



"DECARBONIZZAZIONE DEL SISTEMA PORTUALE SICILIANO – PORTO DI SIRACUSA"
CUP: G31B21004600001 – CIG: 95453120A7

PROGETTO ESECUTIVO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO	Ing. Marco Brandaleone	IL PRESIDENTE	On. Renato Schifani
IL DIRIGENTE GENERALE	Ing. Antonio Martini	IL SEGRETARIO GENERALE	Avv. Maria Mattarella
INCARICATO DELLA PROGETTAZIONE	Geol. Teodoro Aldo Battaglia	COORDINATORE SICUREZZA PROGETTAZIONE	Arch. Luciano Franchi

Progettista incaricato:



Azienda certificata ISO 9001:2015
RINA n.5923/01/S IQNet n.IT-19510

Sede legale:
Piazza Roma, 19
32045 S. Stefano di Cadore (BL)
tel +39.0422.693511

Sede secondaria:
Via Pietro Chiesa, 9
16149 Genova (GE)
tel +39.0422.693511

Raggruppamento temporaneo di imprese

Capogruppo:

Mandataria:





Responsabile di commessa:

Ing. Mario Corace

Responsabile di commessa:



Ing. Giuseppe Vito Moramarco

NOME FILE: 32016019PE0GENREL04R1			SCALA: –		PAGINA: –
TITOLO Relazione Tecnica – Parte Geologica e sismica				ELABORATO 32016019 PEO GEN REL 04 R1	
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
0	Giu. 2025	Prima emissione	A. Battaglia	C. Augello	A. Battaglia
1	Lug. 2025	Seconda emissione	A. Battaglia	C. Augello	A. Battaglia

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 1 di 48</div>

INDICE

1	PREMESSA	2
2	ANALISI GEOLOGICA	5
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
2.2	IDROGEOLOGIA.....	7
2.2.1	Pericolosità idrogeologiche	9
3	ANALISI SISMICA.....	14
3.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA	14
3.1.1	Assetto sismotettonico	14
3.1.2	Sismicità storica	17
3.1.3	Pericolosità sismica	21
3.1.4	Eventi sismici di riferimento	23
3.1.5	Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento	23
3.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE.....	27
3.2.1	Condizioni topografiche	28
3.3	PARAMETRI SISMICI DI BASE	28
4	ANALISI GEOLOGICO-GEOTECNICA	30
4.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE	32
4.1.1	Sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo	32
4.1.2	Prove penetrometriche in foro	33
4.1.3	Indagini geofisiche m.a.s.w.....	34
4.2	RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA CON PARAMETRI GEOTECNICI	37
4.2.1	Modello geologico-geotecnico per la zona della CABINA CEB.....	37
4.2.2	Modello geologico-geotecnico per la zona della PENSILINE FOTVOLTAICHE	39
4.2.3	Modello geologico-geotecnico per la zona della RICOVERO CMS	41
4.3	VERIFICA A LIQUEFAZIONE.....	43
5	CONCLUSIONI	47

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 2 di 48</p>



1 PREMESSA

Nel presente documento sono descritti gli aspetti geologici, geotecnici, geomorfologici e sismici dell’areale interessato dal progetto esecutivo denominato “Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”.

Lo studio è stato condotto sulla base della consultazione delle principali fonti bibliografiche disponibili, oltre agli studi geologici pregressi eseguiti in prossimità e corrispondenza dell’area di intervento, nonché le vincolistiche idrogeologiche rese note dall’Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia. Tutti questi dati sono stati, inoltre, integrati dalle osservazioni eseguite durante gli appositi rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio oltre alla campagna di indagini geognostiche appositamente progettata e realizzata in aprile 2025 dalla società Eambiente s.r.l.



Figura 1.1 Planimetria di progetto.



	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 Pag. 3 di 48

Quadro normativo di riferimento:



- D.P.R. n. 380 del 6 giugno 2001 art. 89 “Testo unico per l’Edilizia”.
- O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- D.M. 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”. Supplemento Ordinario n°8 alla G.U. 20 febbraio 2018, n° 42.
- C.S.LL.PP. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018”. Supplemento Ordinario n. 5 alla Gazzetta Ufficiale 11 febbraio 2019 Serie generale n. 35.
- Delibera della Giunta Regionale della Sicilia n. 408 del 19.12.2003. - Individuazione, formazione ed aggiornamento dell’elenco delle zone sismiche ed adempimenti connessi al recepimento ed attuazione dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274.

Bibliografia e fonti:

- Cartografia di base IGM 1:100.000 Servizio WMS - http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/raster/IGM_100000.map
- Cartografia di base IGM 1:25.000 Servizio WMS - http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/raster/IGM_25000.map
- WebGIS dell’ISPRA relativo al database ITHACA - CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI
- WebGIS IdroGEO dell’ISPRA relativo al database della Pericolosità e rischio da frana e alluvioni.
- Ithaca – Italy Hazard from Capable Faults Inventario delle Faglie Capaci in Italia Guida alla Consultazione e all’utilizzo, 2022 Ispra - Servizio Geologico d’Italia Tavolo Tematico “Tettonica Attiva e Faglie Capaci” della Rete Italiana dei Servizi Geologici.
- Classificazione sismica al settembre 2024 – Dipartimento della Protezione Civile <https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/sismico/attivita/classificazione-sismica/>
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008). The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics; <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.04.014>;
- DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 4 di 48</p>

- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4>;
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>;
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>
- Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo ai sensi della Legge del 4 agosto 1984 n. 464. Sito ufficiale del Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia. <https://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/banche-dati-folder/suolo-e-territorio/dati-geognostici-e-geofisici>

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 5 di 48</p>

2 ANALISI GEOLOGICA

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per quanto concerne l'assetto geolitologico e stratigrafico del sito di interesse progettuale, è stata presa in considerazione la Carta Geologica - settore nord - (TAV2.a) del il “Piano comunale di PROTEZIONE CIVILE” del Comune di Siracusa

Considerando un intorno significativo, l'assetto stratigrafico è organizzato dal basso verso l'alto come segue:

Formazione dei Monti Climiti: Afferisce al Gruppo di Sortino e consiste in calcari teneri, calcari algali e biocalcareni oligo-mioceniche che costituiscono gran parte del mesa di Siracusa. Tali litologie presentano alterazione differenziale, porosità e permeabilità medio-alta, grado di fratturazione intermedio ed una resistenza meccanica estremamente variabile a seconda della litofacies predominante.

Formazione di Monte Carrubba: Costituisce gran parte della penisola di Ortigia ed è rappresentata da una successione carbonatico-terrigena datata Tortoniano superiore – Messiniano inferiore. Tale formazione è caratterizzata da diverse lito e biofacies tra cui; calcari a lumachella, calcareniti friabili bianco-giallastre a ostreidi o a pettinidi (*pecten vigolenensis*, *anadara turonica*) in strati da sottili a spessi fino a 2 metri, che passano verso l'alto a un'alternanza sottile di calcareniti e marne con resti di pettinidi, e a calcareniti friabili laminate con associazioni oligotipiche comprendenti *Euxinocardium* sp., *abra* sp., *Didacna* sp., *Ervilia* podolica, di habitat dulcicolo-salmastro. Le caratteristiche meccaniche e la permeabilità della Formazione di Monte Carrubba variano sensibilmente a seconda delle litofacies. Nel complesso presenta una permeabilità medio-alta e una buona resistenza all'erosione.



Calcareniti Plioceniche: Consistono in prevalenti calcareniti ed arenarie variamente cementate con inclusioni di litofacies marnose ed intercalazioni di vulcanoclastiti. Localmente le calcareniti passano a calcilutiti con una base di marne calcaree giallastre con resti di molluschi, briozoi e anellidi datate al Pliocene medio-superiore. Le calcareniti plioceniche hanno una permeabilità medio-alta ed una buona resistenza all'erosione.

Calcareniti del Pleistocene inferiore: Affiorano in maniera limitata lungo la fascia costiera e consistono prevalentemente in calcareniti e biocalcareni giallastre datate al Pleistocene inferiore. Queste appaiono frequentemente stratificate, talora massive, con una buona resistenza all'erosione, alto grado di cementazione ed alta permeabilità.

Complesso Argilloso – Sabbioso del Pleistocene inferiore: Poggiano in continuità sulle calcareniti del Pleistocene inferiore e consistono in argille azzurre a *Hyalinea baltica*. Mediamente le argille immergono debolmente verso il mare e vanno ad occupare il fondo del Golfo di Siracusa, proteggendo così il sistema idrogeologico dall'intrusione di acqua marina e provocando la fuoriuscita di acqua dolce in corrispondenza della ben nota Fonte Aretusa, ubicata sull'horst calcareo della penisola di Ortigia. Verso l'alto stratigrafico le argille azzurre passano gradualmente a banchi sabbiosi. Il complesso Argilloso – Sabbioso presenta una permeabilità variabile da molto bassa a medio-bassa, cementazione da molto debole a nulla e scarsa resistenza all'erosione

Calcareniti del Pleistocene medio: Sono trasgressive sulle sottostanti argille azzurre e formano un “lastrone calcarenitico” con fauna banale di ambiente temperato-caldo. Tali calcareniti di secondo ciclo presentano connotati analoghi alle calcareniti di primo ciclo del Pleistocene inferiore. Sono organizzate, con stratificazione variabile da piano parallela ad incrociata, a luoghi appaiono massive e non strutturate. Nel complesso la calcarenite del Pleistocene medio è caratterizzata da un alto grado di cementazione, una buona resistenza all'erosione ed una elevata permeabilità.

Alluvioni terrazzate: Consistono in depositi terrazzati poligenici ed eterometrici con basso grado di cementazione e minima organizzazione interna. Rappresentano terrazzi ibridi molto influenzati dalle dinamiche costiere. Presentano una bassa resistenza all'erosione e mostrano una elevata permeabilità

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 6 di 48</p>

Alluvioni recenti e attuali: Sono depositi da mobili a fissati, di colore bruno con intensa rubefazione superficiale. Consistono in conglomerati e sabbie con matrice mista. Mostrano una costituzione molto disomogenea data da elementi clastici poligenici ed eterometrici variamente arrotondati in matrice una matrice sabbioso – limoso - argillosa. A luoghi mostrano organizzazione interna data da pacchi con gradazione diretta. Tali depositi non sono cementati, mostrano una scarsa resistenza all'erosione ed elevata permeabilità.

Spiagge attuali e saline costiere: Consistono in depositi sciolti e mobili di spiaggia costituiti da sabbie da grossolane a fini con presenza di ghiaie e silt. All'interno dell'assetto stratigrafico sopra schematizzato, il sito di stretto interesse progettuale si imposta su una coltre di spessore variabile di alluvioni recenti / attuali che poggiano direttamente, tramite superfici erosive, sulle calcareniti giallastre del Pleistocene inferiore.

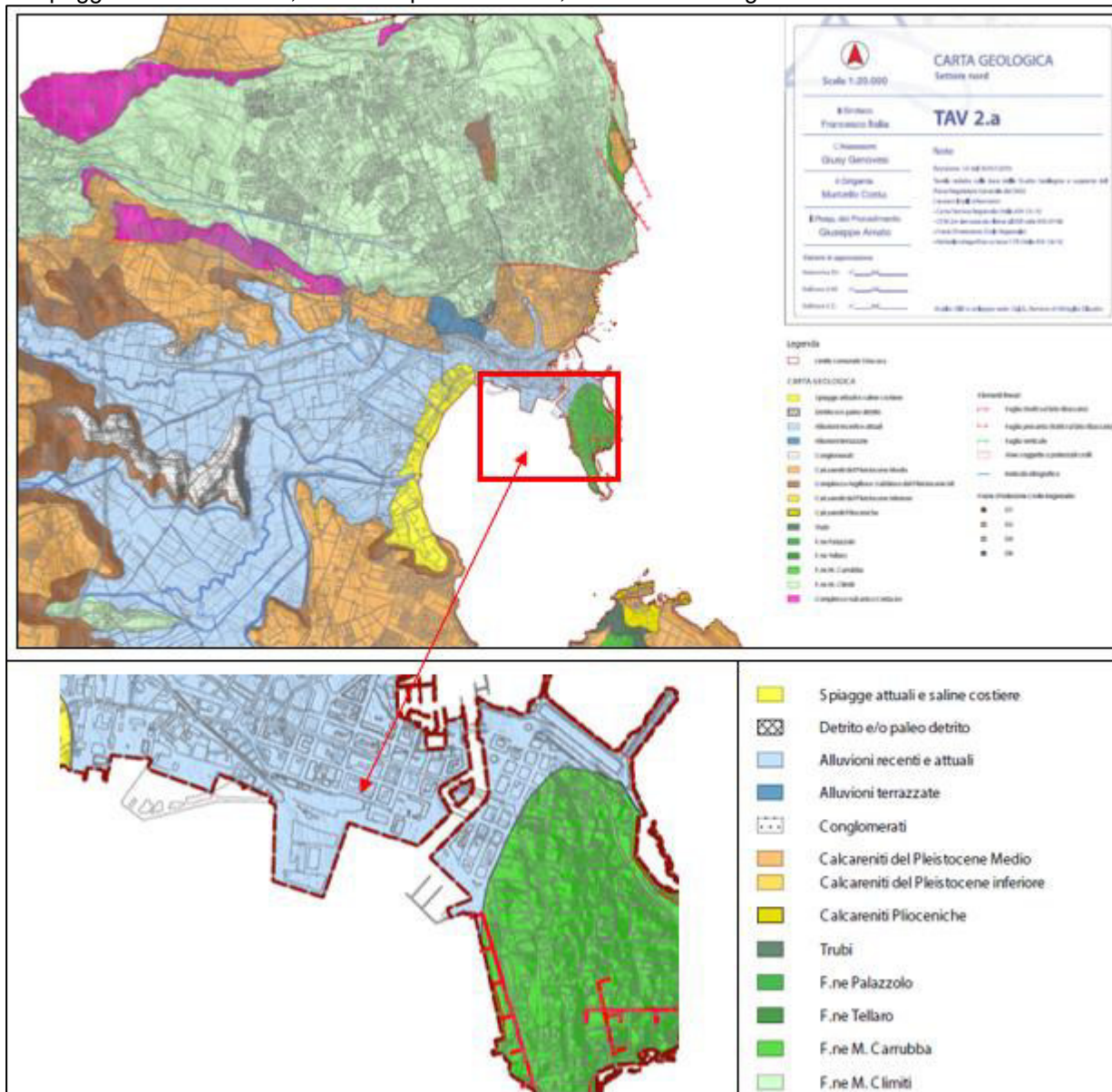




Figura 2.1: Carta Geologica settore nord (TAV2.a) del “Piano comunale di PROTEZIONE CIVILE” del Comune di Siracusa scala 1:20.000. (modificata).

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 7 di 48</div>



Dal punto di vista strutturale fragile, di seguito si propone uno schema sintetico relativo all'attività tettonica. Nella carta geologica di riferimento (in accordo con gli schemi strutturali a scala regionale), si riscontra la presenza di due sistemi di faglie normali ad alto angolo che strutturano il territorio di Siracusa. Nella fattispecie si imposta un primo sistema di faglie normali con strike circa E-O il quale determina la formazione di alti e bassi strutturali tipo “horst and graben”. Tale sistema estensionale, difatti, determina il sollevamento tettonico dell'altopiano di Siracusa, che rappresenta un horst orientato E-O, e delimita il graben del Golfo di Siracusa. Il secondo sistema è dato da faglie normali con strike circa NNO-SSE che interferisce con il primo sistema e determina la formazione di alti strutturali minori orientati circa N-S come l'horst di Ortigia. La sovrapposizione con la mappa - catalogo delle faglie capaci ITHACA – ISPRA, conferma l'esistenza del duplice sistema di faglie sopra esposto (figura seguente). La costa occidentale della penisola di Ortigia è bordata dalla Faglia di Siracusa. Questa consiste in una struttura a cinematica estensionale con piano immergente verso ovest che si sviluppa per circa 1.6 Km in direzione N 150° con il pinching point settentrionale all'incirca corrispondente al sito di interesse. A circa 600 metri a nord rispetto al sito di interesse si sviluppa il sistema di faglie estensionale dell'Horst di Santa Panagia che consiste in più segmenti sintetici con estensione superficiale media di circa 2.5 Km. I piani del sistema Horst di Santa Panagia immergono verso SSO e si con direzione media circa N 110°.



Figura 2.2: Stralcio della mappa inventario faglie capaci ITHACA con indicazione approssimativa della zona in cui si colloca il sito di interesse (cerchio in blu).

2.2 IDROGEOLOGIA

Dal punto di vista morfologico-topografico il territorio comunale di Siracusa è piuttosto articolato e diversificato (figura seguente). Il paesaggio è dominato dalla morfostruttura, degradante verso est, di forma sub-triangolare, tipo mesa, che identifica l'altopiano carbonatico di Siracusa. Tale morfostruttura è delimitata a nord e a sud da versanti acclivi e rocciosi controllati dalla tettonica pleistocenica. Verso sud si apre la piana alluvionale del Fiume Anapo che sfocia nel Golfo di Siracusa. Quest'ultimo rappresenta una morfostruttura negativa, che si contrappone all'alto morfostrutturale rappresentato dall'altopiano

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 8 di 48</p>

siracusano. Con orientazione quasi-ortogonale si sviluppa un altro sistema di alti morfostutturali rappresentati dalla penisola di Ortigia e dalla penisola della Maddalena. Il fiume Anapo è caratterizzato da un *pattern* idrografico sub-rettangolare mediamente gerarchizzato con tributari sia in destra che in sinistra idrografica. Nel settore della bassa valle alluvionale, il Fiume Anapo ha una *channel pattern* sinuoso, a tratti meandriforme a canale singolo, mentre nella parte terminale, risulta profondamente modellato dall'attività antropica. La linea di costa, molto articolata e frastagliata, è caratterizzata da alte falesie carbonatiche e calcarenitiche, che vanno abbassandosi verso la parte interna del Golfo di Siracusa dove, a causa del significativo contributo alluvionale, la costa diventa bassa, sabbiosa e regolare. Per quanto riguarda il sito di stretto interesse, quest'ultimo si imposta lungo il margine costiero settentrionale interno al Golfo di Siracusa nel settore di raccordo con la piana alluvionale del Fiume Anapo. Tale settore è caratterizzato da una topografia pianeggiante e leggermente sopraelevata rispetto al depocentro dell'asse della piana alluvionale.

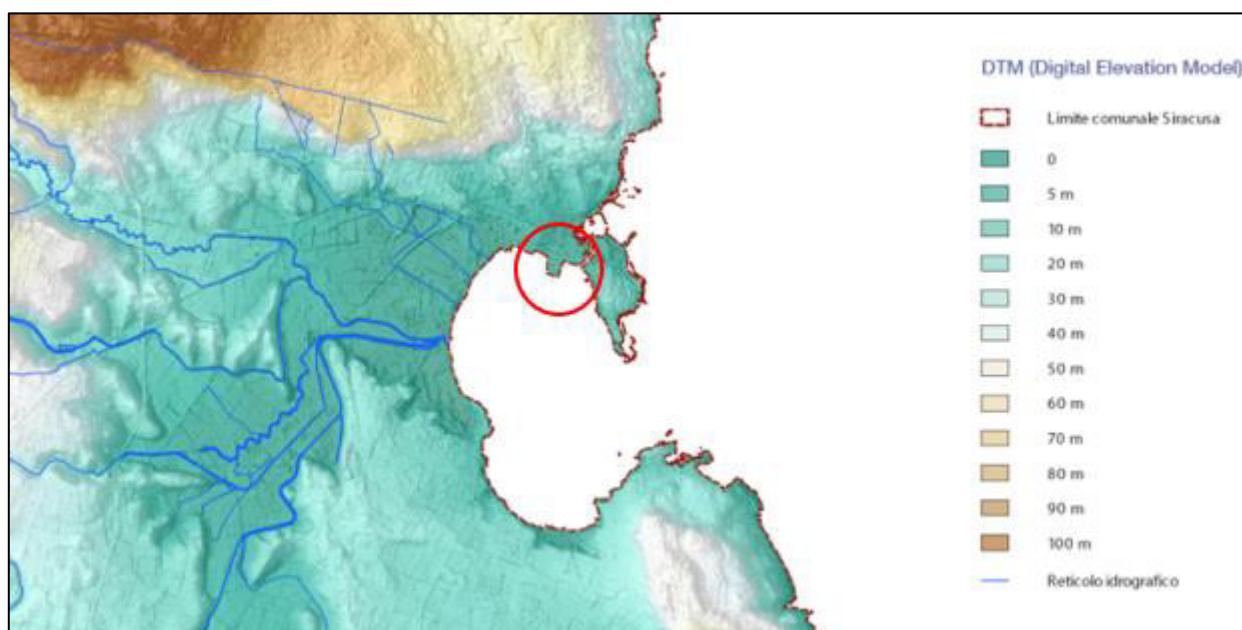



Figura 2.3 Carta del Modello Digitale del Terreno del Piano Comunale di Protezione Civile del Comune di Siracusa. (il cerchio in rosso indica orientativamente il sito di interesse).

Considerando l'assetto stratigrafico e le caratteristiche in termini di permeabilità delle litologie presenti, si distinguono cinque complessi idrogeologici. **1) complesso idrogeologico carbonatico**, rappresenta il sistema di falda più profondo e comprende la Formazione dei Monti Climiti e la Formazione di Monte Carrubba. Pur considerando le variazioni di *litofacies* presenti, le suddette formazioni presentano le caratteristiche idrogeologiche tipiche di un acquifero carbonatico. Infatti, la permeabilità per porosità e per fratturazione favorisce l'infiltrazione di significativi volumi di acqua gravifica utile alla ricarica del sistema falda. **2) complesso idrogeologico calcarenitico inferiore**, comprende le calcareniti plioceniche e le calcareniti (di primo ciclo) del Pleistocene inferiore. Tale complesso è caratterizzato da una permeabilità medio-alta per porosità e fratturazione e rappresenta un acquifero pro parte comunicante e contiguo con quello del complesso idrogeologico carbonatico. **3) Complesso idrogeologico argilloso**, comprende le argille azzurre con *top* sabbioso del Pleistocene inferiore. La permeabilità è molto bassa o prossima a zero. Rappresenta in buona parte un acquicludo che limita superiormente il complesso calcarenitico di inferiore. La presenza del complesso idrogeologico argilloso, che si approfondisce verso il Golfo di Siracusa,

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p>
	<p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p>
	<p>32016019PE0GENREL04R1</p>
	<p>Pag. 9 di 48</p>

ostacola l'infiltrazione del cuneo salino verso le falde dolci dell'entroterra e allo stesso tempo rappresenta un limite di permeabilità superiore per le falde che stazionano nel complesso idrogeologico calcarenitico superiore. **4) complesso idrogeologico calcarenitico superiore**, corrispondente alle calcareniti del Pleistocene medio di secondo ciclo. L'elevata permeabilità e le caratteristiche intrinseche dei litotipi che costituiscono tale complesso lo rendono un ottimo acquifero. A luoghi il complesso idrogeologico calcarenitico superiore e quello inferiore vanno in coalescenza a causa della discontinuità, verso ovest, dell'acquicludo rappresentato dal complesso idrogeologico argilloso. Difatti, nel settore occidentale i due complessi calcarenitici costituiscono un unico complesso idrogeologico. **5) complesso idrogeologico conglomeratico-sabbioso**, comprensivo dei depositi alluvionali terrazzati e recenti / attuali. Quest'ultimo complesso è caratterizzato da elevata permeabilità e rappresenta un acquifero con significative variazioni stagionali della superficie piezometrica. Generalmente ospita falda poco profonda che durante le siccità può ridursi in maniera drastica preservandosi in sistemi isolati.

2.2.1 Pericolosità idrogeologiche

Al fine di individuare eventuali problematiche idrogeologiche, oltre ai rilievi di sito, sono state prese in considerazione le informazioni e i dati resi noti dall' dell'Autorità di bacino del Distretto Idrografico della Sicilia e le informazioni contenuto nell'Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia realizzato e pubblicato da ISPRA.



All'art.2.2. della Relazione Generale Capitolo 11 - Norme di attuazione del P.A.I. dell'Autorità di bacino del Distretto Idrografico della Sicilia, costituisce lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo sulla base del quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico, per prevenire fenomeni di dissesto geomorfologico, di alluvione, di erosione costiera e di inondazione marina e definire gli scenari di riferimento per le successive attività di prevenzione e tutela nella gestione del rischio da parte delle Amministrazioni competenti.

Con le parole "dissesto idrogeologico", "pericolosità idrogeologica", "rischio idrogeologico" ecc. si intendono dissesto, pericolosità o rischio di tipo idraulico, geomorfologico o da inondazione ed erosione costiera;

Il Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome, fornisce un quadro dettagliato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio italiano. L'Inventario rappresenta uno strumento conoscitivo di base per la valutazione della pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), per la programmazione e progettazione preliminare degli interventi di difesa del suolo e delle reti infrastrutturali ed infine per la redazione dei Piani di Emergenza di Protezione Civile.

Dalle analisi effettuate sulle succitate cartografie emerge che l'area di interesse non è affetta da problematiche idrogeologiche.

In particolare, sono state consultate le seguenti cartografie:



	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 10 di 48</p>

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICHE

In merito alla pericolosità geomorfologica dell'area di interesse è stata consultata la cartografia del PAI. Di seguito si propone lo stralcio della carta di pericolosità geomorfologica.



Figura 2.4: Stralcio di carta pericolosità geomorfologica del PAI.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 11 di 48</p>

PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI

In merito alla pericolosità idraulica dell'area di interesse è stata consultata la cartografia del PAI e del PGRA. Di seguito si propone lo stralcio della carta di pericolosità idraulica.

Nella cartografia del PGRA sono riportati in leggenda i gradi di pericolosità, così come descritto di seguito:

HPH = scenario a pericolosità elevata con tempi di ritorno T_r di 50 anni;

MPH= scenario a pericolosità media con tempi di ritorno T_r di 100 anni;

LPH= scenario a pericolosità bassa con tempi di ritorno T_r di 500 anni;.

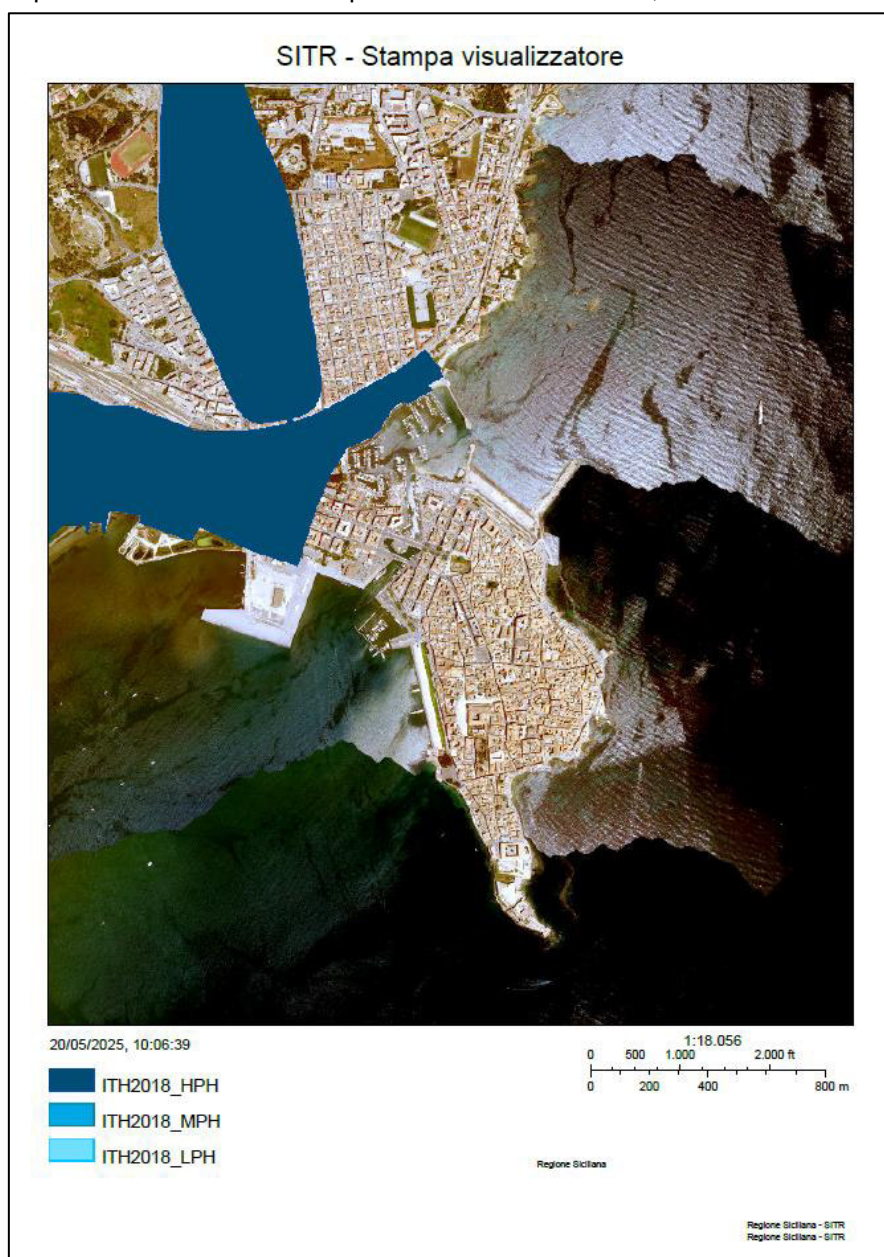




Figura 2.5: Stralcio di carta relativa al PGRA

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 12 di 48</p>

PERICOLOSITA' DA EROSIONE COSTIERA

In merito alla pericolosità da erosione costiera dell'area di interesse è stata consultata la cartografia del PAI. Di seguito si propone lo stralcio della carta di pericolosità da erosione.

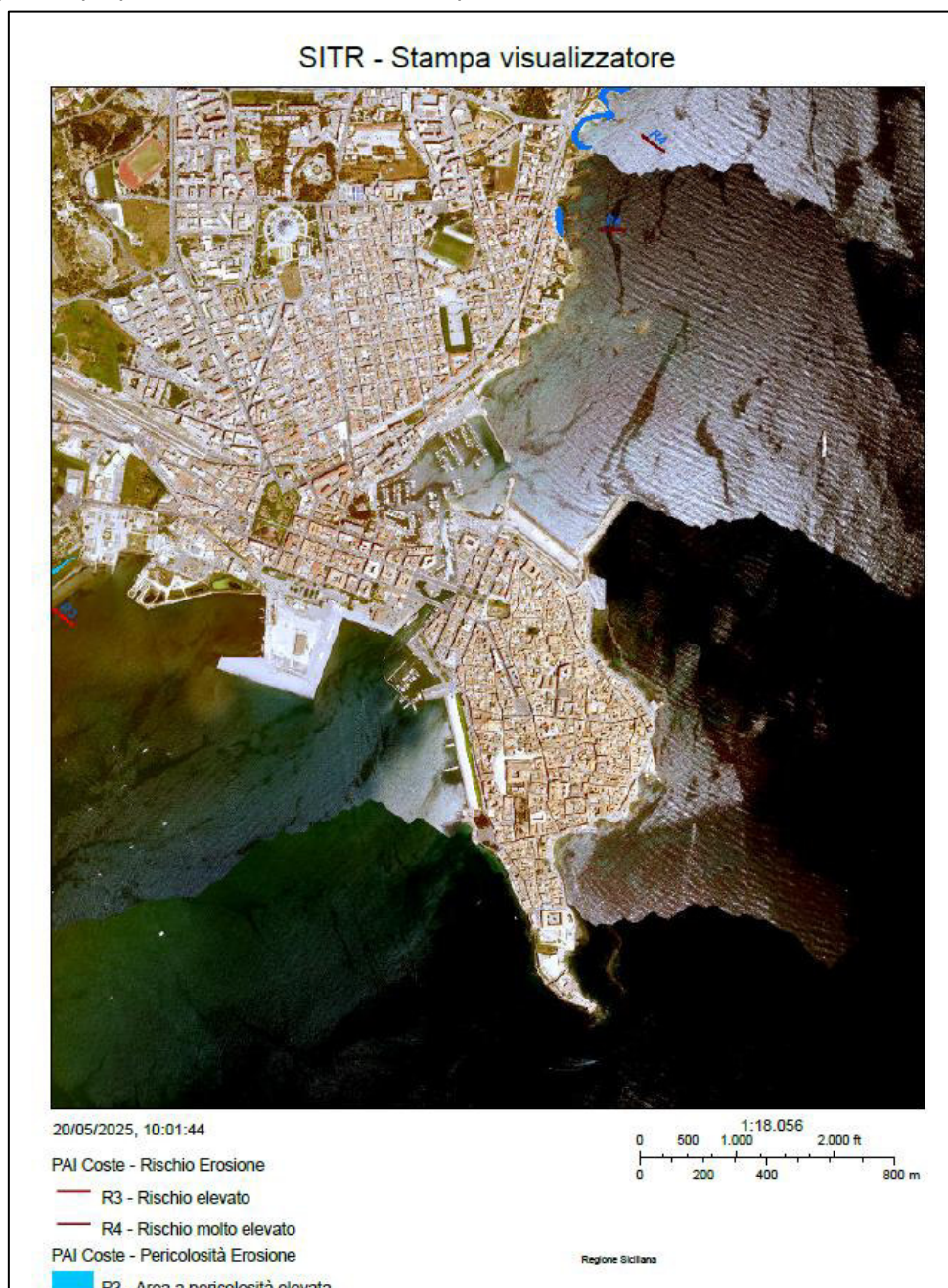






Figura 2.6: Stralcio carta di Pericolosità erosione costiera.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 13 di 48</p>

Di seguito la cartografia dell'IFFI.



Figura 2.7 Stralcio di carta delle frane dell'IFFI.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 14 di 48</p>

3 ANALISI SISMICA

3.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA

3.1.1 Assetto sismotettonico



La sismicità dell'area in esame, relativamente al contesto nazionale, risulta assimilabile a una zona con frequenza di eventi a magnitudo alta. Dal punto di vista sismotettonico, a valle di una ricerca nel Database of Italian Seismogenetic Sources (DISS) e consultando la carta di zonazione sismogenetica italiana ZS9, è emerso che il territorio di Siracusa si colloca sul margine occidentale della zona sismica 935 ed è esterno alle zone sismogenetiche del DISS e si localizza a circa 16 km verso sud-est dalla zona sismogenetica DISS “Monte Lauro”.

Nell'App.2a) Rapporto conclusivo Zonazione sismogenetica ZS9 C. Meletti e G. Valensise, 2004, la zona sismogenetica 935 viene definita come di seguito:

*“La zona **935**, all'interno della quale ricadono eventi di elevata magnitudo, deriva dall'unione delle precedenti zone 78 e 79 di ZS4. Il limite occidentale della zona 78 corrispondeva al fronte dell'avanfossa Ibleo sulla avanfossa; la seconda aveva come limite orientale la cosiddetta Scarpata Ibleo-Maltese. Il terremoto del 1693, l'evento con la magnitudo più alta riportata da tutti i cataloghi nazionali e in particolare da CPTI2, veniva assegnato alla zona 79. L'ipotesi esplicita di attribuzione del terremoto del 1693 alla Scarpata Ibleo-Maltese veniva adottata in lavori più recenti (Hirn et al., 1997; Zollo et al., 1999; Azzaro e Barbano, 2000). Alla zona 79 venivano anche assegnati gli eventi del 1169 e del 1542, sulla base delle indicazioni del catalogo storico NT4.1 utilizzato all'epoca (Camassi e Stucchi, 1996). Il catalogo CPTI (Gruppo di Lavoro CPTI, 1999) e il suo aggiornamento CPTI2 (compiuto per questo studio) hanno in parte modificato le informazioni di base e successivamente spostato gli epicentri sulla terraferma come effetto dell'applicazione di un algoritmo automatico di calcolo dell'epicentro. La distribuzione del danno legato all'evento del 1693 mostra in effetti distruzione totale anche nell'entroterra ibleo, a molta distanza dalla costa orientale della Sicilia. Il database DISS (Valensise e Pantosti, 2001) suggerisce sorgenti sismogenetiche con un andamento differente da quello della Scarpata Ibleo-Maltese, e segnatamente una possibile origine del terremoto del 1693 sulla faglia nota come Scicli-Ragusa, una ipotesi supportata anche da Sirovich e Pettenati (1999). Questi elementi hanno messo in dubbio, pur senza suggerire un'alternativa certa, l'attribuzione del terremoto del 1693 alla Scarpata Ibleo-Maltese. Si è ritenuto opportuno, pertanto, proporre una soluzione meno dipendente da forti ipotesi interpretative, come quelle implicite in ZS4, rinviando al futuro l'acquisizione di nuovi dati che consentano di trarre il problema con maggiore cognizione di causa. La figura 10 presenta la soluzione adottata, nella quale vengono unite come zona **935** le vecchie zone di ZS4 avendone limitato le dimensioni alle sole aree con sismicità.”*

Dalla tabella dei principali risultati dell'analisi dei dati sismici caratteristici emerge che:

Magnitudo massima =3.7; Classe di profondità= 12-20 km; e Profondità efficace 13 km.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 15 di 48</p>

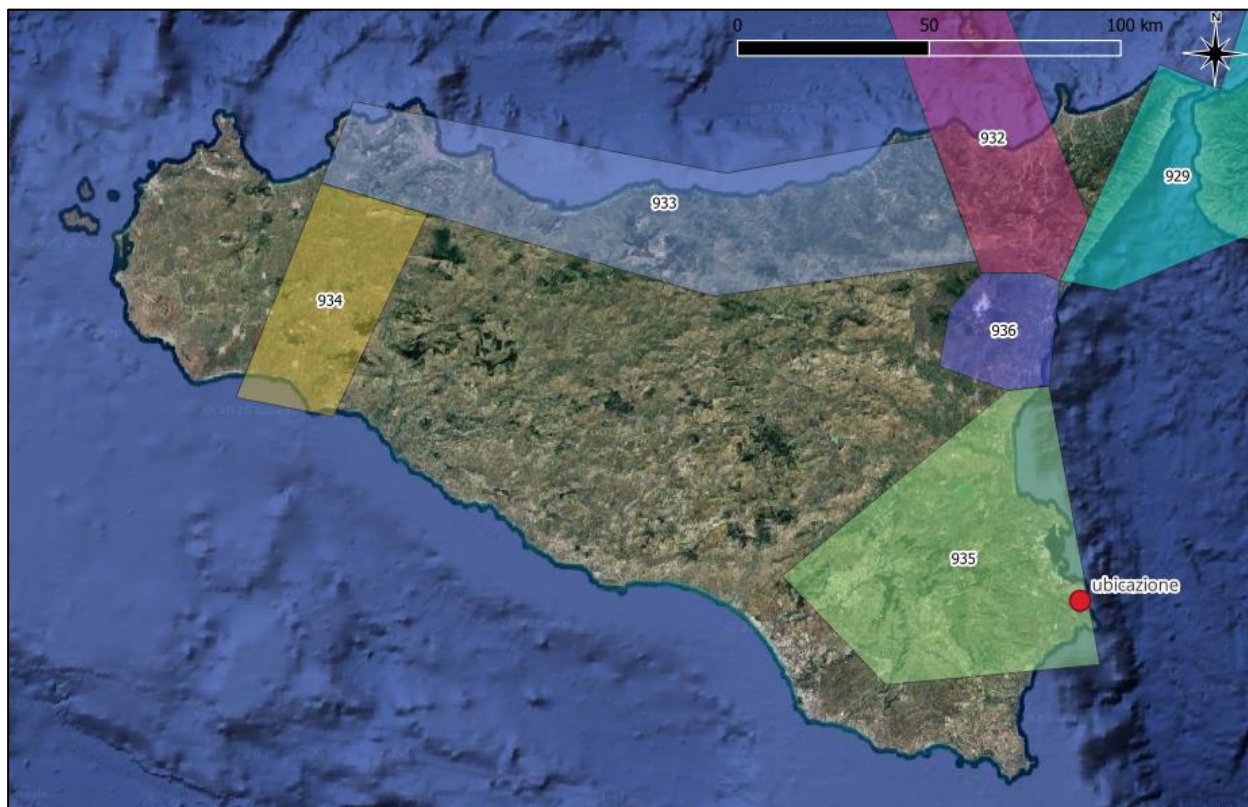


Figura 3.1 Stralcio di carta di zonazione sismogenetica italiana ZS9 con indicazione dell'area di interesse

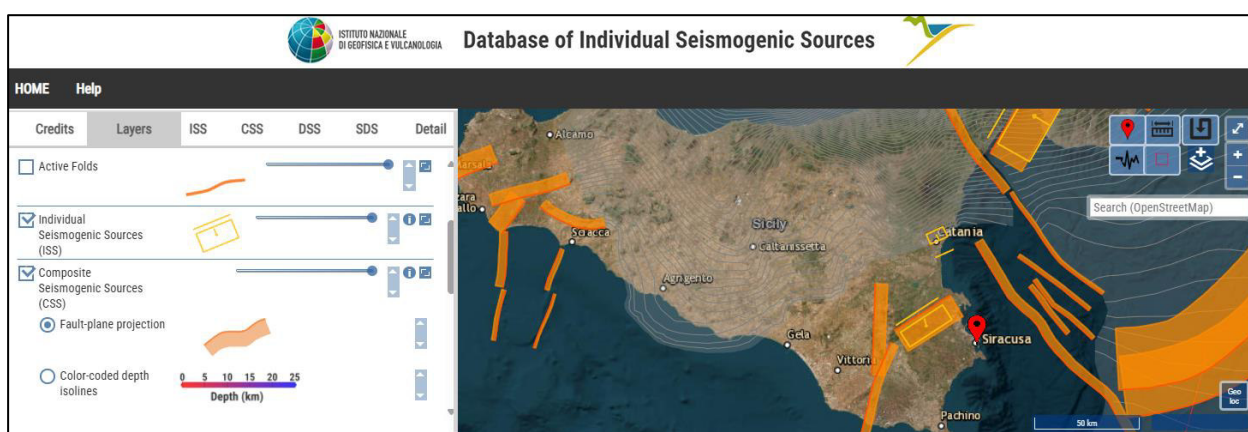




Figura 3.2 Visualizzatore relativo al Database of Italian Seismogenic Sources (DISS), con contestualizzazione dell'area di interesse, marker rosso.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 16 di 48</p>

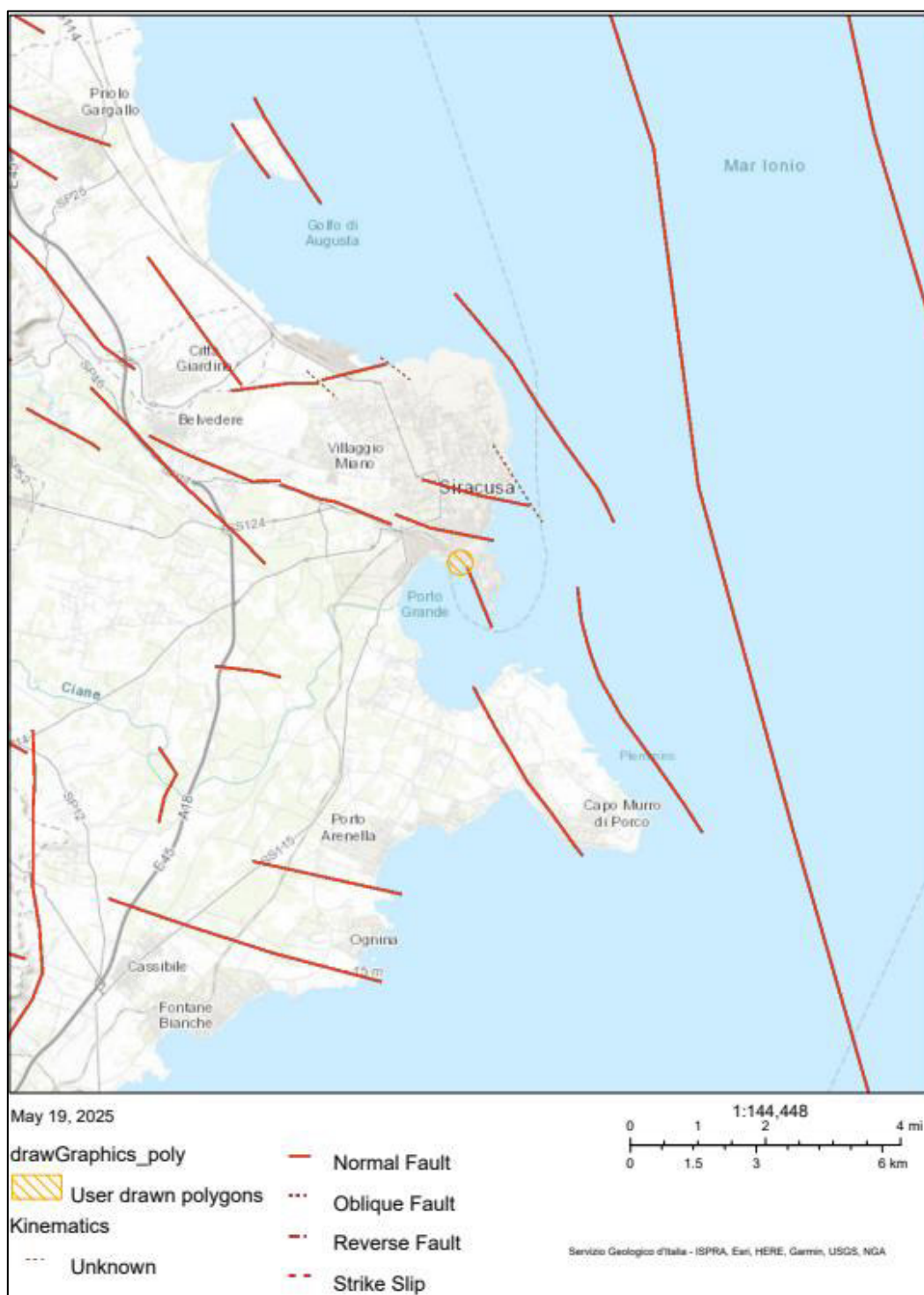




Figura 3.3 Stralcio della carta delle faglie attive e capaci ITACHA. In arancio l'area di interesse



	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 17 di 48</div>

3.1.2 Sismicità storica

Dopo aver valutato la presenza di strutture sismogenetiche, si è passati all'analisi della sismicità storica dell'area, più precisamente è stato consultato il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, dal quale emerge che entro un raggio di 100 km dall'area di interesse e per magnitudo maggiori a 5.5 i terremoti più significativi sono quelli della Sicilia sud-orientale del 1693, e quello della Sicilia sud-orientale del 1542. Con magnitudo rispettivamente di 7.32 E di 6.68.



Per concludere è stato consultato il database macrosismico italiano di cui si riportano gli eventi con intensità di sito superiore a 2, nella tabella successiva.

Anno	mm	gg	Area epicentrale	Intensità epicentrale	Magnitudo momento
1125	6	7	Siracusa	8-9	5,8
1169	2	4	Sicilia sud-orientale	9	6,5
1542	12	10	Sicilia sud-orientale	8	6,68
1693	1	9	Sicilia sud-orientale	7	6,07
1693	1	11	Sicilia sud-orientale	4	
1693	1	11	Sicilia sud-orientale	9	7,32
1693	4	1	Ionio meridionale	6	4,63
1693	7	8	Sicilia sud-orientale	5	4,93
1694	5	16	Sicilia orientale	4-5	4,4
1696	4	20	Sicilia sud-orientale	5	4,4
1717	6	15	Ionio meridionale	5-6	
1727	1	7	Val di Noto	3-4	4,64
1737	11	11	Siracusa	5-6	4,4
1757	8	6	Siracusa	5	4,16
1777	6	6	Tirreno meridionale	3-4	
1780	3	28	Sicilia nord-orientale	5	5,52
1783	2	5	Calabria meridionale	4-5	7,1
1818	2	20	Catanese	5	6,28
1823	3	5	Sicilia settentrionale	3	5,81
1846	4	22	Piana di Catania	4	4,94
1848	1	11	Golfo di Catania	7	5,51
1892	1	22	Monti Iblei	3	4,41
1894	11	16	Calabria meridionale	4	6,12
1895	4	13	Monti Iblei ?	3	4,82
1897	2	11	Ionio meridionale	5	5,03
1903	2	10	Sicilia sud-orientale	3-4	4,32
1905	9	8	Calabria centrale	4	6,95

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 18 di 48</div>

1908	12	28	Stretto di Messina	6	7,1
1912	12	22	Stretto di Messina	3	4,68
1924	8	17	Monti Iblei	4	4,74
1928	3	7	Calabria centro-meridionale	3	5,87
1932	5	22	Sicilia nord-orientale	3	4,99
1934	9	11	Sicilia centro-settentrionale	5	4,84
1937	3	6	Monti Iblei	5	4,49
1959	12	23	Piana di Catania	4	5,11
1980	1	23	Monti Iblei	3-4	4,39
1980	5	28	Tirreno meridionale	3	5,66
1987	2	2	Sicilia centro-orientale	3-4	4,44
1990	12	13	Sicilia sud-orientale	6-7	5,61
1990	12	16	Ionio meridionale	4	4,38
1997	3	25	Ionio meridionale	4	4,49
1997	12	3	Etna - Versante sud-occidentale	3	3,38
1997	12	24	Etna - Versante meridionale	3	4,08
1999	2	14	Golfo di Patti	3	4,66
2000	11	5	Etna - Versante meridionale	3-4	3,85
2001	5	26	Ionio meridionale	3-4	4,46
2002	9	6	Tirreno meridionale	3-4	5,92
2004	12	30	Monti Iblei	3	3,82
2005	11	21	Sicilia centrale	3	4,56
2006	4	23	Siracusano	4	4,05
2008	12	16	Etna - Versante sud-occidentale	3-4	4
2009	12	19	Etna - Maletto	3	4,39
2011	10	9	Monti Iblei	3	3,47
2016	2	8	Monti Iblei	4	4,44
2018	10	6	Etna - Versante sud-occidentale	3-4	4,72
2020	12	22	Ragusano	3	4,52

Tabella 1 Database macrosismico italiano relativo al Comune di Siracusa.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 19 di 48</p>

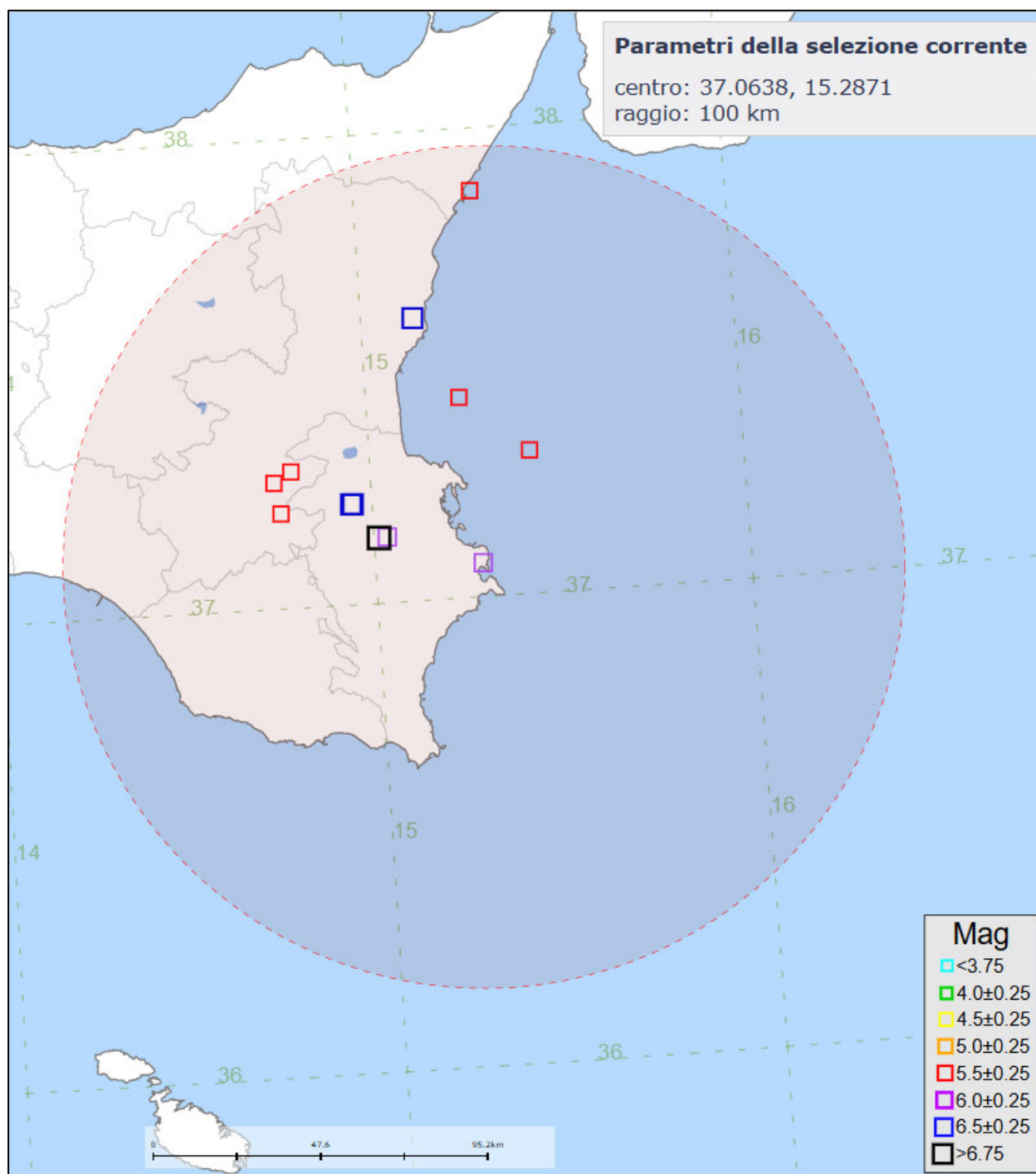






Figura 3.4 Distribuzione degli eventi sismici con epicentro entro 100 km dall'area di studio e con magnitudo ≥ 5.5 . Immagine estratta dal visualizzatore del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15 v4.0).

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 20 di 48</div>

Anno	Mese	Giorno	Area epicentrale	Lat	Lon	Io	I _{max}	M _w
1125	6	7	Siracusa	37,073	15,286	8-9	8-9	5,8
1169	2	4	Sicilia sud-orientale	37,215	14,949	10	10	6,5
1542	12	10	Sicilia sud-orientale	37,215	14,944	10	10	6,68
1624	10	3	Monti Iblei settentrionali	37,27	14,742	8	9	5,56
1693	1	9	Sicilia sud-orientale	37,141	15,035	8-9	8-9	6,07
1693	1	11	Sicilia sud-orientale	37,14	15,013	11	11	7,32
1698	1	1	Monti Iblei settentrionali	37,292	14,789	7-8	7-8	5,66
1780	3	28	Sicilia nord-orientale	37,866	15,316	7-8	7-8	5,52
1818	2	20	Catanese	37,603	15,14	9-10	9-10	6,28
1818	3	1	Monti Iblei	37,204	14,756	7-8	7-8	5,57
1848	1	11	Golfo di Catania	37,428	15,25	7-8	8-9	5,51
1990	12	13	Sicilia sud-orientale	37,306	15,429	7-8	7-8	5,61

Tabella 2 Catalogo dei terremoti con epicentro entro 100 km dall’area di studio e magnitudo ≥ 5.0 . I dati sono stati estratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15 V3.0). M_w= magnitudo momento; I_o= intensità epicentrale; I_{max}= intensità massima.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1

Pag. 21 di 48

3.1.3 Pericolosità sismica



Sulla base delle indicazioni contenute nell' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Sicilia n. 408 del 19.12.2003, secondo l'aggiornamento a settembre 2024 del Dipartimento di Protezione Civile, il territorio di Siracusa è classificato come zona **sismica 1**, definita come zona maggiormente pericolosa, in cui la possibilità che capiti un terremoto forte è alta.

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico	Descrizione
1	$0,25 < a_g \leq 0,35g$	0,35g	E' la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta
2	$0,15 < a_g \leq 0,25g$	0,25g	In questa zona forti terremoti sono possibili
3	$0,05 < a_g \leq 0,15g$	0,15g	In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2
4	$\leq 0,05g$	0,05g	E' la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa

Tabella 3 Descrizione delle zone sismiche italiane (dal sito ufficiale del Dipartimento di Protezione Civile), con evidenziata in rosa la zona sismica 1.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono, per la valutazione delle azioni sismiche, di fare riferimento alla zonazione di dettaglio del territorio nazionale redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Secondo tale modello, su tutto il territorio nazionale si è disposta una maglia di punti, per ognuno dei quali è assegnato un valore di accelerazione massima su substrato rigido a_g , un fattore di amplificazione spettrale F_0 ed un periodo caratteristico T_c^* relativi all'evento sismico atteso in un dato tempo di ritorno, quest'ultimo essendo funzione della vita attesa all'opera e della classe di utilizzo.

Il sistema MPS04-S1 consente di visualizzare la pericolosità sismica espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05° . Le mappe riportano due parametri dello scuotimento: $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1
 REGIONE SICILIANA	Pag. 22 di 48

quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e Se(T) (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T, in accelerazione); l'unità di misura è g, vale a dire l'accelerazione di gravità, corrispondente a 9,8m/sec². Per il settore di interesse progettuale il valore medio dell'accelerazione massima al suolo in condizione di sito roccioso pianeggiante, stimato per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente ad un periodo di ritorno TR=475 anni), risulta compreso tra 0.200 e 0.225 g e la magnitudo massima più probabile attesa al sito, secondo il medesimo modello è pari a 5.95 con distanza pari a 11 km.

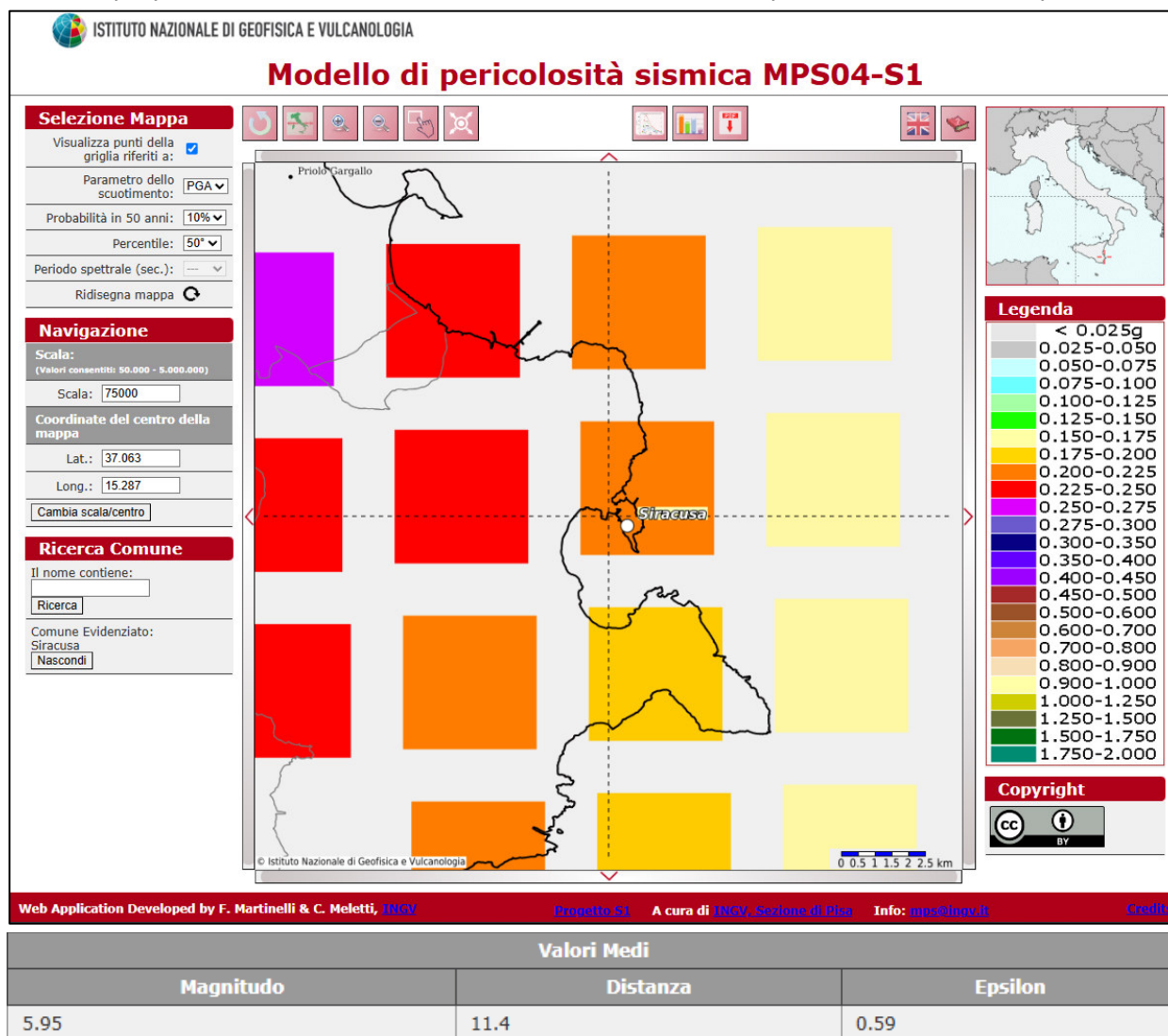




Tabella 4 Mappa ufficiale di pericolosità sismica MPS04-S1 centrata sul sito di intervento

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 23 di 48</div>

3.1.4 Eventi sismici di riferimento

Per la determinazione dei parametri iniziali di accelerazione su suolo libero, si è fatto ricorso al software Spettri di risposta Ver. 1.0.3. relativo alle NTC-2018 che consente di ricavare gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti delle azioni sismiche di progetto, per il generico sito del territorio nazionale, tramite l'individuazione della relativa pericolosità sismica a partire dalle coordinate geografiche. Le coordinate Geografiche utili per tale individuazione, sono le ED-50, indicate di seguito:

Long.: 15.28628- Lat.: 37.06421

Sulla base di queste coordinate si determinano i parametri che definiscono l'azione sismica di base in funzione del periodo di riferimento relativamente ad un substrato rigido di categoria “A” su aree pianeggianti

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
30	0.036	2.532	0.243
50	0.052	2.506	0.265
72	0.064	2.521	0.283
101	0.079	2.476	0.298
140	0.100	2.358	0.325
201	0.128	2.326	0.338
475	0.208	2.270	0.419
975	0.297	2.368	0.460
2475	0.475	2.344	0.534

Tabella 5 :Valori di a_g , F_0 , T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R . a_g =accelerazione massima orizzontale del terreno; F_0 =valore massimo di amplificazione dello spettro di risposta elastico; T_c^* =periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico.

3.1.5 Vita nominale=100 anni - classe d'uso e periodo di riferimento



Per le opera in progetto, attribuendo una vita nominale $V_N = 100$ anni e una **classe d'uso IV**, a cui corrisponde il coefficiente d'uso $C_U = 2,0$ come indicato nelle tabelle 2.4.I e 2.4.II delle vigenti NTC-2018.

Le azioni sismiche di progetto possono pertanto essere calcolate in relazione ad un periodo di riferimento V_R , secondo la relazione 2.4.1 delle NTC-2018:

$$V_R = V_N * C_U = 200 \text{ anni}$$

Per i differenti stati limite (di cui al punto 3.2.1 delle NTC-2018) e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

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

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 24 di 48</p>

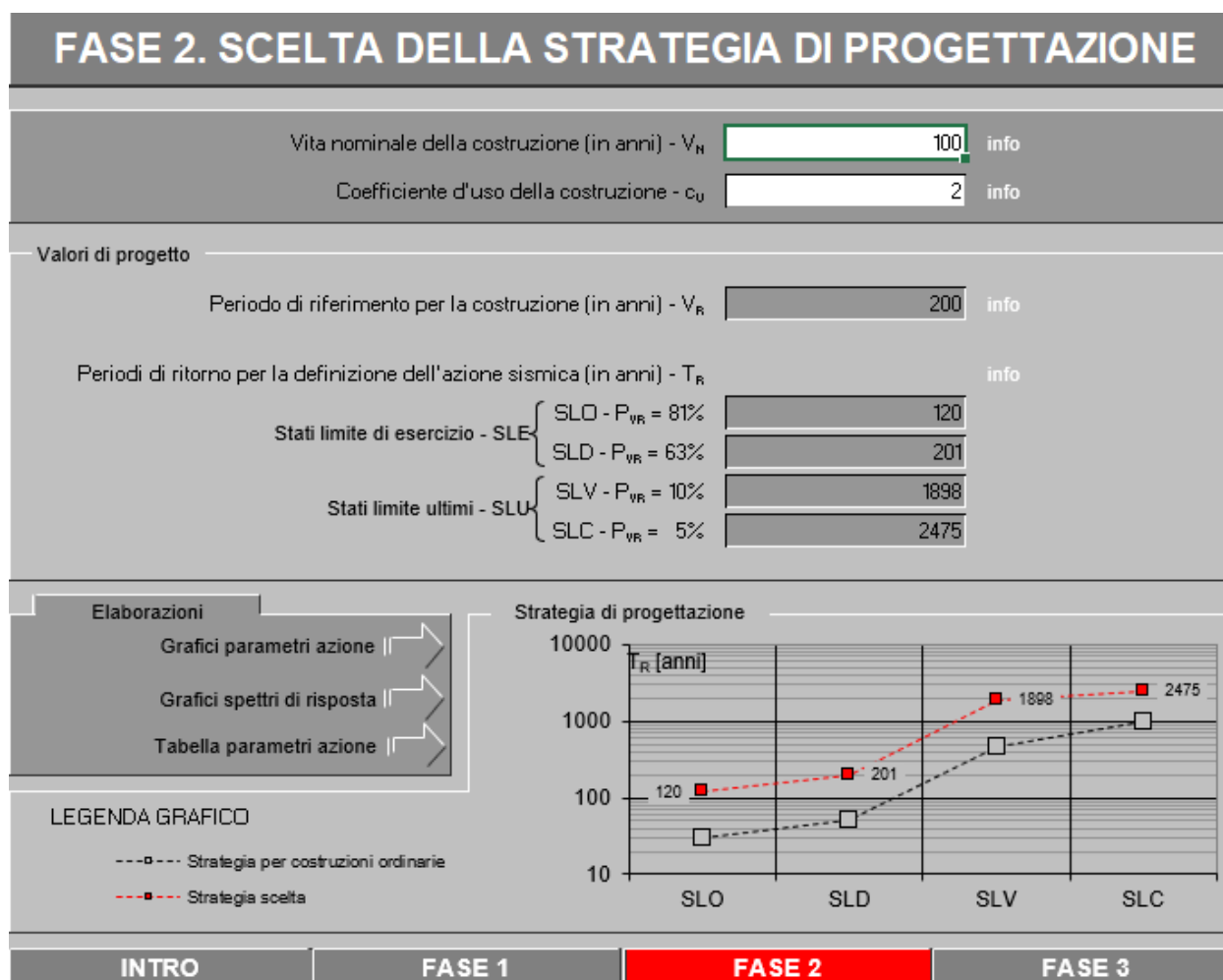




Figura 3.5 Valori dei tempi di ritorno per i differenti stati limite.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	120	0.090	2.412	0.312
SLD	201	0.128	2.326	0.338
SLV	1898	0.415	2.351	0.512
SLC	2475	0.475	2.344	0.534

Tabella 6: Parametri a_g , F_o e T_c^* per i periodi di ritorno associati a ciascuno SL

3.1.6 Vita nominale=50 anni - classe d'uso e periodo di riferimento

Per le opera in progetto, attribuendo una vita nominale $V_N = 50$ anni e una **classe d'uso II**, a cui corrisponde il coefficiente d'uso $C_U = 1,0$ come indicato nelle tabelle 2.4.I e 2.4.II delle vigenti NTC-2018.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 25 di 48</div>

Le azioni sismiche di progetto possono pertanto essere calcolate in relazione ad un periodo di riferimento V_R , secondo la relazione 2.4.1 delle NTC-2018:

$$V_R = V_N * C_U = \mathbf{50 \text{ anni}}$$

Per i differenti stati limite (di cui al punto 3.2.1 delle NTC-2018) e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

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

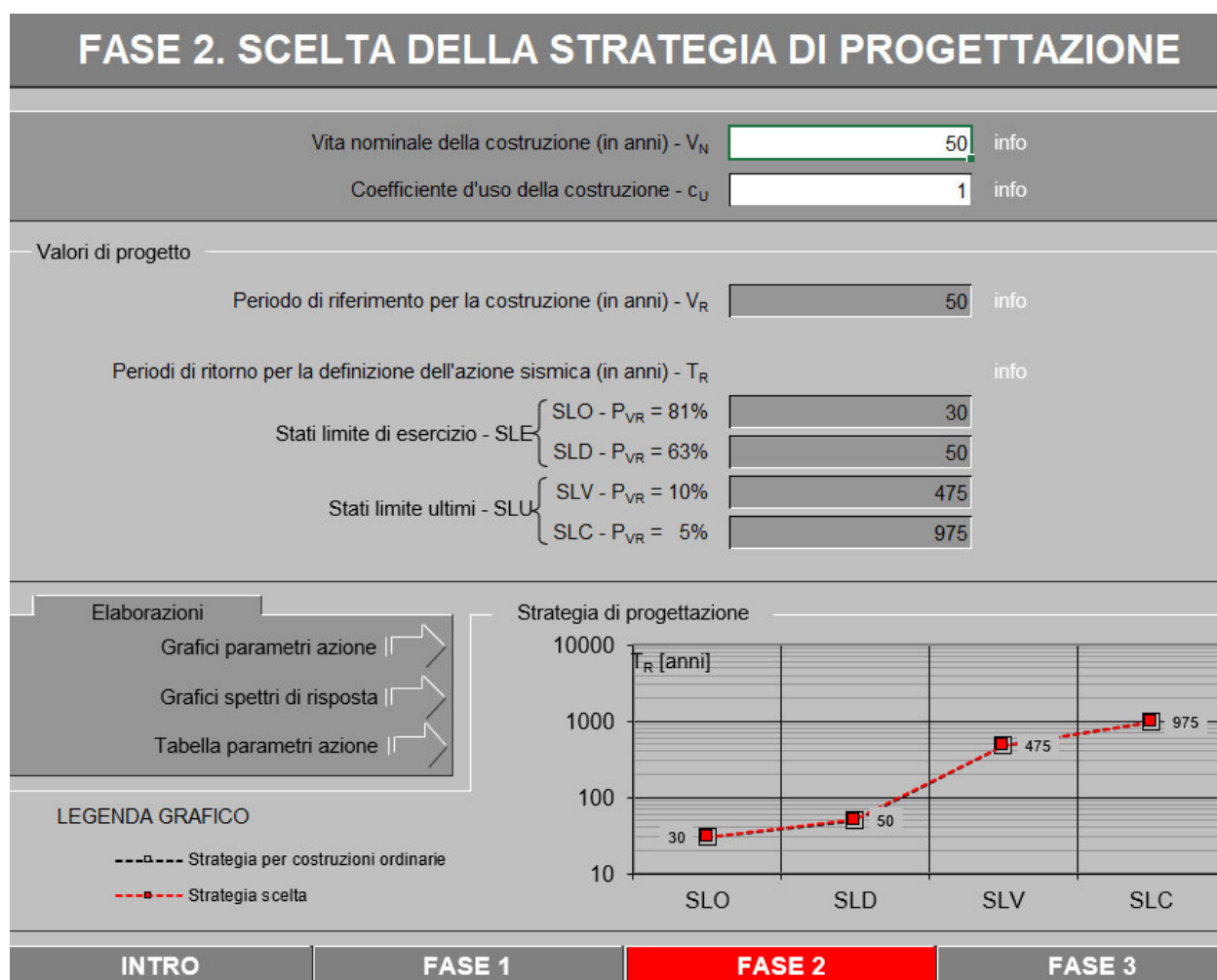





Figura 3.6 Valori dei tempi di ritorno per i differenti stati limite.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 26 di 48</p>

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.037	2.533	0.244
SLD	50	0.052	2.506	0.265
SLV	475	0.208	2.271	0.419
SLC	975	0.298	2.368	0.460

Tabella 7: Parametri a_g , F_0 e T_C^* per i periodi di ritorno associati a ciascuno SL

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1

Pag. 27 di 48

3.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

La classificazione del sottosuolo è stata eseguita in funzione dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/sec) definita dall'espressione nella seguente figura. Noto il parametro $V_{s,eq}$ è stata valutata la categoria di sottosuolo secondo lo schema proposto in Tab. 3.2.1 delle NTC2018 e riportato nella seguente tabella.

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$



con:
 h_i spessore dell'i-esimo strato;
 $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Figura 3.7 Definizione della velocità equivalente delle onde $V_{s,eq}$ secondo l'equazione 3.2.1 delle NTC2018.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Tabella 8 Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato delle NTC2018

A tal riguardo, considerate le risultanze delle indagini geofisiche di tipo MASW eseguite appositamente per il lavoro in oggetto, in corrispondenza dei punti di intervento, riassunte al capitolo “indagini geognostiche e geotecniche”, vista la natura litologica dei depositi presenti, e visti i valori di $V_{s,eq}$ che oscilla tra circa 213 m/s e 282 m/s con profondità del substrato sismico maggiore a 30 m dal p.c., si è proceduto considerando una **categoria di sottosuolo C**.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 28 di 48</div>

3.2.1 Condizioni topografiche

Rispetto alle condizioni topografiche, il metodo semplificato prevede la seguente classificazione:

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

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



Nel caso in esame, come descritto nel capitolo “Inquadramento geomorfologico e idrogeologico”, l'area in esame si colloca in una zona pianeggiante, per cui ai fini della caratterizzazione dell'amplificazione topografica si userà una categoria topografica T1 a cui corrisponde un fattore di amplificazione topografica $ST = 1,0$.

3.3 PARAMETRI SISMICI DI BASE, SE LA VITA NOMINALE = 100 ANNI

Le azioni sismiche di progetto sono state definite utilizzando il programma “Spettri NTCver.1.0.3.xls”. In particolare sono stati calcolati i parametri degli spettri di risposta elastici in accelerazione orizzontale e verticale in funzione degli stati limite assegnati, come da tabella seguente:

spettro di risposta elastico orizzontale					spettro di risposta elastico verticale				
Stato limite	SLO	SLD	SLV	SLC	Stato limite	SLO	SLD	SLV	SLC
a_g [g]	0.090	0.128	0.415	0.475	a_{gv} [g]	0.036	0.062	0.361	0.441
F_o	2.412	2.326	2.351	2.344	S_s	1.000	1.000	1.000	1.000
T_C^* (s)	0.312	0.338	0.512	0.534	S_T	1.000	1.000	1.000	1.000
S_s	1.500	1.500	1.114	1.033	$T_{B(s)}$	0.050	0.050	0.050	0.050
C_C	1.542	1.501	1.310	1.292	$T_{C(s)}$	0.150	0.150	0.150	0.150
S_T	1.000	1.000	1.000	1.000	$T_{D(s)}$	1.000	1.000	1.000	1.000
S	1.500	1.500	1.114	1.033	F_v	0.976	1.125	2.045	2.180
h	1.000	1.000	1.000	1.000	S	1.000	1.000	1.000	1.000
$T_{B(s)}$	0.160	0.169	0.223	0.230	h	0.667	0.667	0.667	0.667
$T_{C(s)}$	0.481	0.508	0.670	0.690					
$T_{D(s)}$	1.959	2.113	3.261	3.498					
$a_{g \max} = a_g * S_s * S_T$ [g]	0.135	0.192	0.463	0.490					

Tabella 9 Parametri dello spettro di risposta elastico orizzontale (sinistra) e verticale (destra) in accelerazione.



	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div>Pag. 29 di 48</div>

3.4 PARAMETRI SISMICI DI BASE, SE LA VITA NOMINALE = 50 ANNI

Le azioni sismiche di progetto sono state definite utilizzando il programma “Spettri NTCver.1.0.3.xls”. In particolare sono stati calcolati i parametri degli spettri di risposta elastici in accelerazione orizzontale e verticale in funzione degli stati limite assegnati, come da tabella seguente:

spettro di risposta elastico orizzontale					spettro di risposta elastico verticale				
Stato limite	SLO	SLD	SLV	SLC	Stato limite	SLO	SLD	SLV	SLC
a_g [g]	0.037	0.052	0.208	0.298	a_{gv} [g]	0.009	0.016	0.128	0.219
F_o	2.533	2.506	2.271	2.368	S_s	1.000	1.000	1.000	1.000
T_C^* (s)	0.244	0.265	0.419	0.460	S_T	1.000	1.000	1.000	1.000
S_s	1.500	1.500	1.416	1.277	$T_{B(s)}$	0.050	0.050	0.050	0.050
C_C	1.673	1.627	1.399	1.356	$T_{C(s)}$	0.150	0.150	0.150	0.150
S_T	1.000	1.000	1.000	1.000	$T_{D(s)}$	1.000	1.000	1.000	1.000
S	1.500	1.500	1.416	1.277	F_v	0.653	0.771	1.399	1.744
h	1.000	1.000	1.000	1.000	S	1.000	1.000	1.000	1.000
$T_{B(s)}$	0.136	0.144	0.196	0.208	h	0.667	0.667	0.667	0.667
$T_{C(s)}$	0.408	0.432	0.587	0.624					
$T_{D(s)}$	1.746	1.808	2.433	2.790					
$a_{g \max} =$ $a_g * S_s * S_T$ [g]	0.055	0.078	0.295	0.380					

Tabella 10 Parametri dello spettro di risposta elastico orizzontale (sinistra) e verticale (destra) in accelerazione.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 30 di 48</p>

4 ANALISI GEOLOGICO-GEOTECNICA

Ai fini della redazione del progetto in oggetto, è stata progettata e realizzata la campagna di indagini geognostiche descritta di seguito. Le prove sono consistite in:

- Num. 4 sondaggi geognostici
 - Num 9 SPT in foro
- Num. 4 prove sismiche masw

Tutte le specifiche sulle attrezzature e i metodi utilizzati sono visionabili nella Relazione tecnica generale sulle indagini, redatta da EAMBIENTE S.r.l., 2025.



Figura 4.1 Planimetria di ubicazione dei sondaggi geognostici





	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 31 di 48</p>



Figura 4.2 Planimetria ubicazione prove sismiche masw.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 32 di 48</p>

4.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

4.1.1 Sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo

Di seguito le stratigrafie dei sondaggi realizzati durante la campagna di indagine del 24/04/2025 eseguiti dall'impresa EAMBIENTE srl, svolte nell'ambito dei lavori di “Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” (CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7)

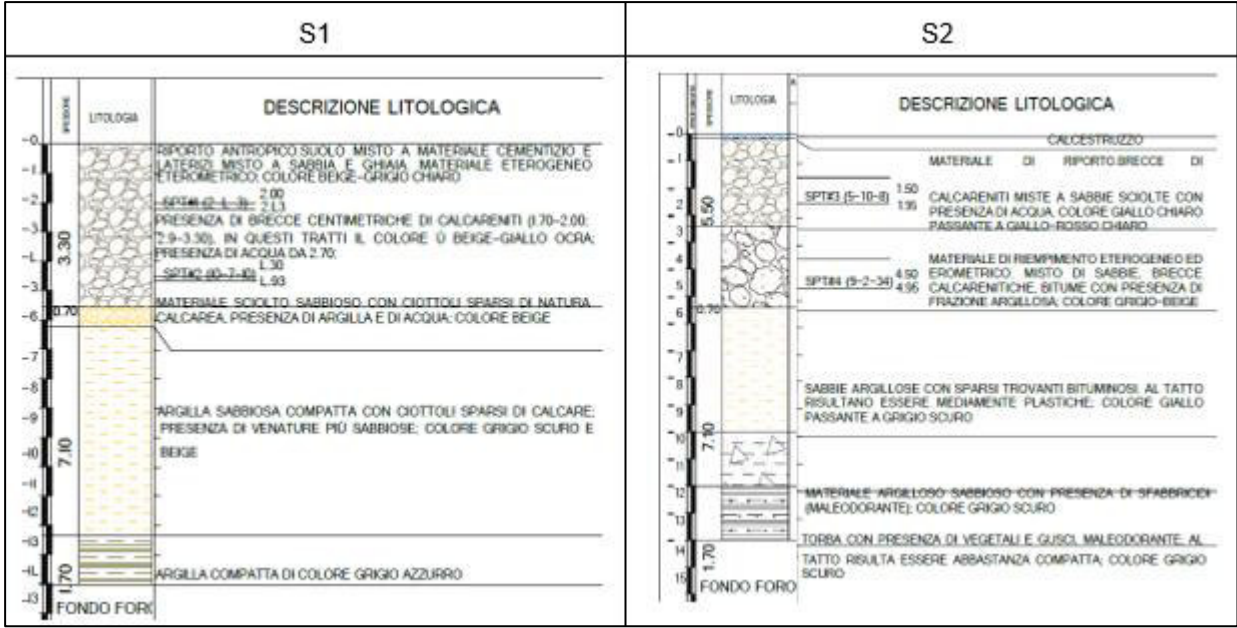




Figura 4.3. Stratigrafia sondaggi S1- S2.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p> <p>PROGETTO ESECUTIVO</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 33 di 48</p>

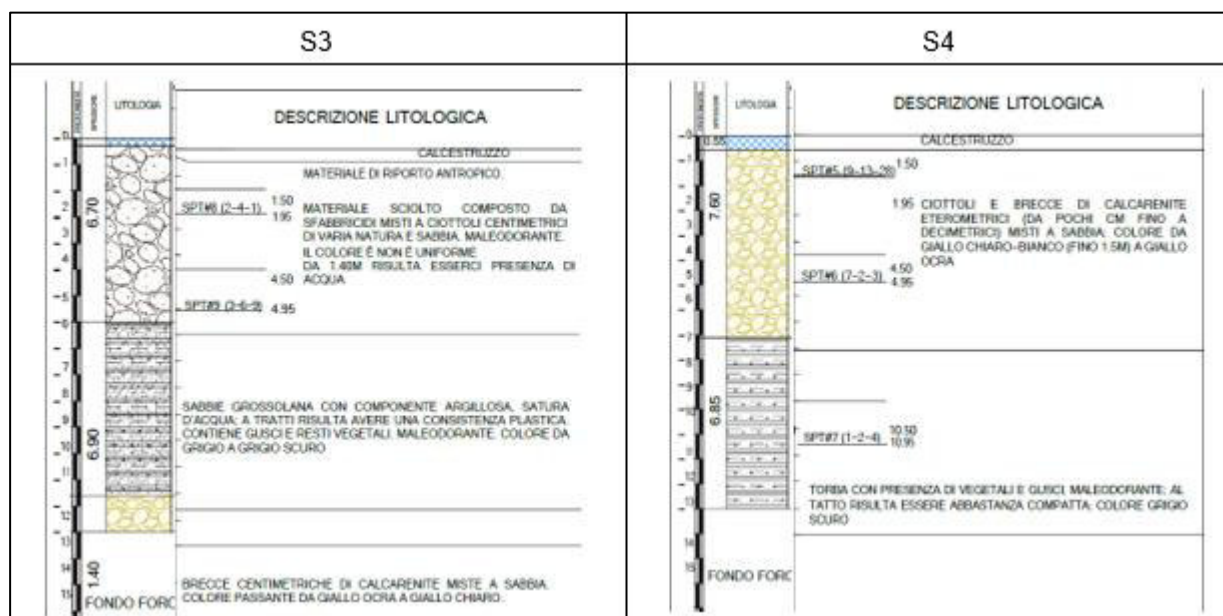


Figura 4.4: Stratigrafia sondaggi S3- S4.



4.1.2 Prove penetrometriche in foro

Durante l'esecuzione dei sondaggi descritti al paragrafo precedente sono state effettuate num.9 prove penetrometriche dinamiche di tipo SPT, distribuite in ogni foro secondo il seguente schema:

Sondaggio	ID SPT	Quota da p.c. (m)	Numero colpi
SG1	SPT_1	2,00 – 2,45	2- 4 - 5
SG1	SPT_2	4,50 – 4,95	10 - 7 - 10
SG2	SPT_3	1,50 – 1,95	5 -10 - 8
SG2	SPT_4	5,50 – 5,95	9 - 2 - 34
SG3_	SPT_8	1,50 – 1,95	2 - 4 - 1
SG3_	SPT_9	5,00 – 5,45	3 - 6 - 9
SG4	SPT_5	1,50 – 1,95	9 - 13 - 28
SG4	SPT_6	4,50 – 4,95	7 - 2 - 3
SG4	SPT_7	10,50 – 10,95	1 - 2 - 4

Tabella 11: Sintesi prove penetrometriche SPT

Di seguito i risultati delle prove SPT e dei principali parametri geotecnici determinati.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div>Pag. 34 di 48</div>



Num. Sondag.	Num. Prova	Prof. . [m]	N _{SPT}	D [%]	φ [°]	Med [MPa]	γ_{nat} [kN/m ³]	Classificazione AGI
SG1	SPT_1	2,00 – 2,45	9	39.2	28.34	7	17.65	POCO ADDENSATO
SG1	SPT_2	4,50 – 4,95	17	54,24	31,66	10	18.14	MODERATAMENTE ADDENSATO
SG2	SPT_3	1,50 – 1,95	18	55.7	32.02	10.5	18.14	MODERATAMENTE ADDENSATO
SG2	SPT_4	5,50 – 5,95	36	74.94	36.44	21.1	18.63	ADDENSATO
SG3_	SPT_8	1,50 – 1,95	5	27,06	26,4	3.9	17.46	POCO ADDENSATO
SG3_	SPT_9	5,00 – 5,45	15	51,11	30,9	8.82	17.85	MODERATAMENTE ADDENSATO
SG4	SPT_5	1,50 – 1,95	41	78.9	36.98	24.12	18.7	ADDENSATO
SG4	SPT_6	4,50 – 4,95	5	27.06	26.4	3.9	17.46	POCO ADDENSATO

Tabella 12: Sintesi parametri geotecnici da prove SPT.

4.1.3 Indagini geofisiche m.a.s.w.

Sono state realizzate n. 4 stese geofoniche per acquisizione sismica con metodologia m.a.s.w. Le prove sono state disposte in corrispondenza delle aree di intervento. Di seguito lo schema riassuntivo di realizzazione delle prove.

ID M.A.S.W.		Nr. geofoni	Distanza tra i geofoni (m)	Lunghezza (m)
MASW#1	NNE-SSW	24	2	48
MASW#2	N-S	24	2	48
MASW#3	SE-NW	24	2	48
MASW#4	N-S	24	2	48

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
	PROGETTO ESECUTIVO
 REGIONE SICILIANA	RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div>Pag. 35 di 48</div>

Di seguito vengono riportati i parametri ottenuti per ogni sismostrato nelle diverse prove M.A.S.W. Considerato che la profondità del substrato sismico è maggiore a 30 m, per tutte le prove è stato tenuto in considerazione il valore V_{s30}

Sismostrato	Spessore h (m)	V_s (m/s)	h/V_s (sec)	V_{s30} (m/s)
1	4.11	266.62	0.0154	247.24
2	9.85	260.73	0.0378	
3	9.32	241.54	0.0386	
4	1.92	311.54	0.0062	
5	8.91	380.81	0.0234	



Figura 4.5 Principali parametri della prova sismica masw 1.

Sismostrato	Spessore h (m)	V_s (m/s)	h/V_s (sec)	V_{s30} (m/s)
1	3.75	233.47	0.0161	234,97
2	6.25	176.93	0.0353	
3	8.75	228.55	0.0383	
4	11.25	296.02	0.0380	

Figura 4.6 Principali parametri della prova sismica masw 2.



Sismostrato	Spessore h (m)	V_s (m/s)	h/V_s (sec)	V_{s30} (m/s)
1	5.81	272.08	0.0214	282,39
2	5.66	173.01	0.0327	
3	2.20	260.25	0.0085	
4	16.33	373.58	0.0437	

Figura 4.7 Principali parametri della prova sismica masw 3.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 36 di 48</p>

Sismostrato	Spessore h (m)	V_s (m/s)	h/V_s (sec)	V_{s30} (m/s)
1	6.27	231.80	0.0270	213,20
2	6.31	153.63	0.0411	
3	3.94	199.72	0.0197	
4	8.49	239.68	0.0354	
5	4.99	286.13	0.0174	

Figura 4.8 Principali parametri della prova sismica masw 4.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 37 di 48</div>

4.2 RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA CON PARAMETRI GEOTECNICI

Considerati gli aspetti geologici noti in letteratura e trattati nel capitolo “Inquadramento geologico”, viste le stratigrafie-tecniche definite attraverso i sondaggi geognostici e tenuto conto della sismostratigrafia realizzata attraverso le prove sismiche masw, è stato possibile realizzare il modello geologico-tecnico per i primi 15.0 m a partire dal p.c. per ognuno degli areali che sarà interessato dalle principali opere architettoniche. Di seguito, pertanto, si propongono i modelli geologici e geotecnici per la zona della cabina CEB, per la zona delle pensiline fotovoltaiche e per la zona di ricovero CMS.

4.2.1 Modello geologico-geotecnico per la zona della CABINA CEB

Il sottosuolo per la zona che ospiterà la cabina CEB risulta costituita dalle seguenti unità litotecniche:



Sigla	Prof strato [m]	Litologia
A	≈ 2.0	Terreno di riporto misto a suolo comprendente materiale cementizio sabbia e ghiaia con presenza di brecce centimetriche
C	≈ 4.0	Breccia di calcareniti misto a sabbie
B	≈ 12.5	Argilla sabbiosa e/o sabbia argillosa con ciottoli sparsi e venature sabbiose.
D	≈ 15.0	Argille di colore grigio azzurro con presenza di vegetali e fossili.

Tabella 13 Caratteri generali delle unità litotecniche


Sigla	γ_{nat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	C' [kPa]	φ [°]	Ed [MPa]
A	18	19	0.0	26	3-4
C	18	19	0.0	31-32	9-10
B	18	19	0.0	28-32	7-10
D	18	19	0.0	26*	3-4

γ_{nat} = peso di volume naturale; γ_{sat} = peso di volume saturo; E = modulo edometrico; C' = coesione efficace;
 φ = angolo di attrito efficace

Tabella 14 Parametri generali delle unità litotecniche.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 38 di 48</p>

metri dal p.c.		
2.0	A	Terreno di riporto misto a suolo comprendente materiale cementizio sabbia e ghiaia con presenza di brecce centimetriche
4.0	C	Breccia di calcareniti misto a sabbie
12.5	B	Argilla sabbiosa e/o sabbia argillosa con ciottoli sparsi e venature sabbiose.
15.0	D	Argille di colore grigio azzurro con presenza di vegetali e fossili.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 39 di 48</div>

4.2.2 Modello geologico-geotecnico per la zona della PENSILINE FOTOVOLTAICHE

Il sottosuolo per la zona che ospiterà le pensiline fotovoltaiche risulta costituita dalle seguenti unità litotecniche:



Sigla	Prof strato [m]	Litologia
A	≈ 1.5	Terreno di riporto misto a suolo comprendente materiale cementizio sabbia e ghiaia con presenza di brecce centimetriche
C	≈ 6.0	Breccia di calcareniti misto a sabbie
B	≈ 12.0	Argilla sabbiosa e/o sabbia argillosa con ciottoli sparsi e venature sabbiose.
D	≈ 15.0	Argille di colore grigio azzurro con presenza di vegetali e fossili.

Tabella 15 Caratteri generali delle unità litotecniche



Sigla	γ_{nat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	C' [kPa]	φ [°]	Ed [MPa]
A	18	19	0.0	26	3-4
C	18	19	0.0	31-32	9-10
B	18	19	0.0	28-32	7-10
D	18	19	0.0	26*	3-4

γ_{nat} = peso di volume naturale; γ_{sat} = peso di volume saturo; E = modulo edometrico; C' = coesione efficace;
 φ = angolo di attrito efficace

Tabella 16 Parametri generali delle unità litotecniche

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div>Pag. 40 di 48</div>

metri dal p.c.		
1.5	A	Terreno di riporto misto a suolo comprendente materiale cementizio sabbia e ghiaia con presenza di brecce centimetriche
6.0	C	Breccia di calcareniti misto a sabbie
12.0	B	Argilla sabbiosa e/o sabbia argillosa con ciottoli sparsi e venature sabbiose.
15.0	D	Argille di colore grigio azzurro con presenza di vegetali e fossili.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div>Pag. 41 di 48</div>

4.2.3 Modello geologico-geotecnico per la zona della RICOVERO CMS

Il sottosuolo per la zona che ospiterà il ricovero CMS risulta costituita dalle seguenti unità litotecniche:



Sigla	Prof strato [m]	Litologia
A	≈ 0.5	Terreno di riporto misto a suolo comprendente materiale cementizio sabbia e ghiaia con presenza di brecce centimetriche
C	≈ 7.0	Breccia di calcareniti misto a sabbie
D	≈ 15.0	Argille di colore grigio azzurro con presenza di vegetali e fossili.

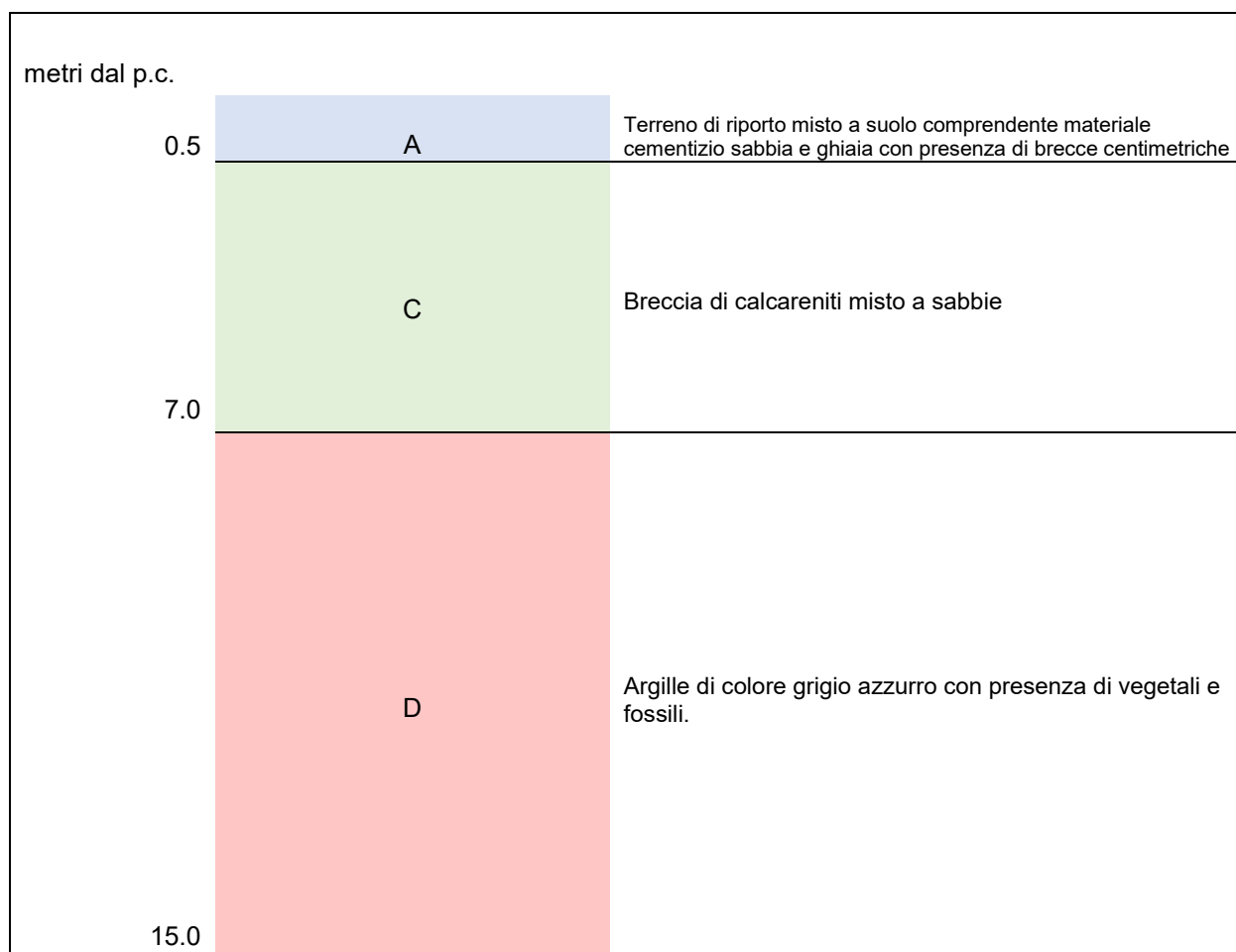
Tabella 17 Caratteri generali delle unità litotecniche



Sigla	γ_{nat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	C' [kPa]	φ [°]	Ed [MPa]
A	18	19	0.0	26	3-4
C	18	19	0.0	31-32	9-10
D	18	19	0.0	26*	3-4

γ_{nat} = peso di volume naturale; γ_{sat} = peso di volume saturo; E = modulo edometrico; C' = coesione efficace;
 φ = angolo di attrito efficace

Tabella 18 Parametri generali delle unità litotecniche.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div>Pag. 42 di 48</div>



	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 43 di 48</p>

4.3 VERIFICA A LIQUEFAZIONE



Pur in mancanza di una definizione univoca del fenomeno, si assume che lo stato di liquefazione corrisponda alla totale o parziale perdita di resistenza al taglio dei terreni saturi per diminuzione delle tensioni efficaci applicate, conseguente ad un aumento delle pressioni interstiziali. Un caso particolare del fenomeno riguarda la liquefazione dei depositi incoerenti saturi in condizione di sollecitazione sismica.

A tale proposito, è riconosciuto che i terreni maggiormente suscettibili di liquefazione sono quelli puramente attritivi come le sabbie fini e le sabbie limose poco addensate immerse in falda. È stato anche dimostrato che la suscettibilità alla liquefazione dei depositi è strettamente correlata alla loro età. I terreni più esposti a tale rischio risultano pertanto quelli accumulati in epoca recente, come i fondivalle alluvionali, le piane costiere, le aree deltizie e litorali.

In base al D.M. 17/01/2018 il sito di ubicazione del manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi poco addensati, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità del manufatto, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili alla liquefazione.

La verifica a liquefazione può essere omessa, come definito al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018, quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 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 $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella fig. 18a nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $UC < 3,5$ ed in fig. 18b nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $UC > 3,5$.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 44 di 48</div>

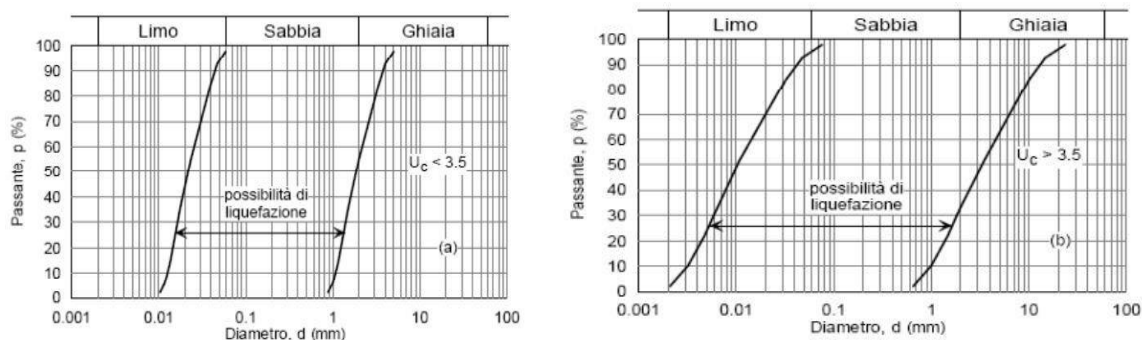


Figura 4.9 Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Ciò premesso,

- vista la soggiacenza della superficie della falda a partire da circa 3.0 m di profondità dal piano campagna,
- considerato i valori relativamente basso di N_{SPT} per lo strato sabbioso che si interva tra 2.0 m e 4.0 m dal p.c.
- vista la magnitudo attesa pari circa a 5.94 Mw;
- vista l'accelerazione sismica massima attesa nelle condizioni di SLV pari a 0.463 g;

si ritiene che il medesimo strato possa essere interessato da fenomeni di liquefazione, pertanto si è proceduto con il calcolo della verifica.


La verifica della stabilità nei confronti della liquefazione è stata eseguita utilizzando una delle procedure descritte in Youd et al. ("Liquefaction Resistance of Soils", Summary Report from 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils) in particolare la procedura adottata si basa sui risultati forniti dalle prove SPT. Tale procedura permette di calcolare un fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione, definito come rapporto tra la resistenza del terreno considerato (espressa mediante la variabile CRR , Cyclic Resistance Ratio) e l'azione sismica (espressa mediante la variabile CSR , Cyclic Stress Ratio); il valore di CRR viene calcolato a partire dal valore di riferimento di CRR per un sisma di magnitudo pari a 7.5 ($CRR_{7.5}$) e un fattore di scala dipendente dal sisma considerato (MSF , Magnitude Scaling Factor). In particolare:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} MSF$$

dove:

$$CSR = 0.65 \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d$$

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 45 di 48</div>

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}$$

con:

a_{max} accelerazione orizzontale di picco assunta a livello del fondale pari a 0.250 g;

g accelerazione di gravità (9.81m/s²);

σ_{v0} sforzo totale alla profondità di calcolo;

σ'_{v0} sforzo efficace alla profondità di calcolo;

r_d coefficiente di riduzione degli sforzi stimato come:

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)}$$

(T.F.Blake);

z profondità dal piano campagna;

$(N_1)_{60}$ N_{SPT} rettificato in funzione dell'efficienza della macchina di prova e dello sforzo verticale in sito

M_w valore di magnitudo uguale a 6.01 (Magnitudo di riferimento per la zona d'interesse, vedi paragrafo “Pericolosità sismica di base”).



Il D.M. 17.01.2018 non indica un valore specifico di F_s da utilizzare come riferimento. Questo deve essere scelto e motivato dal progettista. L'Eurocodice 8 suggerisce, qualora si impiegassero correlazioni semi-empiriche come nel caso in esame, che un terreno debba essere considerato liquefacibile, se lo sforzo di taglio indotto dal terremoto supera l'80% della resistenza mobilitata dal terreno.

$$CSR \geq 0.80CRR$$

Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite uguale a:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} = 1.25$$

Il valore di F_s calcolato dovrà essere quindi maggiore o uguale del suddetto valore limite.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div style="text-align: right;">Pag. 46 di 48</div>

4.3.1 Casi con accelerazioni attese per vita nominale di 100 anni

I parametri di input per la verifica con opere a vita nominale pari a 100 anni sono i seguenti:

a_g (g)	0,415
S_s	1,114
S_T	1,000
a_{max} (g)	0,463
M_w	5,94
MSF	1,82

I risultati della verifica di stabilità alla liquefazione, eseguita per sulla base delle prove SPT, sono riportati nella tabella seguente, nella quale si evidenzia in rosso lo strato per il quale è stato eseguito il calcolo, corrispondente alla unità litotecnica “B” descritta nel capitolo “Ricostruzione stratigrafica con parametri geotecnici” come: “Argilla sabbiosa e/o sabbia argillosa con ciottoli sparsi e venature sabbiose”.

z (m da p.c.)	$N_{1(60)}$	VERIFICA LIQUEFAZIONE			
		rd	CSR	CRR7.5	F_s
2,0	/	/	/	/	FUORI FALDA
4,0	/	/	/	/	BRECCIA
12,0	11	0,857	0,257	0,121	0,856
15,0	/	/	/	/	ARGILLOSO

Tabella 19 Verifiche di stabilità alla liquefazione per l'unità litotecnica “B”.

4.3.2 Casi con accelerazioni attese per vita nominale 50 anni



I parametri di input per la verifica con opere a vita nominale pari a 50 anni sono i seguenti:

a_g (g)	0.208
S_s	1.416
S_T	1.000
a_{max} (g)	0.295
M_w	5,94
MSF	1,82

I risultati della verifica di stabilità alla liquefazione, eseguita per sulla base delle prove SPT, sono riportati nella tabella seguente, nella quale si evidenzia in verde lo strato per il quale è stato eseguito il calcolo, corrispondente alla unità litotecnica “B” descritta nel capitolo “Ricostruzione stratigrafica con parametri geotecnici” come: “Argilla sabbiosa e/o sabbia argillosa con ciottoli sparsi e venature sabbiose”.

z (m da p.c.)	$N_{1(60)}$	VERIFICA LIQUEFAZIONE			
		rd	CSR	CRR7.5	F_s
2,0	/	/	/	/	FUORI FALDA
4,0	/	/	/	/	BRECCIA
12,0	11	0.857	0.164	0.121	1.343
15,0	/	/	/	/	ARGILLOSO

Tabella 20 Verifiche di stabilità alla liquefazione per l'unità litotecnica “B”.

	“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa” CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7
 REGIONE SICILIANA	PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA 32016019PE0GENREL04R1 <div>Pag. 47 di 48</div>

5 CONCLUSIONI

Nel presente documento sono stati descritti gli aspetti geologici, geotecnici, geomorfologici e sismici dell'areale interessato dal progetto esecutivo denominato “Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”.



Lo studio è stato condotto sulla base della consultazione delle principali fonti bibliografiche disponibili, oltre agli studi geologici pregressi eseguiti in prossimità e corrispondenza dell'area di intervento, nonché le vincolistiche idrogeologiche rese note dall'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia. Tutti questi dati sono stati, inoltre, integrati dalle osservazioni eseguite durante gli appositi rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio oltre alla campagna di indagini geognostiche appositamente progettata e realizzata in aprile 2025 dalla società Eambiente s.r.l.

Complessivamente ed in sintesi, a valle di quanto sopra riportato, emergono le seguenti considerazioni:

- L'area di interesse è governata dalle seguenti unità litotecniche

Sigla	Litologia
A	Terreno di riporto misto a suolo comprendente materiale cementizio sabbia e ghiaia con presenza di brecce centimetriche
C	Breccia di calcareniti misto a sabbie
B	Argilla sabbiosa e/o sabbia argillosa con ciottoli sparsi e venature sabbiose.
D	Argille di colore grigio azzurro con presenza di vegetali e fossili.

- Relativamente alla pericolosità idrogeologica (connessa a fenomeni gravitativi, alluvionali e/o di erosione costiera), per l'area di interesse, non sono segnalati problematiche;
- Sulla base delle indicazioni contenute nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, e tutti i successivi aggiornamenti, il territorio comunale di Siracusa, è classificato come zona sismica 1, definita come zona maggiormente pericolosa, in cui la possibilità che capiti un terremoto forte è alta;
- secondo il sistema DPC-INGV S1, nel territorio in esame, il valore medio dell'accelerazione massima al suolo in condizione di sito roccioso pianeggiante, stimato per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente ad un periodo di ritorno $TR=475$ anni), risulta compreso tra 0.200 g e 0.225 g;
- relativamente alle amplificazioni sismiche procedendo mediante l'utilizzo dell'approccio semplificato, valutando le condizioni stratigrafiche e topografiche in riferimento a quanto previsto al punto 3.2.2 delle vigenti NTC2018, si può considerare una categoria di sottosuolo C, mentre in merito alle amplificazioni topografiche si può considerare una categoria topografica T1;

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA – PARTE GEOLOGICA E SISMICA</p> <p>32016019PE0GENREL04R1</p> <p>Pag. 48 di 48</p>

- dai rilievi di sito non si evidenziano problematiche geomorfologiche rilevanti.
- I risultati della verifica di stabilità alla liquefazione, eseguita sulla base delle prove SPT, nei casi di accelerazione sismica attesa per opere con vita nominale di 50 anni indicano che le accelerazioni sismiche attese non generano sforzi ciclici di taglio tali da generare fenomeni di liquefazione;
- I risultati della verifica di stabilità alla liquefazione, eseguita sulla base delle prove SPT, nei casi di accelerazione sismica attesa per opere con vita nominale di 100 anni evidenziano che lo strato per il quale è stato eseguito il calcolo (corrispondente alla unità litotecnica “B” descritta nel capitolo *“Ricostruzione stratigrafica con parametri geotecnici”* come: *“Argilla sabbiosa e/o sabbia argillosa con ciottoli sparsi e venature sabbiose”*) è caratterizzata da un Fattore di sicurezza $F_s \approx 0.856$, quindi può essere interessata da fenomeni di liquefazione. Per questo motivo in fase di progettazione esecutiva si dovrà adottare almeno una tra le due soluzioni descritte di seguito
 - a. Progettare fondazioni profonde tali da riuscire a bypassare lo strato liquefacibile;
 - b. Consolidare e/o migliorare le caratteristiche di resistenza agli sforzi ciclici dello strato liquefacibile.