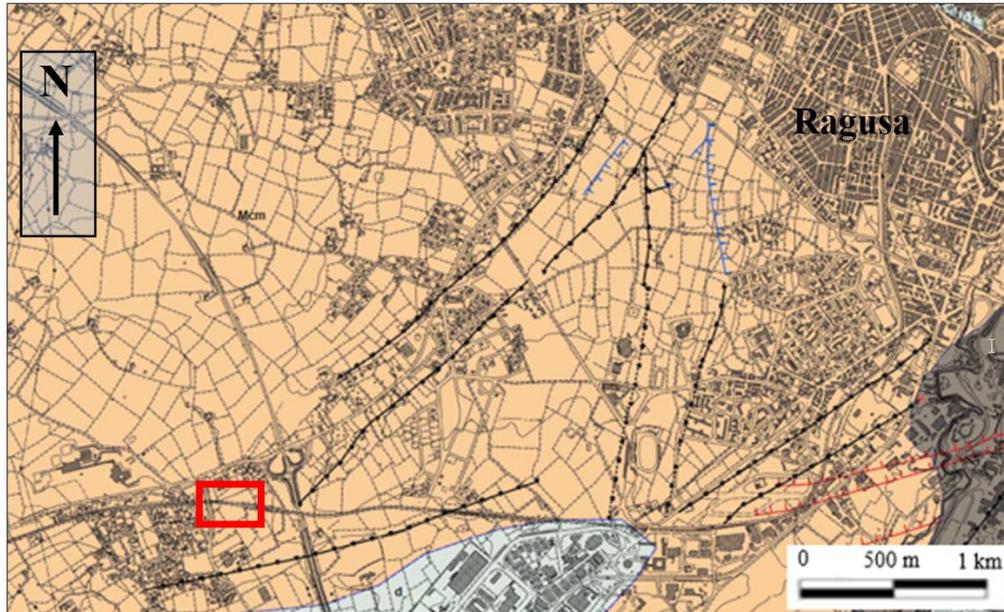


Figura 4-3 – Stralcio, non in scala, della Carta Geologica del PRG del Comune di Ragusa (scala originale 1:10.000, anno 2014). In rosso si evidenzia l'area di progetto della stazione di Cisternazzi/Ospedale.

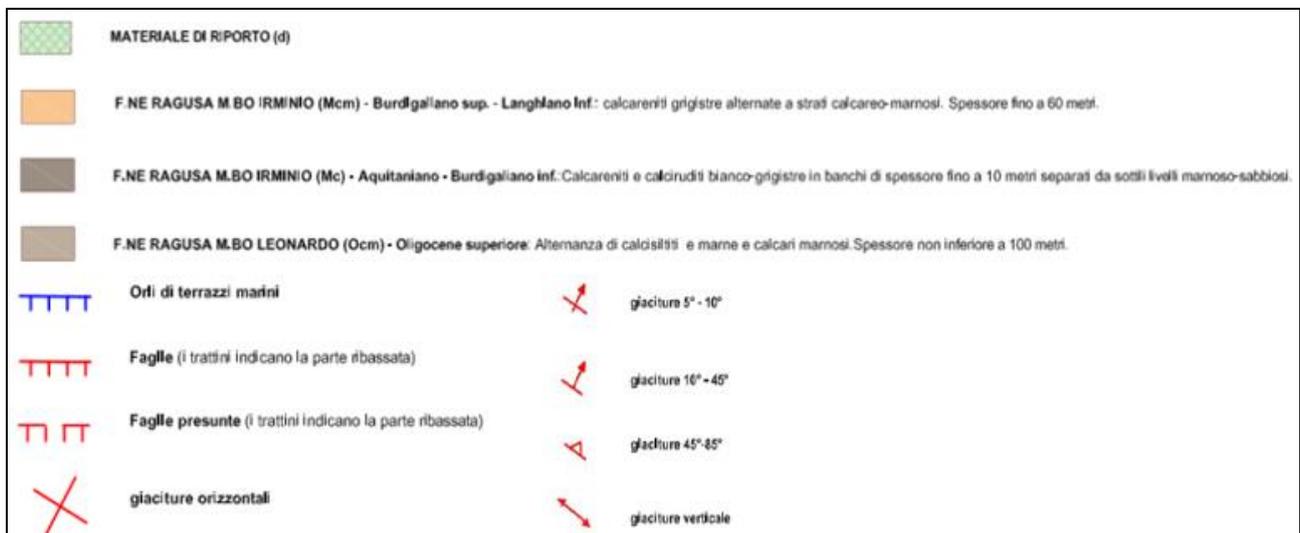


Figura 4-4 –Legenda della Carta Geologica del PRG di Ragusa, scala 1: 10.000, anno 2014.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

4.1.1 Assetto stratigrafico

La geologia dell'area Iblea (la cui distribuzione delle facies è rappresentata in Figura 4-2) si presenta relativamente semplice, si tratta infatti dell'affioramento del blocco di avampaese non interessato dalle orogenesi che interessano invece le catene Appenninico – Maghrebide e l'Arco Calabro.

Di seguito si descrivono le formazioni affioranti presso l'area Iblea, le quali si succedono dal basso verso l'alto secondo il seguente ordine stratigrafico:

Formazione Hybla: I litotipi riferiti a questa unità litostratigrafica costituiscono i terreni più vecchi affioranti nell'area iblea. è costituita da un'alternanza calcarenitico-marnosa e marne grigio-verdastri ad ammoniti, aptici e belemniti, e da microfaune bentoniche. Verso l'alto i depositi della F.ne hybla, sebbene interessati da strutture deformative (pieghe e faglie) passano progressivamente ai litotipi della f.ne Amerillo. (Hauteriviano superiore–Albiano).

Formazione Amerillo: (Em) La formazione è ben esposta nella valle del F. Amerillo, nell'alto strutturale di Monterosso Almo– Licodia Eubea, ed è rappresentata da calcilutiti bianche a frattura concoide con noduli e liste di selce nerastra, in strati spessi 10-20 cm, separati da sottilissimi giunti argillosi. Lo spessore affiorante della formazione Amerillo è circa 250 m, quello totale è valutato, da dati di sondaggi, fino a circa 900 m. (Cretaceo Superiore – Eocene medio).

Formazione Ragusa: La formazione Ragusa è divisa in due membri quello inferiore, denominato *membro Leonardo (Ocm)*, è rappresentato da un'alternanza di calcisiltiti e marne di età Oligocene superiore ed affiora principalmente nelle maggiori depressioni morfologiche e lungo la valle del F. Irminio da Ragusa a Cozzo Streppenosa; quello superiore, noto come *membro Irminio (Mcm)*, è dato da calcareniti e da calciruditi e marne sabbiose, ascrivibili al Miocene inferiore-medio. Lo spessore totale della formazione varia da 200 a 550 m. È in rapporti di discordanza stratigrafica con la precedente F.ne Amerillo. È rappresentato da un'alternanza di calcisiltiti e di calcari marnosi di colore biancastro in strati di 30-80 cm le prime e di 5-20 cm i secondi. Lo spessore affiorante è circa 100 m. Rappresenta la porzione inferiore dell'unità. (Oligocene superiore–Langhiano inferiore)

- **Membro Irminio (Mc):** È caratterizzato da calcareniti e calciruditi di colore bianco grigiastro o giallastro, talora a stratificazione incrociata con numerose tracce di bioturbazione, in banchi spessi fino a 10 metri separati da sottili livelli sabbioso-marnosi pulverulenti. Lo spessore varia da poche decine di metri a un massimo di 200 m. Rappresenta la porzione intermedia dell'unità. La parte apicale del *m.bo Irminio (Mmc)*, poco rappresentata se non nella zona di San Giacomo-Bellocozzo, è costituita da marne biancastre a frattura concoide in strati di spessore metrico alternati a strati calcareomarnosi grigiastri di spessore medio di 50-60 cm. Lo spessore complessivo è intorno ai 50-60 metri.

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 14 di 70

Verso l'alto la Formazione Ragusa passa gradualmente alla Formazione Tellaro: tramite un'alternanza di calcari marnosi grigiastri e di marne grigiobiancastre a frattura concoide.

La Formazione Tellaro: è suddivisa in due membri: il superiore (*Ms*) è rappresentato da una alternanza di calcari marnosi e marne giallastre, l'inferiore è caratterizzata da calcilutiti e marne biancastre o grigio-azzurre a frattura subconcoide, contenenti sporadici livelli calcarenitico-marnosi di colore bianco-crema in strati di 30-50 cm; quello inferiore (*Mm*) è caratterizzato da alternanza di calcari marnosi e marne giallastre. Si notano slumpings alla scala delle decine di metri. (Serravaliano – Messiniano inferiore).

Trubi (Pm): sono costituiti da marne e calcaree e calcari marnosi a foraminiferi, colore bianco crema e frattura concoide (Pliocene medio).

Terrazzi marini (Tm): sono disposti in più ordini, altimetricamente correlabili con i depositi marini di facies costiera infrapleistocenici (Qc) e con i depositi medipleistocenici (Qmc e Qms) ad essi associati. Si presentano in spianate di abrasione oppure in lembi di calcareniti bruno-giallastre a grana grossolana (panchina); essa ha significato di trasgressione marina di età milazziana con fauna banale di tipo temperato-caldo. La panchina costituisce un "lastrone calcarenitico" esteso da quota massima di 200 m fino al mare, e corrisponde al "Grande Terrazzo Superiore" (GTS) della Sicilia occidentale appartenente al "Crotoniano". (Pleistocene medio).

Depositi terrazzati marini (Tirr): sono costituiti da sabbie bianco-giallastre, carbonatiche o clasti carbonatici e arenitici appiattiti a matrice sabbiosa del Pleistocene superiore; Spiagge e depositi eolici: (s, sd) sono costituiti da sabbie prevalentemente quarzose e secondariamente carbonatiche.

Alluvioni attuali e recenti (a): sono costituite da ciottoli carbonatici di dimensioni variabili in matrice sabbioso-limosa gialla – brunastra.

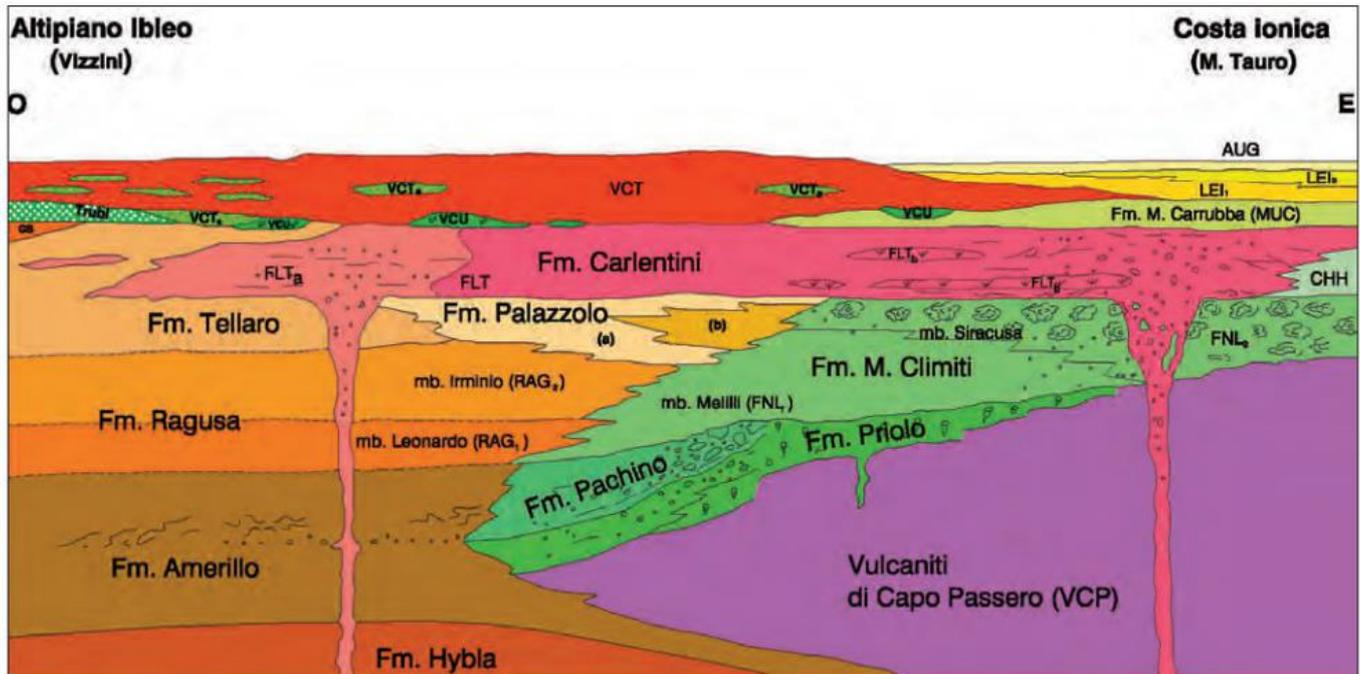


Figura 4-5 – Schema della distribuzione delle facies cretacio-quaternarie attraverso il plateau Ibleo dal Settore ionico all’Altopiano calcareo s.s. (da CARBONE et alii, 1986, modificato da CARBONE, 2011). Sigle delle formazioni: Chh - calcari a echinodermi e molluschi (Tortoniano); FLT - fm. Carlentini (vulcaniti con intercalazioni biohermali - FLTb, e vulcaniti sottomarine - FLTa, Tortoniano); GS - Gruppo della Gessoso-Solfifera (Messiniano sup.); gruppo di alagonia: VCU – breccie e sabbie di Valle Cupa (Pliocene inf. e medio); VCT - fm. Militello in Val di Catania (vulcaniti con intercalazioni di sabbie e breccie – VCTa e calcilutiti oolitiche - VCTb; Pliocene medio-sup.); LEI – fm. Lentini (conglomerati, calcareniti e sabbie - LEI1 e argille LEI2, Pleistocene inf.-medio); AUG – fm. Augusta: (Pleistocene Medio-sup.) (Grasso, 2001).

L’area di studio dunque ricade interamente all’interno della Formazione di Ragusa, membro Irminio, composta da calcareniti e da calciruditi e marne sabbiose, ascrivibili al Miocene inferiore-medio. Visto lo spessore di tale formazione (superiore ai 500 m), il profilo stratigrafico di riferimento, approfondito nel Paragrafo 8 e nell’elaborato grafico RS3Y1BD69NZGE0001001A, risulta dominato interamente da tali materiali.

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 16 di 70

4.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area dei Monti Iblei si presenta come un vasto altopiano sub-circolare culminante al centro nel Monte Lauro, alto 987 m, dal quale si dipartono a raggiera numerose propaggini che digradano dolcemente in ogni direzione; la propaggine che punta a NO in direzione Caltagirone, passando per Vizzini e Grammichele, fa da raccordo col gruppo montuoso degli Erei, nella Sicilia centro-orientale. L'altopiano ibleo è delimitato a N dalla Piana di Catania e ad O dalla Piana di Gela, mentre ad E ed a S degrada rispettivamente verso la costa ionica siracusana e quella ragusana del Mar di Sicilia. La piana di Comiso-Vittoria-Acate è caratterizzata da morfologie di bassipiano con altitudini tra 100 e 200 m s.l.m. Sull'Altopiano Ibleo l'andamento tabulare della superficie sommitale è legato sia all'assetto strutturale sudorientale, proprio per essere area di avampaese, che alla resistenza all'erosione dei termini calcarei e calcarenitici prevalenti. Nella struttura non corrugata dell'altopiano diversi sistemi di faglie di tipo regionale danno luogo ad una chiara tettonica ad horst e graben ben visibile nei lineamenti morfologici. L'avampaese ibleo si interrompe sul graben del fiume Simeto. I monti Iblei sono geologicamente costituiti da espandimenti vulcanici sottomarini formati nel Neogene, ed elevatisi insieme a potenti banchine calcaree in forma di tavolati e ripiani. L'altopiano ibleo si presenta oggi profondamente inciso dalle forre scavate dai torrenti, localmente denominate "cave", lunghe e profonde gole, strette fra ripide scarpate e rupi di calcare bianco. L'alternarsi di tavolati calcarei e delle cave dà origine ad un paesaggio formato da sommitali pianori calcarei, aridi e caratterizzati da fenomeni di carsismo, alternati in profondo contrasto alle profonde cave che, al contrario, sono ricche di vegetazione. Le valli o cave incise nella serie carbonatica miocenica, presentano particolari morfologie fluvio-carsiche prodotte della erosione meccanica delle acque e della corrosione chimica dei calcari da parte delle acque acide. La diffusa carsificazione, soprattutto nel settore orientale dell'area, si manifesta sia con morfologie superficiali tipo karren sui versanti, vaschette di dissoluzione e solchi di vario tipo, sia con condotti carsici fossili a vari livelli. Sui fondivalle sono presenti inghiottitoi, nella maggior parte dei casi sepolti al di sotto di materiale alluvionale e grotte-sorgenti, che alimentano il deflusso superficiale, emergenti in corrispondenza dei punti di affioramento dei locali livelli piezometrici. L'alimentazione dei corsi d'acqua perenni, anche durante i periodi non piovosi, può altresì avvenire in modo puntiforme attraverso polle ubicate in corrispondenza di fratture lungo il subalveo roccioso.

In linea generale sono distinguibili tre aree morfologicamente omogenee, procedendo da monte verso mare:

- una prima area, che interessa parte dell'Altipiano Calcarea Ibleo ove risulta più marcata l'incisione operata da corsi d'acqua, per lo più stagionali che, scorrendo su rocce di origine calcarea e calcarea marnosa, provocano profonde erosioni originando veri e propri Canyons, che nella zona prendono il nome di cave;
- una seconda area, che interessa la cosiddetta Piana di Vittoria, costituita da una vasta pianura leggermente ondulata verso Nord e degradante altimetricamente in direzione Sud Ovest e cioè verso la costa. Tale pianura si presenta molto uniforme, con una altitudine media intorno ai 100 metri s.l.m. e, solamente in

corrispondenza di rilievi di Cozzo Telegrafo e Serra San Bartolo che fungono da spartiacque tra il corso del fiume Ippari a Sud e del Dirillo a Nord, si ha l'interruzione di tale uniformità. Nella zona compresa tra la C. da Cifali e l'abitato di Comiso e la zona tra la C. da Comuni - Targena e C. da Passolato il passaggio tra l'Altopiano e la valle dell'Ippari avviene attraverso un graduale declivio rappresentato dalle conoidi di deiezione;

- una terza area, comprendente la fascia costiera in prossimità dell'abitato di Scoglitti, è caratterizzata dalla presenza di un duneto costiero anticamente molto esteso, oggi ridotto ad una vasta spianata con qualche rara duna residuale, e da versanti a debole pendenza, originati dalla erodibilità dei litotipi marnosi e sabbiosi affioranti.

Nell'area iblea si registrano fenomeni di dissesto caratterizzati sia da crolli dai fronti rocciosi che dalla mobilizzazione di coltri detritico – sabbioso - argillosi a seguito di intensi periodi piovosi. Lungo i pendii detritico - sabbioso - argillosi posti a valle delle pendici rocciose si osservano dissesti diffusi rappresentati da deformazioni superficiali lente che, allo stato attuale, mostrano segni di attività. Tra le cause predisponenti, che rendono il territorio più o meno sensibile all'innescò di fenomeni franosi, si può individuare la presenza di formazioni lapidee fratturate e tettonizzate, di formazioni sabbioso – calcarenitiche a valle e di coperture superficiali detritiche sciolte. Su tali terreni un contributo importante da tenere in considerazione nell'innescò dei fenomeni è dato dalle piogge; è noto che le piogge intense e prolungate provocano l'innalzamento della falda, un aumento delle pressioni neutre ed una conseguente diminuzione della resistenza al taglio. A queste cause si sommano quelle legate alle attività antropiche, quali sbancamenti per costruzione di manufatti, assenza di regimazioni idrauliche superficiali, costruzione di infrastrutture prive di idonee opere di salvaguardia delle condizioni di stabilità.

In Figura 4-6 viene riportato lo stralcio della carta geomorfologica del PRG del Comune di Ragusa (legenda in Figura 4-7) in cui vengono evidenziate in rosso le aree oggetto di studio. Esse risulta posizionate in aree pianeggianti o sub-pianeggianti, con una pendenza tipicamente inferiore a 10° e localmente compresa tra 10 e 20°. Nell'area di progetto della stazione di Cisternazzi non sono presenti elementi geomorfologici significativi.

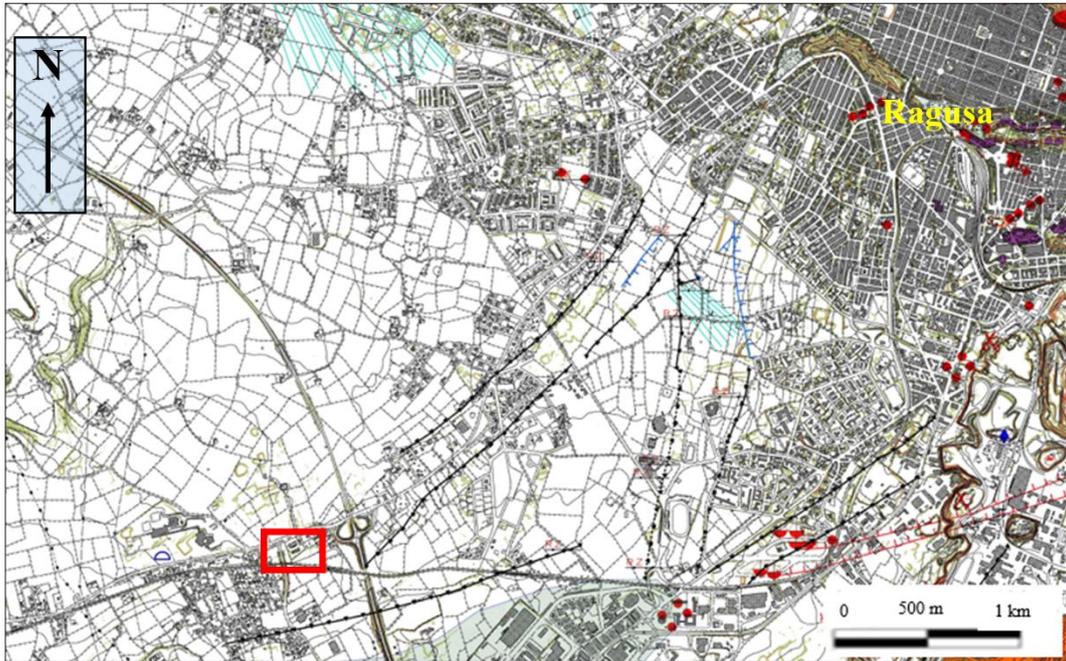


Figura 4-6 – Stralcio, non in scala, della Carta Geomorfologica del PRG del Comune di Ragusa (scala originale 1: 10.000, anno 2014). In rosso si evidenzia l'area di progetto della stazione di Cisternazzi.

	ZONE DI INTENSA DEFORMAZIONE CATACLASTICA LUNGO LE PRINCIPALI FAGLIE
	MATERIALE DI RIPORTO (d)
	ALLUVIONI FLUVIALI (a) Recenti e attuali: Ciottoli carbonatici di dimensioni variabili in matrice sabbioso-limosa giallo-brunstra.
	DETRITO DI FALDA (df) Pleistocene superiore - Olocene: Breccie ad elementi carbonatici con matrice carbonatica a granulometria sabbiosa.
	TERRAZZI FLUVIALI (a) Pleistocene medio-Olocene: Alluvioni fluviali terrazzate distribuite in vari ordini, costituite da ciottoli carbonatici arrotondati in abbondante matrice sabbiosa. Spessore fino a oltre 10 metri.
	DEPOSITI EOLICI (sd) Olocene: Sabbie fini, gialle, a prevalente componente quarzosa e in minor misura carbonatica.
	FRANE DI CROLLO (f) Pleistocene superiore-Olocene: Breccie ad elementi carbonatici con matrice carbonatica a granulometria sabbiosa.
	CONI DI DETRITO (b) Pleistocene medio superiore: Ghiaie ad elementi carbonatici subarrotondati con scarsa matrice costituita da sabbie carbonatiche e limi neri.
	DEPOSITI PALUSTRALI ANTICHI (p) Pleistocene superiore: Argille e limi bruno-giallastri con livelli di torba. Spessori di alcuni metri.
	DEPOSITI TERRAZZATI MARINI (Tirr): Sabbie bianco - giallastre, carbonatiche, o conglomerati a clasti carbonatici. Spessori fino a 10 metri.
	TERRAZZI MARINI (tm) Pleistocene superiore: spianate di abrasione con rari depositi costituiti da lembi di calcareniti a grana grossolana (panchina).

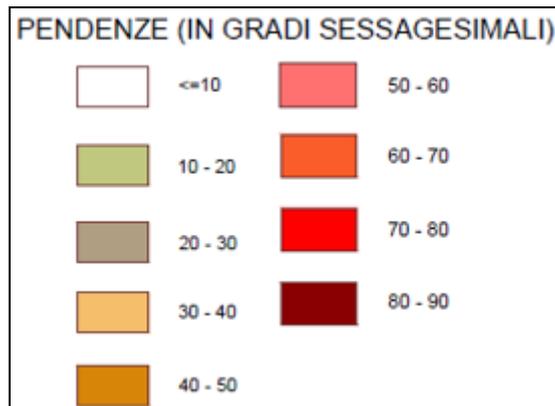


Figura 4-8 – Stralcio della legenda della Carta Geomorfologica del PRG di Ragusa, scala 1: 10.000.

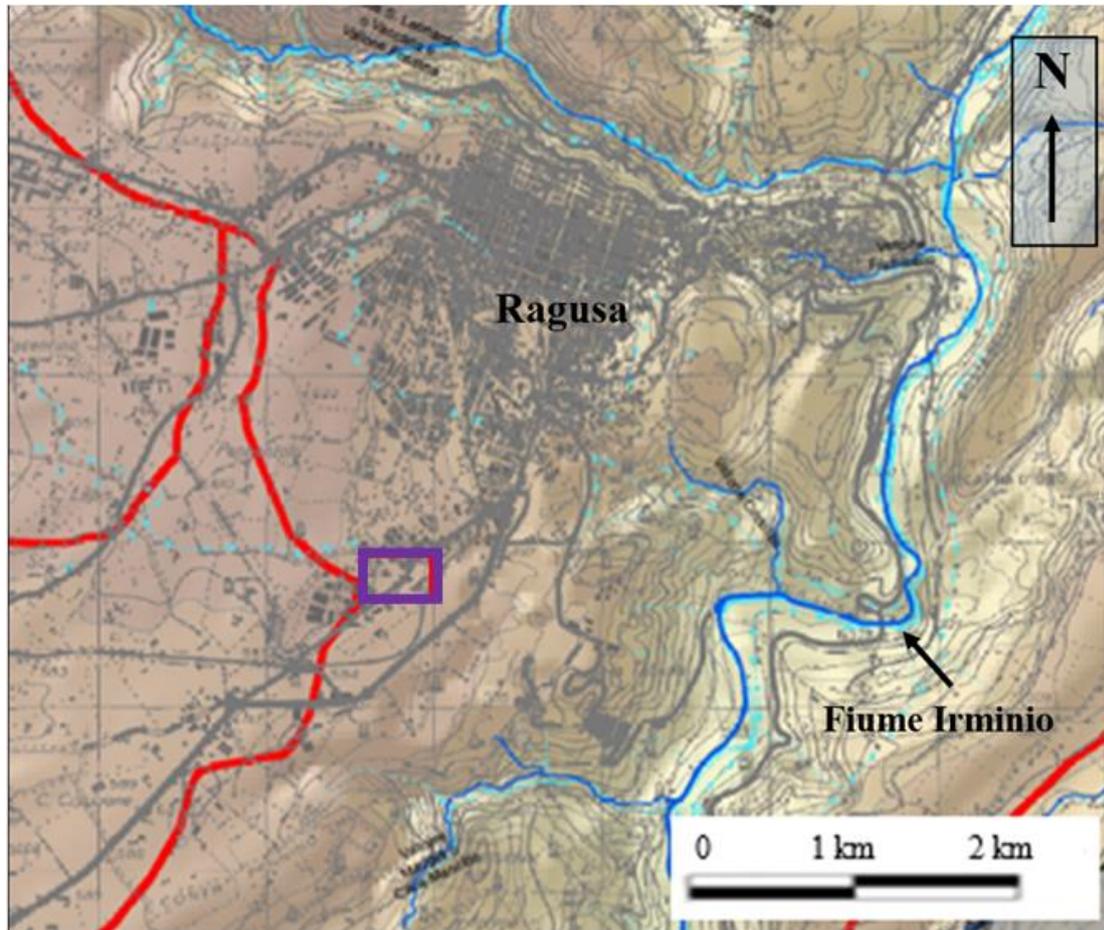
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

5 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

5.1 IDROGRAFIA

Dal punto di vista morfologico, gli impluvi del fiume Irminio e del Torrente di Modica presentano caratteri diversi, non soltanto in relazione alla natura litologica dei terreni che li costituiscono, ma anche in relazione alle vicissitudini tettoniche che si sono succedute a partire dalla fine del Miocene ad oggi; lo testimonia, tra l'altro, la coincidenza tra la direzione di massimo allungamento del territorio in esame, con il sistema strutturale NE – SW caratterizzante dell'area Iblea. All'interno del territorio, è possibile distinguere quattro settori a diversa ampiezza, ma con caratteri morfologici univoci. Un primo settore situato nella porzione più settentrionale, dove affiorano i depositi eruttivi pliocenici, caratterizzato da un aspetto tabulare solcato dalle valli relativamente scoscese del fiume Irminio (Figura 5-1) e del suo affluente di destra, il Torrente Miele. Un secondo settore individuabile nei pressi dell'abitato di Giarratana, caratterizzato dalla netta predominanza dei livelli marnosi della F.ne Tellaro, con paesaggi a blanda morfologia e valli poco incise prive di depositi fluviali. Un terzo settore, collocato nella porzione centrale, nell'area di affioramento dei depositi carbonatici della F.ne Ragusa, con morfologia particolarmente accidentata e valli strette ed incise. Un ultimo settore, individuabile nella parte terminale del territorio in studio, nei pressi della foce, che, pur conservando le stesse caratteristiche litologiche del settore precedente, si presenta con vallate meno strette ed incise. In quest'ultimo settore, nella porzione occidentale, si sviluppa la riserva del fiume Irminio, circa 60 ha, con due ambienti diversi: il fiume con la sua foce e le dune costiere. Il bacino del fiume Irminio, s'inserisce tra il bacino del fiume Ippari e l'area compresa tra il bacino del F. Ippari ed il bacino del F. Irminio ad Ovest, il bacino del fiume Acate – Dirillo a Nord -Ovest, il bacino del fiume Anapo a NNE, il bacino del fiume Tellaro ad Est ed il bacino del Torrente di Modica ad ESE. Ha un'estensione di circa 269,82 km²; si apre al mare Mediterraneo nei pressi di Marina di Ragusa, nel tratto costiero delimitato tra l'abitato di Marina di Ragusa e l'abitato di Donnalucata, con un fronte di circa 4 km su cui si imposta il delta del fiume. Il fiume Irminio nasce a Monte Lauro (986 m s.l.m.) e si sviluppa per circa 56,64 Km. Lungo il suo percorso riceve le acque di molti affluenti tra i quali: torrente Leonardo, torrente Ciaramite, torrente Mastratto, torrente Miele, torrente Volpe come affluenti di destra idraulica; torrente Gria e torrente Valle delle Monache come affluenti di sinistra idraulica. Il bacino, impostato quasi esclusivamente su terreni calcari è interessato da incisioni fluviali non molto sviluppate. Il reticolo idrografico non si presenta molto ramificato e, in linea generale, si distingue una zona settentrionale in cui i vari rami tendono a confluire in un unico corpo, ed una zona meridionale caratterizzata esclusivamente dall'asta principale. Sotto il profilo strutturale, il reticolo idrografico del F. Irminio è caratterizzato da horst e graben, rispettivamente spartiacque e valli di sprofondamento per aste fluviali incassate come forre; il motivo dominante è dato da una blanda anticlinale con asse NNE – SSW, culminante nel centro abitato di Ragusa ed interrotta verso est da un sistema di faglie dirette che determinano il graben della valle principale e gli horst ed i graben del reticolo secondario. Presso contrada S. Rosalia (456 m s.l.m.) il corso è stato sbarrato da una diga in terra, la cui costruzione ebbe inizio nel 1978 e terminò nel 1981, utilizzata a scopo irriguo e potabile, rispettivamente per l'utenza dei

territori dei comuni di Ragusa e Scicli e per l'utenza degli insediamenti rurali situati nei comuni di Modica e Ragusa. Attualmente il Fiume Irminio si presenta a regime semi torrentizio, nonostante sia stato caratterizzato, prima di essere sbarrato, da un regime perenne, presentava infatti portata media di circa 0,27 mc/s, misurata alla stazione di S. Rosalia nel periodo 1961 – 1963. Il fiume costituisce il corpo ricettore degli scarichi civili ed industriali dei comuni di Giarratana e Ragusa.



- Invasi
- Limiti comuni limitrofi
- Bacini idrografici (P.T.P.)
- Corsi d'acqua
- Pozzi monitorati dalla Provincia

Figura 5-1 – Piano comunale di protezione civile – stralcio, non in scala, della Tavola 4: Idrografia e bacini idrografici (scala originale 1: 50.000, anno 2014). Il rettangolo viola evidenzia l'area di progetto della stazione di Cisternazzi.

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

5.2 IDROGEOLOGIA

Gli acquiferi dell'area della Provincia di Ragusa ricadono principalmente nei Corpi idrici denominati “Ragusano” e “Piana di Vittoria” (Figura 5-2)

Il corpo Idrico Ragusano occupa il settore più occidentale dell'altipiano ibleo, morfologicamente è costituito da un complesso carbonatico degradante verso ovest e sud-est che si raccorda con la Piana di Comiso-Vittoria attraverso una serie di strutture tettoniche. I terreni risultano profondamente incisi in corrispondenza dei corsi d'acqua del Fiume Irminio, della Fiumara di Modica, del Fiume Tellaro e della Cava d'Ispica.

Un primo acquifero a falda parzialmente confinata si trova nella serie calcarenitica del membro Irminio (Formazione Ragusa), a profondità media compresa tra 50 e 150 m, cui fa seguito un acquifero a falda confinata più profonda e più produttiva nella serie calcareo-marnosa del membro Leonardo (Formazione Ragusa). Trattandosi di acquiferi prevalentemente carbonatici, la permeabilità primaria per porosità è quasi nulla, mentre quella secondaria per fratturazione è da media ad alta, anche per i fenomeni carsici originatisi nella serie calcarea. La ricarica avviene prevalentemente per effetto delle piogge efficaci drenate dalle fratture. L'andamento delle piezometriche indica che la direzione preferenziale del flusso sotterraneo delle acque è verso ovest nella parte centrale e settentrionale, mentre nella parte meridionale il flusso si muove verso SO, seguendo il corso del Fiume Irminio.

Le caratteristiche di permeabilità dei terreni sono legate alla storia deposizionale, alla tessitura, alla storia geologica sopravvenuta. Volendo attribuire delle classi in funzione del grado di permeabilità del terreno, si possono distinguere:

- **Complesso conglomeratico sabbioso (cs)** (Figura 5-2): appartengono a tale complesso i seguenti litotipi, quasi esclusivamente pleistocenici e tutti permeabili per porosità prevalentemente primaria, con valori medi tra 10^{-2} e 10^{-3} m/sec. La deposizione in lenti talora ghiaiose, talora sabbiose-limose, determina una notevole variabilità laterale e verticale della poerosità e dunque della permeabilità.
 - *cataclasiti (c)*
 - *materiale di riporto (d)*
 - *alluvioni fluviali (a)*
 - *detrito di falda (df)*
 - *terrazzi fluviali (tf)*
 - *depositi eolici (sd)*
 - *frane di crollo (f)*
 - *coni di detrito (b)*
 - *depositi terrazzati marini (Tirr)*

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 23 di 70

- *sabbie marine fini, gialle e rossastre (Qms)*
- **Complesso calcareo-marnoso (cm)** (Figura 5-2): appartengono a tale complesso i seguenti litotipi rocciosi, in cui la componente carbonatica calcarea è predominante, con permeabilità elevata per fessurazione; la permeabilità è fortemente condizionata dalla presenza di un sistema fratturativo: in zone prive di discontinuità tettoniche possono presentarsi fenomeni di allagamento, in quanto il litotipo carbonatico, se integro, presenta valori bassissimi di permeabilità. Assumono un ruolo importante anche le morfologie carsiche e paleocarsiche laddove presenti, con valori di “permeabilità in grande” e regimi turbolenti tipici del carsismo. Il drenaggio avviene principalmente in senso verticale nella zona di aereazione e in senso orizzontale nella zona di saturazione.
- *Calcari marnosi, silts biancastri e travertini (Ql)*
 - *Calcareniti (Qmc)*
 - *Calcareniti bianco-giallastre (Qc)*
 - *F.ne Ragusa m.bo Irminio (Mmc)*
 - *F.ne Ragusa m.bo Irminio (Mcm)*
 - *F.ne Ragusa m.bo Irminio (Mc)*
- **Complesso limoso-argilloso (la)** (Figura 5-2): comprende litotipi in cui la componente limosa e/o argillosa è predominante. I valori di permeabilità sono bassi o nulli.
- *Depositi palustri antichi (p)*
 - *Trubi (Pm)*
 - *F.ne Tellaro (Ms)*
 - *F.ne Tellaro (Mm)*
 - *F.ne Ragusa m.bo Leonardo (Ocm).*

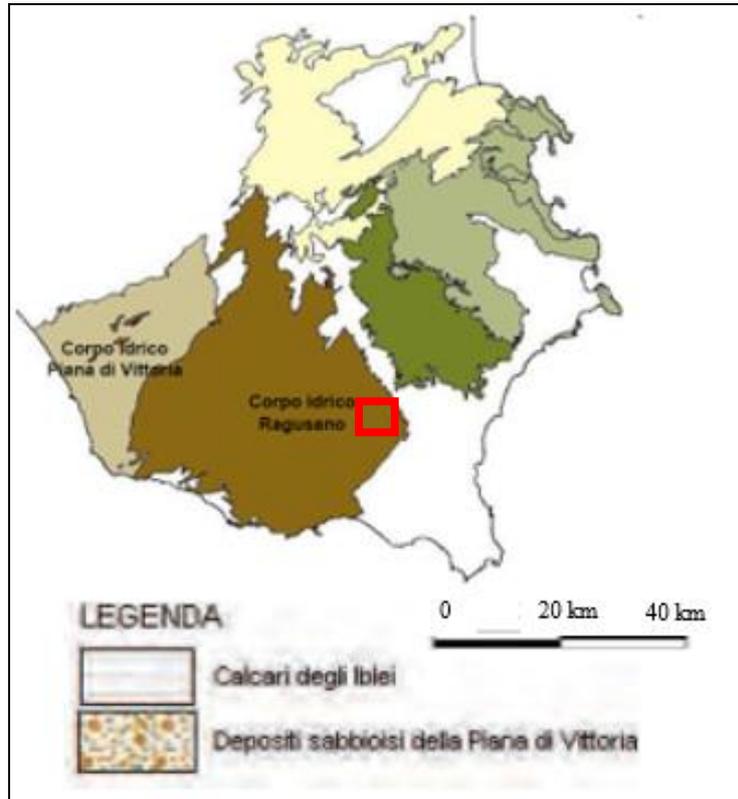


Figura 5-2 – Principali corpi idrici sotterranei dell’Altopiano Ibleo; con colore marrone chiaro e beige sono rappresentate le idrostrutture del settore sud-occidentale ragusano: il corpo idrico “Ragusano”, in marrone scuro, e il corpo idrico “Piana di Vittoria”. In rosso si evidenzia l’area di progetto.

In Figura 5-3 viene riportato lo stralcio della cartografia idrogeologica redatta per il PRG del comune di Ragusa (legenda in figura 5-4), sul quale viene individuata l’area di progetto della stazione di Cisteranzzì. E’ possibile osservare come anche tale cartografia confermi che l’area di progetto ricade interamente nel complesso calcareo marnoso (cm) sopra descritto, e dunque caratterizzato da una componente carbonatica calcarea predominante, con elevata permeabilità per fessurazione.

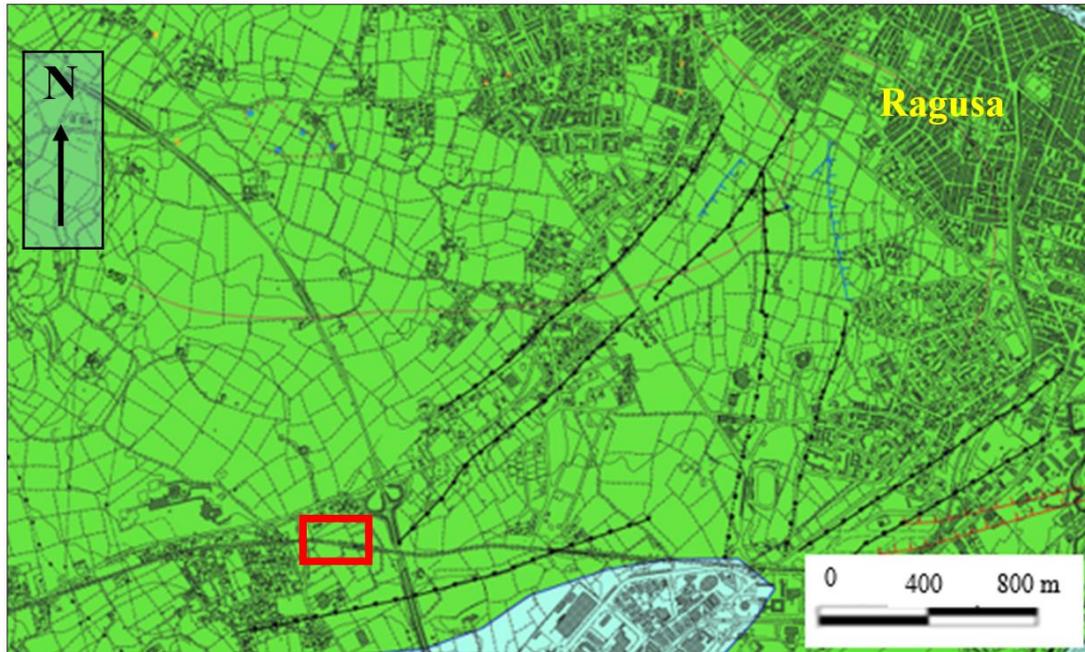


Figura 5-3 – Stralcio, non in scala, della Carta Idrogeologica del PRG del Comune di Ragusa (scala originale 1: 10.000, anno 2014). In rosso si evidenzia l'area di progetto della stazione di Cisternazzi.

	COMPLESSO CONGLOMERATICO-SABBIOSO (cs): comprende depositi alluvionali e di spiaggia, terrazzi fluviali, detrito di falda (se di spessore rilevante), coni di detrito e litotipi a permeabilità per porosità con valori medi tra 10^{-2} e 10^{-3} cm/sec.
	COMPLESSO CALCAREO-MARNOSO (cm): comprende litotipi rocciosi in cui la componente calcarea è predominante, con permeabilità per fessurazione con valori elevati di permeabilità
	COMPLESSO MARNOSO - SILTOSO - ARGILLOSO (msa): comprende litotipi rocciosi in cui la componente marnosa, siltosa o argillosa è predominante. con permeabilità per fessurazione con valori di permeabilità bassa o nulla.
	COMPLESSO LIMOSO - ARGILLOSO (la): comprende litotipi in cui la componente limosa e/o argillosa è predominante. Valori di permeabilità bassa o nulla.

Figura 5-4 – Stralcio della legenda della Carta Idrogeologica del PRG di Ragusa, scala 1: 10.000, anno 2014.

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 26 di 70

6 ANALISI DEL RISCHIO E DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

È stata dunque analizzata la cartografia tematica resa disponibile dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sicilia (Bacini Idrografici del F. Irminio e del T. di Modica ed aree intermedie) disponibile sul sito web http://www.sitr.regione.sicilia.it/pai/index_of-CD_PAI_per_BACINO_082-083_2012_I_AGG_PARZIALE_per_Cartografia.html.

In Figura 6-1 si riporta uno stralcio della carta dei Dissesti, redatta dal P.A.I (1° aggiornamento parziale, 2012) per l'individuazione delle aree a rischio geomorfologico, per l'area della stazione di Cisternazzi/Ospedale; tale carta è stata redatta dal PAI sulla base della conoscenza delle caratteristiche del territorio, l'acquisizione di studi ed indagini specifiche, unitamente alle verifiche dirette attraverso sopralluoghi e rilievi di campagna, che hanno consentito l'identificazione della tipologia dei fenomeni di dissesto presenti, la perimetrazione delle aree instabili e la conseguente classificazione della pericolosità e del rischio.

Analizzando la carta è possibile osservare come l'area di progetto non risulti ubicata in prossimità di fenomeni di dissesto cartografati.

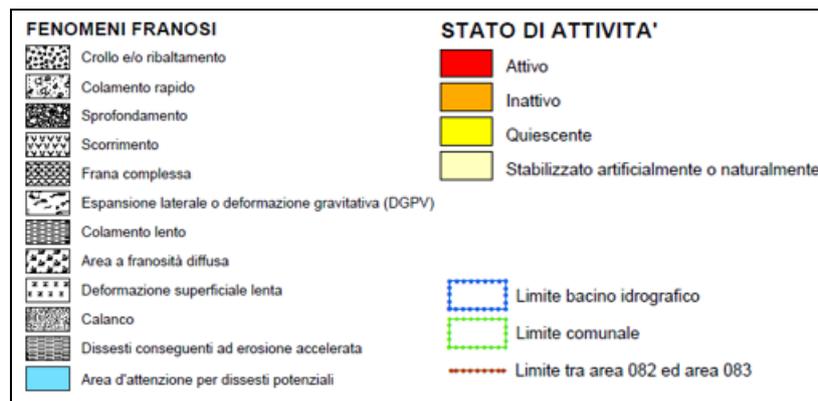
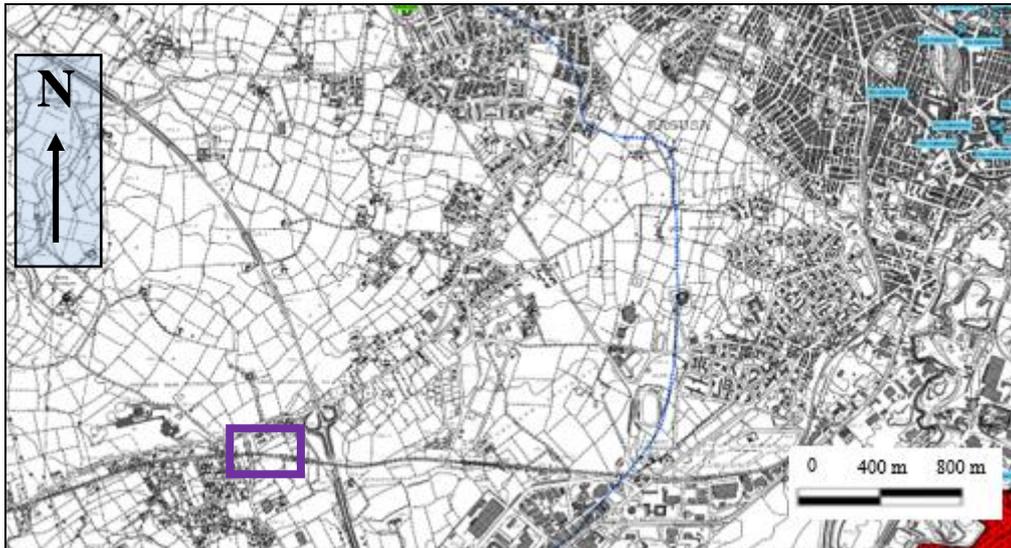


Figura 6-1 – Stralcio, non in scala, e legenda della carta dei Dissesti. P.A.I. Sicilia (Bacini Idrografici del F. Irminio e del T. di Modica ed area intermedia (1° Aggiornamento parziale, anno 2012). (Scala originale 1: 10.000). Il rettangolo viola evidenzia l'area di progetto presso la fermata Cisternazzi.

Per quanto concerne invece la cartografia della pericolosità e del rischio geomorfologico (Figura 6-2), è possibile affermare che l'area di progetto di Cisternazzi, localizzata lontano da aree di versante, non risulta ricadente in alcuna area classificata a pericolosità o a rischio.

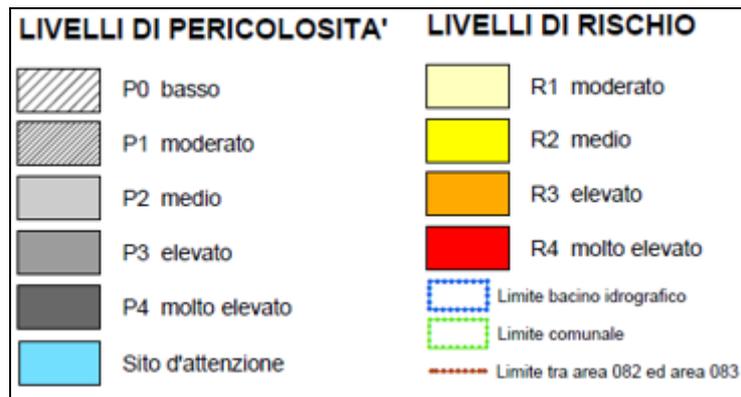


Figura 6-2 – Stralcio, non in scala, con legenda della carta della pericolosità e del rischio geomorfologico. P.A.I. Sicilia (Bacini Idrografici del F. Irminio e del T. di Modica ed area intermedia (1° Aggiornamento parziale, anno 2012)). (Scala originale 1: 10.000). Il rettangolo viola evidenzia l'area di progetto della Stazione Ospedale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

7 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti da indagini geognostiche eseguite in questa fase progettuale e comprendenti:

- n. 1 sondaggio geognostico (S1) eseguito presso la stazione di Cisternazzi/Ospedale, spinto sino alla profondità massima di 30 m da p.c., nel corso del quale sono state eseguite prove SPT, prove di permeabilità di tipo Lugeon e sono stati prelevati spezzoni lapidei per le relative prove di laboratorio;
- n. 1 prova geofisica di tipo MASW e n. 1 prove HVSR eseguite presso il sondaggio S1 per la definizione dell'azione sismica di entrambi i siti di progetto.

In Tabella 7-1 è riportata la profondità del sondaggio effettuato, la data di esecuzione, la quota e le coordinate UTM Zone 33 N, mentre in Tabella 7-3 è riportata la posizione delle prove geofisiche realizzata.

La Tabella 7-1 identifica, rispettivamente, localizzazione, data di esecuzione, profondità e quota del sondaggio S1, mentre la Tabella 7-2 i valori di RQD calcolati sulle carote di materiale lapideo estratte durante la perforazione del sondaggio.

Infine, la Tabella 7-3 riporta ubicazione, data di esecuzione, quota, valori di V_{seq} e categoria di suolo risultante delle prove MASW.

Tabella 7-1 – Sondaggio S1 eseguito

Sondaggi					
ID	Data esecuzione	Profondità (m)	E	N	Quota (m s.l.m.)
S1	11-14/11/2019	30	14°41'12.19"E	36°54'13.41"N	580
S2	14-16/11/2019	30	14°41'12.19"E	36°54'13.41"N	515

Tabella 7-2 – Valori di RQD calcolati durante l'esecuzione del sondaggio S1

Profondità (m da p.c.)	RQD (%)
1.2-2.2	60
2.2-3.2	0
3.2-4.6	52
4.6-6.2	13
6.2-8.4	37
8.4-10	23
10-12.2	57

Profondità (m da p.c.)	RQD (%)
12.2-13.2	22
13.2-14.8	69
14.8-16.2	85
16.2-18	32
18-20.2	58
20.2-21.2	53
21.2-22.4	66
22.4-23.8	84
23.8-25	70
25-26.2	43
26.2-28	93
28-29	92
29-30	50

Tabella 7-3 – MASW eseguita

ID	Data esecuzione	E	N	Quota (m s.l.m.)	V _{Seq} (m/s)	Categoria suolo (NTC2018)
MASW S1 + HVSR149	21/10/2019	14.686147°	36.903712°	588	376	B

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

8 ASSETTO STRATIGRAFICO DELLE AREE DI PROGETTO

Nel presente paragrafo si riporta una descrizione dell'assetto geologico-stratigrafico locale dedotto sia a partire dalle informazioni bibliografiche che dai dati acquisiti nel corso delle indagini geognostiche eseguite. Negli elaborati RS3Y1BD69NZGE0001001A e RS3Y1BD69NZGE0001002A vengono riportati i profili stratigrafici locali risultanti.

8.1 AREA DELLA STAZIONE DI CISTERNAZZI

Nell'area di progetto il profilo stratigrafico risulta dominato dalla presenza di materiali lapidei appartenenti alla formazione di Ragusa, Membro Irminio, composti da calcareniti, da calciruditi e marne sabbiose, ascrivibili al Miocene inferiore-medio. Il sondaggio S1 realizzato a supporto della presente progettazione ha infatti individuato, al di sotto di 40 cm di materiali di riporto, e di ulteriori 30 cm di terreno pedogenizzato, calcareniti massive a variabile grado di fratturazione sino alla massima profondità investigata di 30 m da p.c..

8.1.1 Permeabilità delle calcareniti da prove Lugeon

Per quanto riguarda la permeabilità delle calcareniti appartenenti alla Formazione di Ragusa, sono state effettuate 2 prove di permeabilità Lugeon in roccia nel sondaggio S1 (paragrafo 7), una tra 3.0 e 6.0 m da p.c., ed una tra 20.0 e 25.0 m da p.c..

L'interpretazione delle prove di permeabilità Lugeon viene effettuata utilizzando il calcolo delle Unità Lugeon tramite l'equazione:

$$L = \frac{10 \times Q}{P}$$

dove:

L: unità Lugeon;

Q: portata di immissione dell'acqua in foro per ciascun gradino di pressione (l/min/m)

P: pressione di immissione (bar).

I risultanti valori di Unità Lugeon calcolati per ciascuno step di prova vengono plottati nel relativo diagramma che mette in correlazione l'andamento dei valori di Unità Lugeon corrispondenti a ciascun gradino di portata e pressione misurate durante la prova. I trend tipici dei diagrammi Lugeon vengono associati alle tipologie di flusso caratteristiche dell'ammasso (Houlsby, 1976) e quindi utilizzati per determinare il valore di Unità Lugeon caratteristico di tale condizione (Quiñones-Rozo, 2010), (Figura 8-1).

Behaviour	Lugeon Pattern	Flow vs. Pressure Pattern	Representative Lugeon Value
Laminar Flow			Average of Lugeon values for all steps
Turbulent Flow			Lugeon value corresponding to the highest water pressure (3rd step)
Dilation			Lowest Lugeon value recorded, corresponding either to low or medium water pressures (1st, 2nd, 4th, 5th step)
Wash-out			Highest Lugeon value recorded (5th step)
Void Filling			Final Lugeon value (5th step)

Figura 8-1 – Correlazione tra tipologia di flusso e unità Lugeon (Houlsby, 1976) e correlazione tra tipologia di flusso e diagramma pressioni (Quiñones-Rozo, 2010)

Houlsby (1976) definisce come segue le diverse condizioni dell'ammasso associate ai diagrammi Lugeon:

- Flusso laminare: la conducibilità idraulica dell'ammasso è indipendente dalle pressioni utilizzate durante la prova. Questo comportamento è caratteristico di ammassi aventi bassa conducibilità idraulica, ove le velocità di infiltrazione sono modeste (meno di 4 unità Lugeon);
- Flusso turbolento: la conducibilità idraulica dell'ammasso decresce al crescere della pressione dell'acqua. Questo comportamento è caratteristico di ammassi aventi sistemi di fratture da parzialmente a moderatamente aperte.
- Dilatazione: conducibilità idrauliche simili osservate a pressioni basse e medie; valori di conducibilità molto superiori alla massima pressione. Questo comportamento, talvolta osservato anche a pressioni medie, avviene quando la pressione applicata è più grande dello stress principale minimo dell'ammasso, tale per cui si causa una dilatazione temporanea delle fessure dell'ammasso stesso. La dilatazione causa un incremento della sezione utile di flusso, e perciò un incremento della conducibilità idraulica.
- Dilavamento: la conducibilità idraulica aumenta al procedere della prova, indipendentemente dalle variazioni di pressione. Tale comportamento indica che l'infiltrazione induce danni permanenti ed irreversibili all'ammasso roccioso, solitamente a causa di dilavamento dei riempimenti o di movimenti in roccia permanenti.
- Riempimento dei vuoti: la conducibilità idraulica decresce al procedere della prova, indipendentemente dalle variazioni di pressione. Tale comportamento indica sia che l'acqua progressivamente riempie discontinuità isolate o non persistenti, o che materiale fine fluisce lentamente nelle discontinuità riempiendole e chiudendole.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

In Figura 8-2 viene infine riportata la tabella che descrive le condizioni dell'ammasso roccioso tipicamente associate ai range di Unità Lugeon ed ai range di conducibilità idraulica.

Lugeon Range	Classification	Hydraulic Conductivity Range (cm/sec)	Condition of Rock Mass Discontinuities	Reporting Precision (Lugeons)
<1	Very Low	$< 1 \times 10^{-5}$	Very tight	<1
1-5	Low	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$	Tight	± 0
5-15	Moderate	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	Few partly open	± 1
15-50	Medium	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$	Some open	± 5
50-100	High	$6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	Many open	± 10
>100	Very High	$> 1 \times 10^{-3}$	Open closely spaced or voids	>100

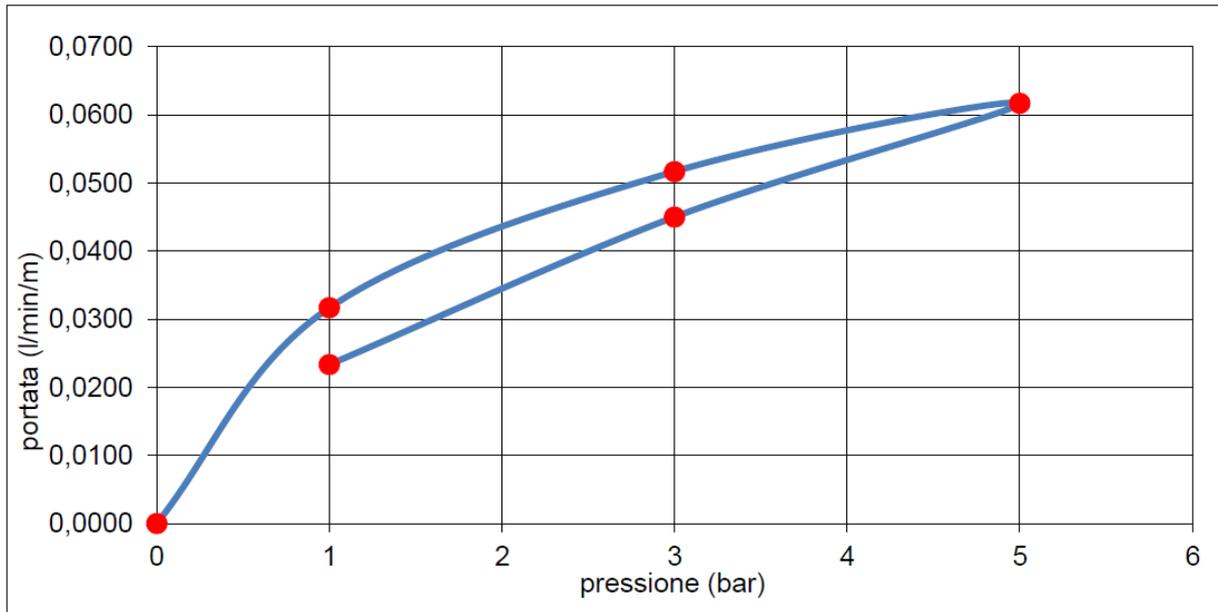
Figura 8-2 - Condizioni dell'ammasso roccioso correlate alla conducibilità idraulica ed alle unità Lugeon (Quiñones-Rozo, 2010)

Analizzando dunque le prove Lugeon eseguite nel sondaggio S1 è possibile affermare che:

- La prova 1, eseguita tra 3.0 e 6.0 m da p.c., ha restituito il diagramma riportato in 8-4, tipico di flusso turbolento. Considerando dunque il terzo valore di Unità Lugeon (0.247) corrispondente al relativo terzo gradino di pressione (0.3 MPa) ed al terzo gradino di portata (0.062 l/min/m), come riportato in Figura 8-3, esso corrisponde ad una permeabilità media di 3.00E-08 m/s, e ad una condizione di ammasso avente sistemi di fratture molto chiuse (coerente con le caratteristiche delle calcareniti della formazione di Ragusa).

portata (l/min/m)	pressione (MPa)	permeabilità (Unità Lugeon)	INCLINAZIONE FORO SULLA VERTICALE:	0
0,032	0,1	0,633	QUOTA INIZIALE E FINALE PROVA:	3,00-6,00
0,052	0,2	0,344	LUNGHEZZA SEZIONE DI PROVA (m):	3,00
0,062	0,3	0,247	ALTEZZA MANOMETRO DA BOCCAFORO:	0,5 m
0,045	0,2	0,300	PROFONDITA' FALDA	0
0,023	0,1	0,467	PACKER AD ARIA TIPO:	MENARD
			PERMEABILITA' MEDIA IN UNITA' LUGEON	0,398
			PERMEABILITA' MEDIA IN m/s	3,00E-08

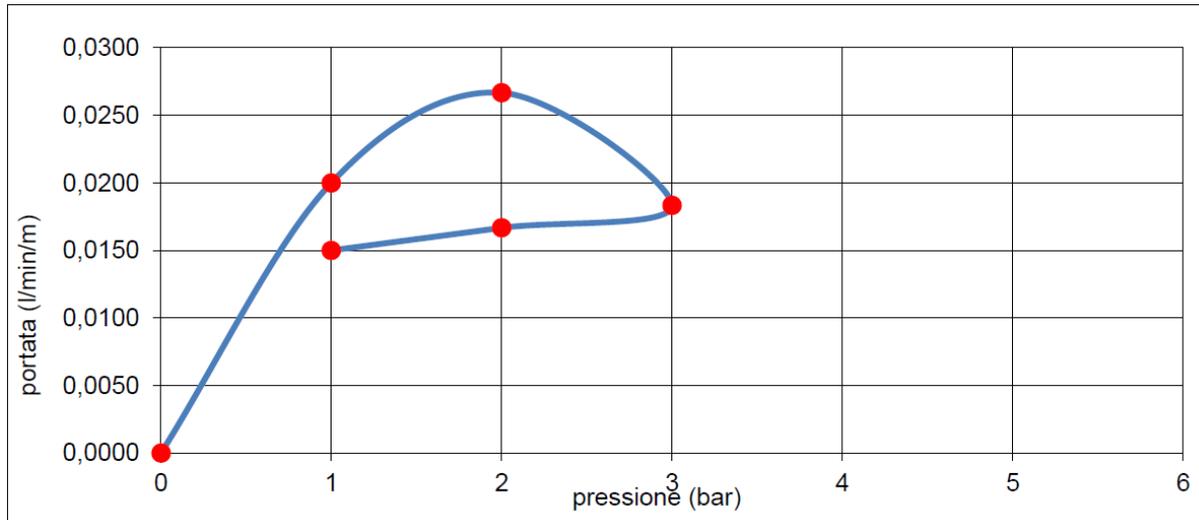
Figura 8-3 – Unità Lugeon corrispondenti ai gradini di pressione per la prova 1


Figura 8-4 – Diagramma portata-pressioni per la prova 1

- Anche la prova 2, eseguita tra 20.0 e 25.0 m da p.c., ha restituito il diagramma riportato in Figura 8-6, tipico di flusso turbolento. Considerando dunque il terzo valore di Unità Lugeon (0.122) corrispondente al relativo terzo gradino di pressione (0.3 MPa) ed al terzo gradino di portata (0.018 l/min/m) come riportato in Figura 8-5, in questo caso esso corrisponde ad una permeabilità di 1.89E-08, e ad una condizione di ammasso avente sistemi di fratture molto chiuse.

portata (l/min/m)	pressione (MPa)	permeabilità (Unità Lugeon)	INCLINAZIONE FORO SULLA VERTICALE:	0
0,020	0,1	0,400	QUOTA INIZIALE E FINALE PROVA:	3,00-6,00
0,027	0,2	0,267	LUNGHEZZA SEZIONE DI PROVA (m):	3,00
0,018	0,3	0,122	ALTEZZA MANOMETRO DA BOCCAFFORO:	0,5 m
0,017	0,2	0,167	PROFONDITA' FALDA	0
0,015	0,1	0,300	PACKER AD ARIA TIPO:	MENARD
			PERMEABILITA' MEDIA IN UNITA' LUGEON	0,251
			PERMEABILITA' MEDIA IN m/s	1,89E-08

Figura 8-5 – Unità Lugeon corrispondenti ai gradini di pressione per la prova 2


Figura 8-6 – Diagramma portata-pressioni per la prova 2

Le prove di permeabilità in foro hanno carattere puntuale e sono rappresentative soltanto di uno spessore limitato di ammasso roccioso. Considerando infatti le caratteristiche di fratturazione dei calcari della Formazione Ragusa, si ritiene che i valori di permeabilità ottenuti tramite prove Lugeon risultino piuttosto bassi, e che, a grande scala, sia più accurato assegnare all'ammasso roccioso un range di permeabilità secondaria desunto da bibliografia (fonte Piano di Tutela delle Acque della Sicilia, articolo 44 del Decreto Legislativo 11 Maggio 1999, n°152 e successive modifiche ed integrazioni - approvato in Dicembre 2005) compreso tra $1 \cdot 10^{-6}$ m/s ed $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, con, localmente, aree caratterizzate da valori più o meno elevati a seconda del grado di fratturazione.

8.1.2 Livelli di falda presso l'area di progetto

Come già accennato la falda è presente a profondità relativamente elevate in relazione alle tipologie di opere in progetto. In particolare:

- Per quanto riguarda l'area della stazione di Cisternazzi sono state effettuate misure del livello di falda all'interno del sondaggio S1 realizzato a novembre 2019; le letture effettuate, eseguite sia in corso di perforazione, sia a valle dell'installazione della tubazione piezometrica a tubo aperto, vengono riportati in Tabella 8-1

Tabella 8-1 – Misure di falda eseguite nel sondaggio S1

Sondaggio	Data	Misura	Quota (m s.l.m.)
S1 – in corso di perforazione	13/11/2019	-8.00	+574
S1- in corso di perforazione	14/11/2019	-18.00	+564
S1- in piezometro installato	15/11/2019	-23.20	+558.8
S1- in piezometro installato	29/11/2019	-19,20	+562,8

Considerando la misura più attendibile quella effettuata nel piezometro in data 29/11/2019, non disturbata dall'acqua di perforazione, si ritiene che la falda non interferisca con l'opera in progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

9 INQUADRAMENTO SISMICO

9.1 PREMESSA

Nel seguito, si fornisce un inquadramento dal punto di vista della sismicità locale a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e degli effetti macrosismici registrati al sito di progetto nel corso di terremoti storici. Successivamente, facendo diretto riferimento alle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC2018), verrà definita l'azione sismica funzione delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento basato sulla vita nominale delle opere, la loro classe d'uso, nei diversi Stati Limite considerati. Con riferimento sempre alle indicazioni normative, la definizione dell'accelerazione di progetto si baserà sulla effettiva localizzazione delle opere.

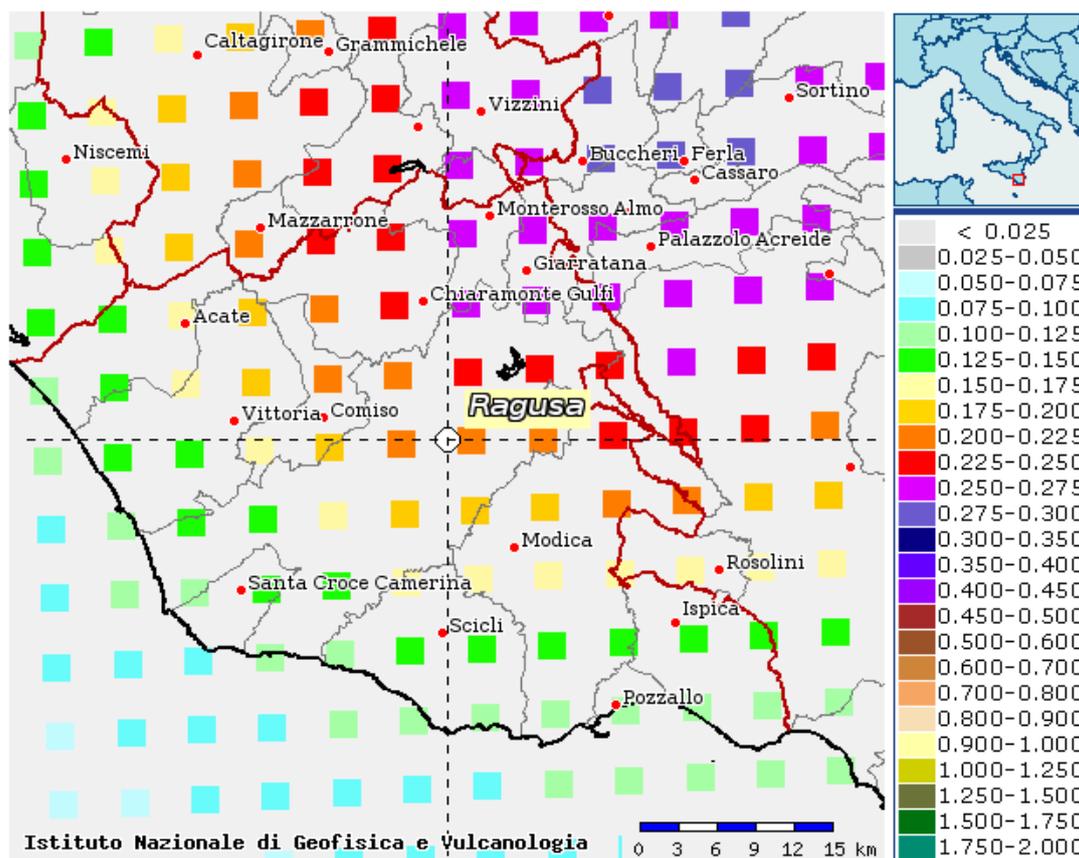


Figura 9-1 – Valori di pericolosità sismica nell'intorno dell'area di progetto da elaborazioni DPC-INGV S1

[\(http://esse1-gis.mi.ingv.it/\)](http://esse1-gis.mi.ingv.it/)

Ai sensi delle NTC2018, l'azione sismica deve essere innanzitutto determinata in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1); si fa qui riferimento alle

¹ Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20.02.2018 – Supplemento Ordinario n. 8.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

tabelle in allegato alla edizione 2008 delle NTC, le quali elencano i valori di accelerazione massima al suolo, oltre ai parametri spettrali, in corrispondenza dei punti di una griglia di apertura 5x5 km a coprire il territorio nazionale (vedasi il dettaglio dell'area del comune di Figura 9-1).

Per la localizzazione dell'opera in progetto, può essere fatto riferimento alla Figura 9-2 dove vengono altresì indicati i punti sede di indagini geofisiche e geotecniche.

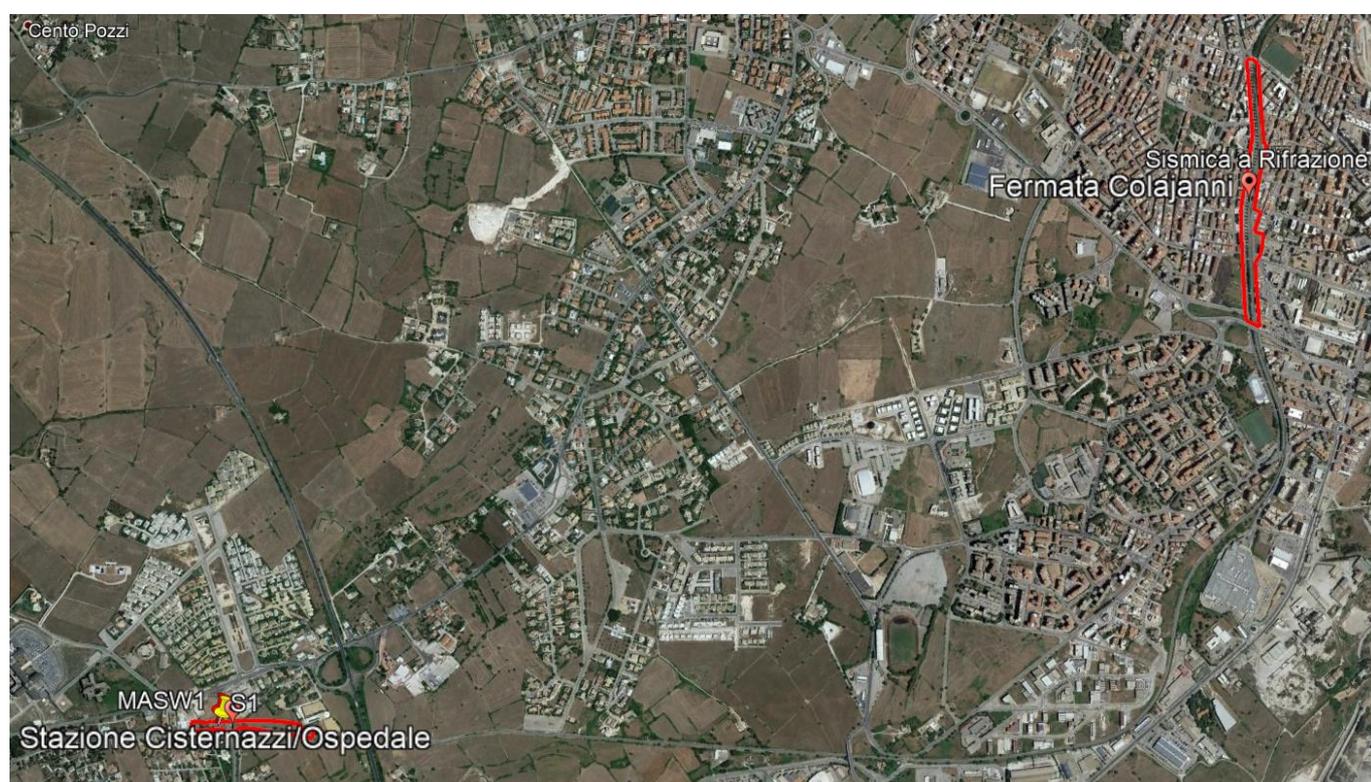


Figura 9-2 – Localizzazione dell'opera di progetto con sondaggi e prove geofisiche eseguite.

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

9.2 AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE

L'attività tettonica dell'Italia meridionale è influenzata dalla convergenza delle placche tettoniche circostanti, principalmente assorbita dalle estrusioni laterali, in sensi opposti, del cuneo calabro e di quello ibleo comprendente la Sicilia (Mantovani et al, 2009, 2014). In particolare, la Sicilia è caratterizzata da una notevole attività sismica che interessa principalmente:

- la zona costiera orientale compresa tra lo Stretto di Messina e l'area del Siracusano;
- la zona settentrionale, lungo la dorsale dei Peloritani-Nebrodi-Madonie-Monti di Palermo;
- l'area del Belice, nella parte occidentale dell'isola;
- le zone a vulcanismo attivo, come quelle dell'Etna e delle Isole Eolie.

Altre aree sismicamente attive comprendono il Mar Tirreno meridionale, le Isole Egadi oltre alla zona del Canale di Sicilia.

In Sicilia sud-orientale la sismicità è distribuita principalmente in due settori: lungo la costa ionica, dove gli eventi raggiungono magnitudo circa 7.0; nell'area interna, con terremoti di $M_S \leq 5.5$.

Quanto sopra è ben evidenziato dalla mappa della sismicità storica riportata in estratto in Figura 9-3, che rappresenta i principali terremoti avvenuti nell'ultimo millennio. I terremoti più significativi hanno avuto epicentro nella Sicilia orientale, tra cui quelli del 1169 (magnitudo M_W 6.4) e 1693 (M_W 7.41) localizzati sulla fascia costiera tra Siracusa e Catania con danni estesi nell'area Iblea e nel Catanese: Si segnala ovviamente il terremoto di elevata magnitudo relativamente più recente (Stretto di Messina, 1908, M_W 7.1), i cui effetti devastanti sulle zone costiere orientali della Sicilia ed in Calabria sono stati oggetto di numerosi studi.

La sismicità recente della Sicilia, registrata dalla Rete Sismica Nazionale, è classificabile come moderata, e si concentra principalmente nell'area etnea, lungo la dorsale montuosa dei Peloritani-Nebrodi-Madonie (fino a Palermo), in Sicilia sud-orientale e nord-orientale e, in particolare, nel Golfo di Patti. Gli eventi sismici recenti più forti sono costituiti dal terremoto del 13 dicembre 1990 in Sicilia sud-orientale (magnitudo M_L 5.4, M_W 5.6) e, a Ovest, quello del 6 settembre 2002 a largo di Palermo (M_L 5.6, M_W 5.9).

Sulla base dell'inquadramento di cui sopra, in termini strettamente sismologici, la Figura 9-3 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Rovida et al., 2016). Gli epicentri sono sovrapposti alle sorgenti sismiche del modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al., 2008), alla base dell'attuale mappa di pericolosità del territorio italiano di cui alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 40 di 56

e NTC2018). Sono inoltre riportate le principali faglie individuali (ISS) ed i sistemi di faglie composite (CSS) tratti dal progetto DISS3 (Haller e Basili, 2011). Si osserva come la definizione delle zone sismogenetiche ZS9 corrisponda sia alla distribuzione delle faglie sul territorio nazionale, sia alla distribuzione degli epicentri dei terremoti. Il modello sismogenetico racchiude pertanto informazioni sia di natura geologica, sia dettate dalla sismicità storica.

Il modello sismotettonico ZS9 individua in Sicilia 5 zone a sismicità diffusa: ZS932, ZS933, ZS934, ZS935 e ZS936. La ZS932 include strutture note essenzialmente da esplorazione geofisica; ad essa sono attribuite faglie legate allo “svincolo” che consente l’arretramento dell’arco calabro e le strutture “sintetiche” che segmentano il Golfo di Patti, analogamente a quanto avviene più ad Ovest nel bacino di Cefalù. La ZS933 e ZS934, nella parte settentrionale della Sicilia, sono caratterizzate da una sismicità medio-alta, con magnitudo massima associata pari a 6.14. La ZS935 (al bordo il quale è localizzato il sito di progetto) è caratterizzata da elevata sismicità e contiene la zona epicentrale dell’evento del 1693 a cui è associata la magnitudo più elevata del catalogo dei terremoti italiani ($M_w=7.41$). Infine, la ZS936 coincide con l’area etnea all’interno della quale troviamo l’epicentro del terremoto del 1818 (Catanese).

Procedendo verso Est, in Calabria, si riconoscono due zone sismogenetiche caratterizzate da livelli di sismicità tra i più elevati dell’intero territorio italiano, ossia la ZS929 sul lato tirrenico e ZS930 sul lato ionico. I terremoti con maggiore magnitudo hanno interessato i bacini del Crati (a Nord), del Savuto (a Centro) e del Mesima (a Sud di Calabria) fino allo Stretto di Messina (zona 929). Questi eventi comprendono la sequenza del 1783 (Calabria) e i terremoti del 1905 (Calabria meridionale) e 1908 (Calabria meridionale-Messina). Viceversa, sul lato ionico della Calabria, solo 4 eventi hanno magnitudo superiore a 6, tra i quali il terremoto del 1638 (Calabria) appare come l’evento maggiormente energetico.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

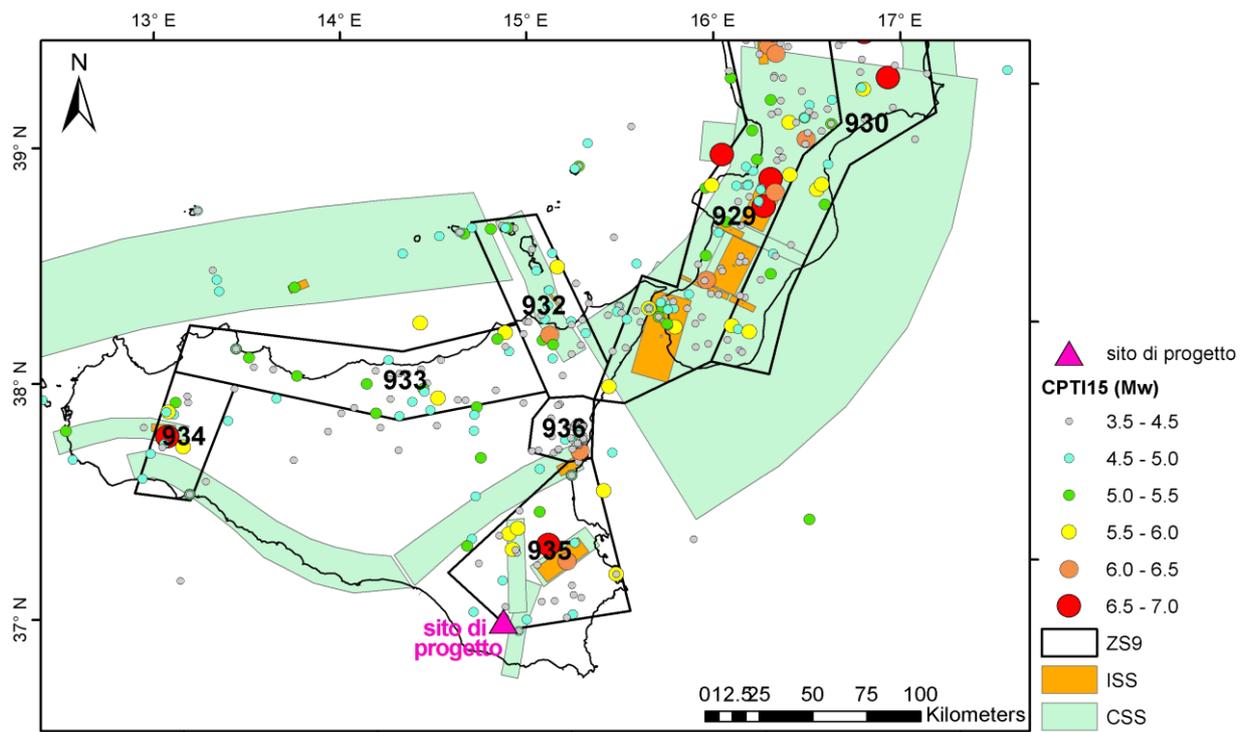


Figura 9-3 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell'intorno del sito di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchi colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI15). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.

I lineamenti di faglia più vicini all'opera oggetto dello studio (vedi l'estratto dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.2 di Figura 9-4) sono costituiti da sistemi di faglie composite (CSS), all'interno dei quali si classificano alcune sorgenti individuali (ISS). Il sito di progetto è localizzato all'interno della zona composta ITCS017 (Scicli-Giarratana) con magnitudo massima di 5.5. I cataloghi storici (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Guidoboni et al., 2007) mostrano una sismicità significativa concentrata principalmente vicino al margine settentrionale dell'Altopiano Ibleano. I terremoti più importanti in quest'area sono gli eventi del 4 febbraio 1169 (M_w 6.6), del 10 dicembre 1542 (M_w 6.6) e dell'11 gennaio 1693 (M_w 7.4). Inoltre, il sito di progetto è posizionato anche al bordo di faglia composta ITCS035 (Ragusa-Palagonia) con magnitudo massima di 5.6. Questa sorgente composta comprende la parte settentrionale della faglia Scicli nell'Altopiano Ibleano. Questa zona di taglio orientata verso N-S, lunga oltre 70 km, si estende dall'area di Iblea all'area foranea sotto i depositi di Gela-Catania. Vicino al sito di progetto, risulta altresì la faglia ITC036 (Monte Lauro) caratterizzata da una magnitudo massima di 6.6. All'interno di questa zona è evidenziata la sorgente individuale ITIS074 generatrice dell'evento del 1693.

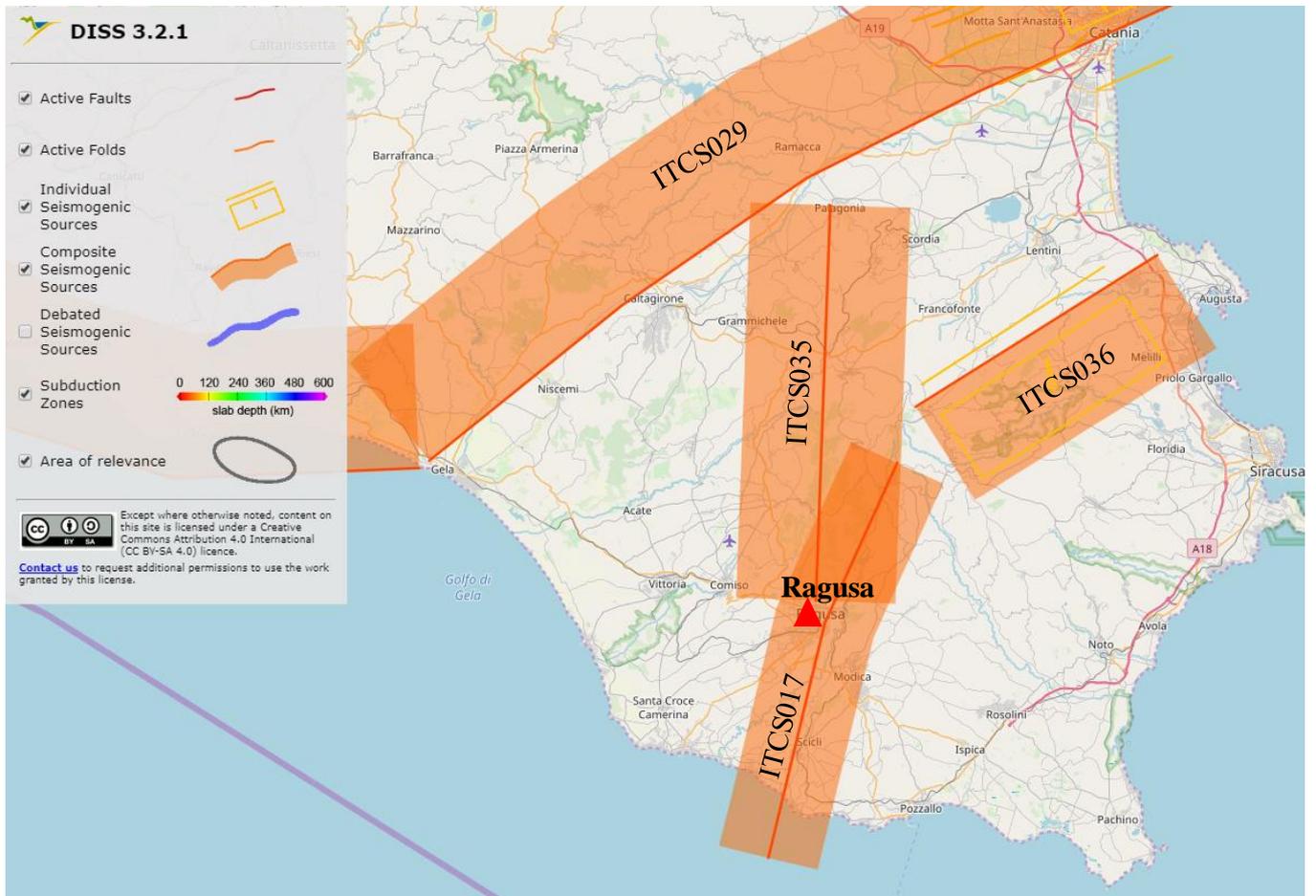


Figura 9-4. Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.2) rilevanti per l’area in oggetto (triangolo rosso).

Per avere un quadro completo dei livelli di sismicità dell’area di interesse, un utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati et al., 2016), il quale contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti accaduti fino al 2014. In particolare, la Figura 9-5 mostra la storia sismica associata al comune di Ragusa in termini di intensità macrosismica con osservazioni concentrate negli ultimi 300 anni, sostanzialmente per una limitazione legata alla documentazione disponibile relativa ai danni co-sismici. Per avere un quadro più completo, in Figura 9-6 viene mostrata la storia sismica associata al comune di Modica (circa 8 km dal sito di progetto), sempre in termini di intensità macrosismica. Si nota come la frequenza di eventi sismici in grado di produrre risentimenti al sito sia significativa, con intensità sismiche massime avvertite nell’ordine di 10. Gli eventi più importanti in termini di intensità percepita nell’area del Comune di Ragusa sono costituiti dal terremoto del 1693 del Sicilia sud-orientale ($M_w = 7.32$, $I = 10$) ed il terremoto del 1818 (Monti Iblei, $M_w 5.57$, $I = 7-8$).

Da quanto sopra si evince come sia associabile all'area interessata di progetto una sismicità molto alta.

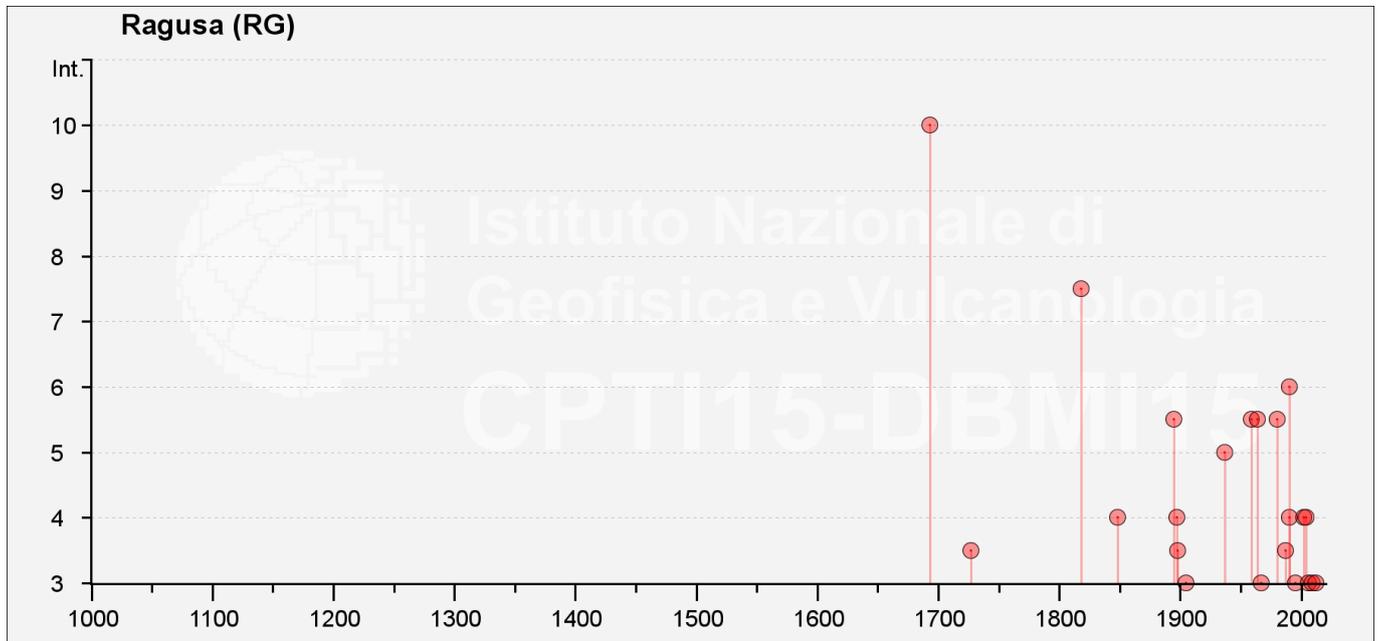


Figura 9-5 Storia sismica del comune di Ragusa (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).

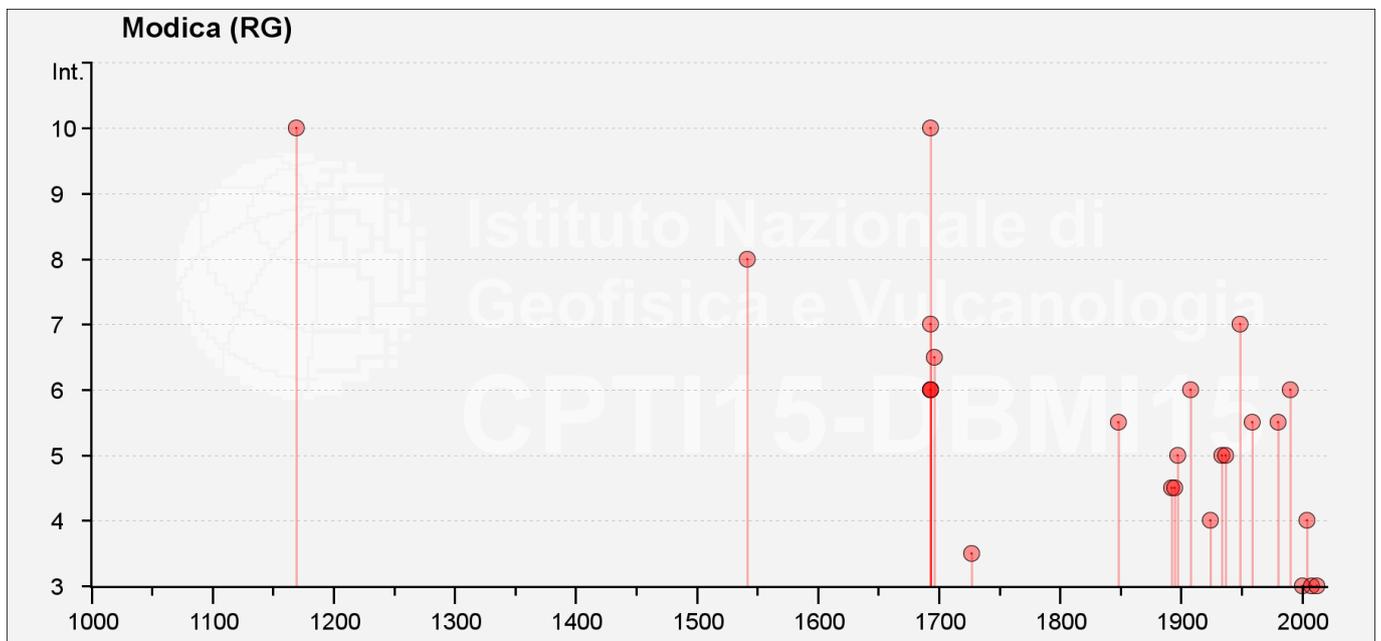


Figura 9-6 Storia sismica del comune di Modica (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 44 di 56

9.3 DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI PROGETTO

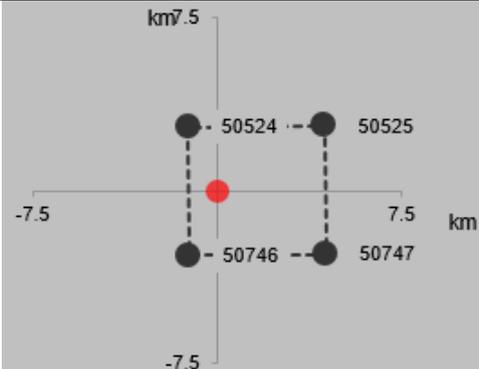
La definizione dell’azione sismica di progetto per l’opera segue quanto disposto dalle NTC2018. In particolare, l’azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La definizione dell’azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato al Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, i valori dei suddetti parametri sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. In Tabella 9-1, si riporta l’identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell’azione sismica (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009) per i due siti di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 9-1 – Nodi del reticolo di riferimento nell’intorno del sito di progetto. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.

ID Punto	Longitudine	Latitudine	Localizzazione punti di griglia
Stazione Cisternazzi	14.686690°	36.903537°	

Vita nominale, vita utile e periodi di ritorno dell’azione sismica

La Vita Nominale V_N di un’opera, intesa come il periodo temporale entro cui l’opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell’azione sismica, i progettisti hanno assunto:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

Con riferimento alle conseguenze di un’interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d’uso, la cui appartenenza è stabilita in base all’importanza dell’opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame, sulla base delle indicazioni dei progettisti, le opere in corrispondenza della stazione Cisternazzi appartengono alla Classe d’Uso IV (coefficiente d’uso $C_U = 2$), ossia:

“Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l’ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.”.

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2018, alla Classe d’Uso IV corrisponde un coefficiente d’uso C_U pari a:

$$C_U = 2$$

Il periodo di riferimento V_R si ottiene moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d’uso C_U . Nel caso in esame:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2 = 100 \text{ anni}$$

L’azione sismica di progetto va quindi determinata in funzione degli Stati Limite di verifica e delle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R .

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

- Stati Limite Ultimi (SLU):
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidezza nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):
 - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell’evento sismico.
 - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell’opera ed il suo immediato utilizzo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione:

$$T_R = - V_R / \ln(1 - P_{VR})$$

Nel caso in esame, i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica, per i diversi Stati Limite e per i due siti di progetto sono indicati in Tabella 9-2 assieme a a_g , F_0 e T_c^* .

Tabella 9-2 – Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)) per la Stazione Cisternazzi per $V_R = 100$ anni.

SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLO	60	0.052	2.523	0.267
SLD	101	0.072	2.505	0.289
SLV	949	0.273	2.367	0.454
SLC	1950	0.390	2.366	0.509

Risposta sismica locale

Le NTC2018 definiscono il fattore di sito S come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente S_T):

$$S = S_s \cdot S_T$$

La classificazione del sottosuolo si definisce sulla base delle condizioni stratigrafiche e del valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s) definito dall'espressione:

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

dove:

h_i = spessore dell' i -esimo strato;

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

N = numero di strati;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

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

La campagna di indagini geofisiche e geognostiche nell'intorno della stazione Cisternazzi/Ospedale ha compreso l'esecuzione di una prova SPT nel sondaggio S1 ed una prova MASW (MASW1 nella Figura 9-2). I risultati della MASW restituiscono un valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ pari a 376 m/s. Di conseguenza, sulla base delle informazioni disponibili, il sito di progetto viene fatto appartenere alla categoria di suolo B (Tabella 9-3).

I coefficienti S_s per le categorie di sottosuolo B e E si ottengono dalle seguenti espressioni (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_s = 1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.20 \text{ (Suolo tipo B)}$$

$$S_s = 1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.60 \text{ (Suolo tipo E)}$$

Tabella 9-3 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC2018).

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

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, il sito di progetto si colloca su superficie sostanzialmente pianeggiante (cat. T1 - Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$, in accordo alla Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

$$S_T = 1$$

Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto $a_{max} = S \cdot a_g$ per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite e per il sito sono riportati nella Tabelle 9-3. Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

Tabella 9-3 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)) per la Stazione Cisternazzi per $V_R = 100$ anni.

SL	T_R (anni)	a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLO	60	0.052	1.200	0.063
SLD	101	0.072	1.200	0.087
SLV	949	0.273	1.142	0.312
SLC	1950	0.390	1.031	0.402

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

9.4 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{cIN} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{cIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 9-7 per coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

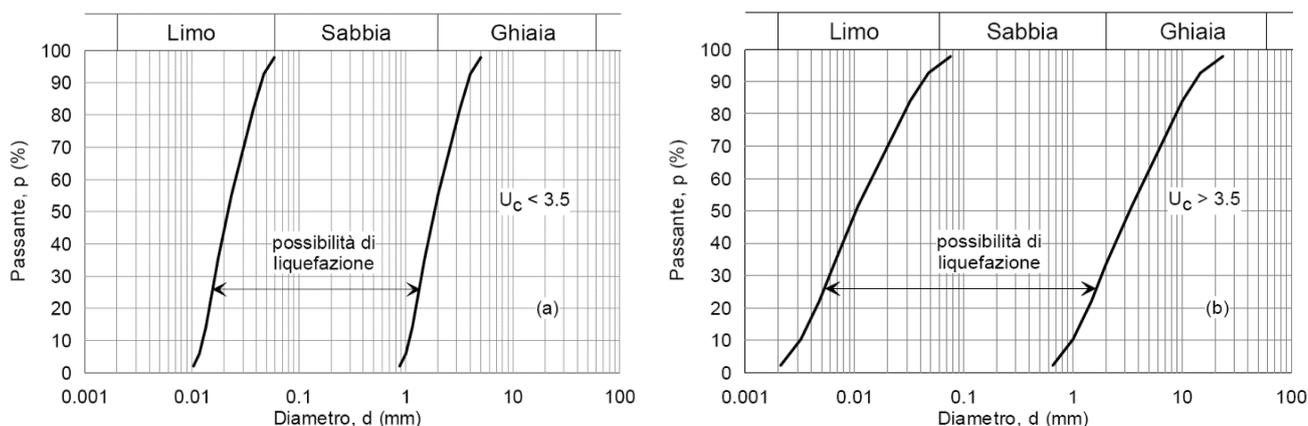


Figura 9-7 – Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni (sx: $U_c < 3.5$, dx: $U_c > 3.5$).

Sulla base delle caratteristiche dei materiali (calcareniti massive a variabile grado di fratturazione), il sito sono è suscettibile rispetto al rischio di liquefazione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

10 CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che:

- Il territorio oggetto di studio ricade nella regione Sicilia, nel Comune di Ragusa. In particolare, l'area di progetto per la realizzazione della stazione Cisternazzi si colloca a sud-ovest dell'area urbana di Ragusa presso la contrada Cisternazzi;
- Il quadro geologico della Sicilia è dato da un edificio a falde Africa-vergente, la catena Appennino-Maghrebide, sovrapposto con il suo fronte più avanzato all'Avanfossa Gela - Catania, derivante a sua volta dallo sprofondamento del bordo settentrionale ed occidentale dell'Avampae Ibleo. L'area di studio, facente parte del bacino idrografico del Fiume Irminio, si colloca in corrispondenza del plateau Ibleo (settore emerso) delimitato dalle aree fessurate sul suo margine nord-occidentale da un sistema di faglie normali di notevole rigetto orientate NE-SO. Esso è stato sede di un'intermittente attività vulcanica dal Triassico fino al Pleistocene inferiore. Il Plateau ibleo è prevalentemente carbonatico. I terreni del Pleistocene inferiore formano una cintura continua attorno all'Altipiano calcareo raggiungendo spessori notevoli lungo i bordi settentrionale ed occidentale. Le calcareniti passano verso l'alto e lateralmente ad argille grigio-azzurre raggiungendo spessori considerevoli in corrispondenza di strutture più depresse. Sul bordo occidentale Ibleo, lungo l'estesa piana tra Caltagirone e Vittoria, la sedimentazione infrapleistocenica è chiusa da una potente serie sabbiosa regressiva che ricopre e sutura la Falda di Gela;
- Dal punto di vista stratigrafico l'area Iblea si presenta relativamente semplice, si tratta infatti dell'affioramento del blocco di avampae non interessato dalle orogenesi che interessano invece le catene Appenninico – Maghrebide e l'Arco Calabro. Sono distinguibili tre aree morfologicamente omogenee: una prima area che interessa parte dell'Altipiano Calcareo Ibleo ove risulta più marcata l'incisione operata da corsi d'acqua; una seconda area che interessa la cosiddetta Piana di Vittoria, costituita da una vasta pianura leggermente ondulata verso Nord e degradante altimetricamente in direzione Sud Ovest; una terza area comprendente la fascia costiera in prossimità dell'abitato di Scoglitti, è caratterizzata dalla presenza di un duneto costiero anticamente molto esteso. L'area di studio ricade interamente in corrispondenza del Membro Irminio, facente parte della Formazione di Ragusa, caratterizzato da calcareniti e da calciruditi e marne sabbiose, ascrivibili al Miocene inferiore-medio. Lo spessore totale della formazione varia da 200 a 550 m;
- Dal punto di vista geomorfologico l'area dei Monti Iblei si presenta come un vasto altopiano sub-circolare, alto 987 m. L'altopiano ibleo è delimitato a nord dalla Piana di Catania e ad ovest dalla Piana di Gela, mentre ad E ed a S degrada rispettivamente verso la costa ionica siracusana e quella ragusana del Mar di Sicilia.

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 52 di 56

Sull’Altopiano Ibleo l’andamento tabulare della superficie sommitale è legato sia all’assetto strutturale sudorientale, proprio per essere area di avampaese, che alla resistenza all’erosione dei termini calcarei e calcarenitici prevalenti. Nella struttura non corrugata dell’altopiano diversi sistemi di faglie di tipo regionale danno luogo ad una chiara tettonica ad horst e graben ben visibile nei lineamenti morfologici;

- Per quanto concerne il rischio geomorfologico, è stata analizzata la cartografia tematica resa disponibile dal Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dei Bacini Idrografici del F. Irmínio e del T. di Modica ed area intermedia. L’area di progetto è stabile dal punto di vista geomorfologico e nell’intorno non sussistono dissesti potenziali o in atto;
- Dal punto di vista idrogeologico le aree in esame ricadono nel corpo Idrico Ragusano, il quale è costituito da un complesso carbonatico degradante verso ovest e sud-est. Un primo acquifero a falda parzialmente confinata si trova nella serie calcarenitica del membro Irmínio, a profondità media compresa tra 50 e 150 m, cui fa seguito un acquifero a falda confinata più profonda e più produttiva nella serie calcareo-marnosa del membro Leonardo. Trattandosi di acquiferi prevalentemente carbonatici, la permeabilità primaria per porosità è quasi nulla, mentre quella secondaria per fratturazione risulta, secondo dati bibliografici, compresa tra 1E-06 e 1E-07 m/s. Le prove di permeabilità in foro di tipo Lugeon eseguite all’interno del sondaggio S1, rispettivamente a 6 e 25 m da p.c., hanno restituito valori di permeabilità compresi tra 1.89E-08 e 3.0E-08; tuttavia, considerando le caratteristiche di fratturazione dei calcari della Formazione Ragusa, si ritiene che i valori di permeabilità ottenuti tramite le prove risultino piuttosto bassi, e che, a grande scala, sia più accurato assegnare all’ammasso roccioso il range di permeabilità rinvenuto in bibliografia. Tale range potrà essere suscettibile a variazioni locali a seconda delle caratteristiche di fratturazione dell’ammasso roccioso.
- Per quanto riguarda la falda presso l’area della stazione di Cisternazzi sono state effettuate misure del livello di falda all’interno del sondaggio S1 realizzato a novembre 2019; la lettura stabilizzata effettuata il giorno 29 Novembre 2019 all’interno del piezometro installato ha restituito un valore di 19.20 m da p.c. corrispondente ad una quota di 562.8 m s.l.m. Si ritiene ragionevolmente che la falda non interferisca con l’opera in progetto;
- Dal punto di vista sismico, si può affermare che i siti risultano caratterizzati da una sismicità molto alta. Sulla base dei risultati delle prove di tipo MASW il sito di progetto è classificato in categoria di suolo B;
- Per quanto riguarda il potenziale di liquefazione dei terreni, le caratteristiche dei materiali (calcareniti massive a variabile grado di fratturazione) evidenziano come il sito di progetto è da ritenersi stabile rispetto a tale fenomeno.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI</p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI</p>	<p>COMMESSA RS3Y</p>	<p>LOTTO 1B</p>	<p>CODIFICA D 69 RG</p>	<p>DOCUMENTO GE0001 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 53 di 56</p>

11 BIBLIOGRAFIA

- Basili, R., and V. Kastelic (2011). D3.4 – *Database of active faults and seismogenic sources*, SHARE, 31.05.2011.
- Carbone S., Grasso M. & Lentini F. (1982) – *Elementi per una valutazione degli eventi tettonico-sedimentari dal Cretaceo al quaternario nella Sicilia sud-orientale*. In: Catalano R. & D'Argenio B. (eds.), Guida alla geologia della Sicilia occidentale, Boll. Guide geologiche regionali, Mem. Soc. Geol. It., Suppl. A. v. XXIV, 103-109, Palermo;
- Cinti F. R., Cucci L., Pantosti D., D'Addezio G. e Meghraoui M. (1997). A major seismogenic fault in a “silent area”: the Castovillari fault (southern Apennines, Italy). *Geophys. J. Int.*, 130, 595-605.
- Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006, Progetto S1, Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi, Coordinatore: Carlo Meletti (INGV). Sito web: <http://esse1.mi.ingv.it/>.
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.8.
- Di Grande A. Er Grasso M. (1979) – *Lineamenti geologici del margine occidentale ibleo nei dintorni di Comiso-Ragusa*. Boll. Soc. Geol.Ital., v. .96(1977), pp'209'224,1p1.,8 fig., Roma.
- 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; doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- Galadini F., Poli M.E., Zanferrari A., (2005) – *Seismogenic source potentially responsible for earthquakes with M ≥ 6 in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy)*. *Geophys. J. Int.*, **161**, 739-762.
- Ghisetti F. & Vezzani L. (1980) – *The structural features of the Hyblean Plateau and of the Mount Judica area (South-Eastern Sicily): a microtectonic contribution to the deformation history of the Calabrian Arc*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 99, 57-102.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

- Ghibaudo G., Clari P., & Perello M. (1985) – *Litostratigrafia, sedimentologia ed evoluzione tettonico-sedimentaria dei depositi miocenici del margine sud-orientale del bacino terziario ligure-piemontese (Valli Borbera, Scrivia e Lemme): (in memoria di Carlo Sturani)*. Società geologica italiana.
- Giammarino S. (1984) - *Evoluzione delle Alpi marittime liguri e sue relazioni con il bacino terziario del Piemonte ed il mar ligure*. *Alli Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A*, 91 (19847 pagg. 155-179, 5 figg).
- Giardini, D., J. Woessner, L. Danciu, G. Valensise, G. Grünthal, F. Cotton, S. Akkar, R. Basili, M. Stucchi, A. Rovida, D. Stromeyer, R. Arvidsson, F. Meletti, R. Musson, R., K. Sesetyan, M. B. Demircioglu, H. Crowley, R. Pinho, K. Pitilakis, J. Douglas, J. Fonseca, M. Erdik, A. Campos-Costa, B. Glavatovic, K. Makropoulos, C. Lindholm, T. Cameelbeeck (2013). *Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Resource*, <http://portal.share-eu.org:8080/jetspeed/portal/>, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE, 2013.
- Grasso M., Reuther C. D., Baumann H. Ec Becker A. (1986) – *Shallow crustal stress and neotectonic framework of the Malta Platform and the Southeastern Pantelleria Rift*. *Geol. Romana*, v. 25, pp. 191-272, 8 fig., 1 tab., Roma.
- Grasso M. (2001) – *The Apenninic-Maghrebian orogen in southern Italy, Sicily and adjacent areas*. In: Vai G. B. & Martini I. P. (eds.), “Anatomy of an orogen: the Apennines and adjacent Mediterranean basins, Kluwer Acad. Publ., UK, 255-286.
- Gruppo di Lavoro CPTI (2004). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007.) CFTI4Med, *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. <http://storing.ingv.it/cfti4med>
- Haller K. M.m and Basili R. (2011). *Developing seismogenic source models based on geologic fault data*. *Seismol. Res. Lett.*, 82, 519-525.
- Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (a cura di) (2011). *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI11>.
- Macchiavelli C. et al. (2013) – *Oligo Quaternary Kinematic evolution of the Sicilian – Maghrebian Chain*. In: *Rend. SGI*, vol. 29.

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 55 di 56

- Mantovani E., Babbucci D., Tamburelli C., Viti M., 2009. A review on the driving mechanism of the Tyrrhenian-Apennines system: implications for the present seismotectonic setting in the Central-Northern Apennines. *Tectonophysics*, 476, 22-40, doi:10.1016/j.tecto.2008.10.032.
- Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Tamburelli C., Cenni N., Baglione M., D’Intinosante V. (2014). Generation of back-arc basins as side effect of shortening processes: examples from the Central Mediterranean. *Int. J. Geosciences*, 5, 1062-1079, <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2014.510091>.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2008). *A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. *Tectonophysics*, 450(1), 85-108. DOI:10.1016/j.tecto.2008.01.003.
- Michetti A. M., Ferrelì L., Serva L. e Vittori E. (1997). Geological evidence for strong historical earthquakes in an “aseismic” region: the Pollino case (southern Italy). *J. Geodynamics*, 24, 67-86.
- Mongelli, F., Zito, G., Della Vedova, B., Pellis, G., Squarci, P. and Taft, L. (1991). *Geothermal regime of Italy and surrounding seas, in Exploration of the deep continental crust*, V. Cermak and L. Rybach eds. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 20 Febbraio 2018.
- Piano Comunale di Protezione Civile della Città di Ragusa.
- Piano di Tutela delle Acque della Sicilia, articolo 44 del Decreto Legislativo 11 Maggio 1999, n°152 e successive modifiche ed integrazioni (approvato in Dicembre 2005).
- Piano Regolatore Generale, Comune di Ragusa.
- Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I. Sicilia). Bacini Idrografici del F. Irminio e del T. di Modica ed area intermedia (1° Aggiornamento parziale, 2012). Cartografia tematica sul sito web http://www.sitr.regione.sicilia.it/pai/index_of-CD_PAI_per_BACINO_082-083_2012_I_AGG_PARZIALE_per_Cartografia.html.
- Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.). Bacini Idrografici del F. Irminio e del T. di Modica ed area intermedia. *Relazione* (anno 2005). Sito web <http://www.sitr.regione.sicilia.it/pai/bac082-083-irminio.htm>.

	PROGETTO DEFINITIVO METROFERROVIA DI RAGUSA. LOTTO 1B NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA – AREA NUOVA STAZIONE DI CISTERNAZZI	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 56 di 56

- Piano Stralcio di Bacino per l’assetto Idrogeologico della Regione Sicilia. *Relazione Generale* (anno 2004).
- RFI DTC INC LG IFS 001 A del 21-12-2012 – “Linea guida per la definizione della graduatoria di priorità dei tratti dell’infrastruttura ferroviaria interessati da fenomeni di dissesto idrogeologico, in base al valore di rischio ferroviario”.
- RFI DTC INC LG IFS 002 A del 09-07-2018 – “Procedure e interventi di protezione della sede dai fenomeni di dissesto idrogeologico”.
- Rovida, A., Camassi, R., Gasperini P. e Stucchi, M. (a cura di) (2011). CPTI11, la versione 2011 del *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.

Valensise, G. and Pantosti, D. (a cura di) (2001). *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy (DISS version 2.0)*. Ann. Geofis. 44, Suppl. 1, con CD-ROM