



COMUNE DI ISOLA DI CAPO RIZZUTO

Provincia di Crotona



POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL PORTO REGIONALE DI LE CASTELLA

Progetto Definitivo

B. RILIEVI E INDAGINI

B.03

RELAZIONE GEOLOGICA (a cura del Dott. Geol. Francesco Scerra)

Data:

15-01-2021

Scala:

PROGETTAZIONE:



Architetto
PASQUALE BILLARI

Ingegnere
ACHILLE TRICOLI

Ingegnere
DOMENICO CONDELLI

Ingegnere
GIUSEPPE V. RACCO

Geologo
FRANCESCO SCERRA

PROJECT MANAGER

Ing. Antonino Sutera



PROGETTISTI

ing. Davide Ferlazzo
ing. Domenico Condelli
arch. Pasquale Billari
ing. Giuseppe V. Racco
ing. Achille Tricoli
ing. Roberta C. De Clario

GRUPPO DI LAVORO

ing. Simone Fiumara
arch. Rossella Faralla
arch. Erica Pipitò
Arch. Roberto Lembo

GEOLOGO

geol. Francesco Scerra

REVISIONI	Rev. n°	Data	Motivazione

R.U.P.

Visti/Approvazioni

ing. A. Otranto

Codice elaborato:

DNC122_PD_B.03_2021-01-15_R0_Relazione Geologica_DCL.docx

INDICE

1	PREMESSA	3
2	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	4
3	BIBLIOGRAFIA	5
	3.1 ALLEGATI	5
4	UBICAZIONE DELL'AREA	6
5	DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO	7
6	VINCOLI AMBIENTALI	9
7	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE	11
8	PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	18
9	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO GENERALE	20
	9.1 GEOMORFOLOGIA	22
	9.2 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	25
10	MODELLAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI	31
	10.1 SISMICITÀ STORICA E CLASSIFICAZIONE	34
	10.2 PERICOLOSITÀ SISMICA	37
	10.3 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	43
	10.4 STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO	44
	10.5 COEFFICIENTI SISMICI	45
	10.6 PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO: CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E TOPOGRAFICA	45
11	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI	47
12	ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA	56
13	CONCLUSIONI	58

1 PREMESSA

Il presente elaborato costituisce la Relazione Geologia del progetto per lavori di "Potenziamento infrastrutturale del Porto Regionale di Le Castella" (CUP J44J18000000002 – CIG 7562032238), redatto sulla base delle informazioni ottenute dai dati dalla indagini geognostiche e geotecniche propedeutiche allo sviluppo della fase di progettazione definitiva - esecutiva del "Potenziamento infrastrutturale del Porto Regionale di Le Castella" nel Comune di Isola Capo Rizzuto (KR), finanziato con fondi POR CALABRIA FESR-FSE 2014-2020 –ASSE VII –SVILUPPO DELLE RETI DI MOBILITA' SOSTENIBILE-Obiettivo specifico 7.2. "Miglioramento della competitività del sistema portuale e interportuale", Azione 7.2.2 "Potenziare infrastrutture e attrezzature portuali e interportuali di interesse regionale, ivi inclusi il loro adeguamento ai migliori standard ambientali, energetici e operativi e il potenziamento dell'integrazione dei porti con le aree retroportuali".

Lo studio è stato finalizzato agli accertamenti della compatibilità geologica, geomorfologica, idrogeologica dell'opera e definisce il modello geologico del sottosuolo alla scala di dettaglio, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, sismo-stratigrafici e geologico-tecnici nonché il conseguente livello di pericolosità geologica finalizzato all'individuazione e descrizione delle criticità riscontrate e, conseguentemente, al rilascio delle prescrizioni e avvertenze da tenere in conto nell'esecuzione delle opere previste.

2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

- D.Lgs n. 50/2016 art. 23 comma 1, lett. i
- Circ. 21.01.2019 n. 7 C.S.LL.PP."Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 >> (rif. C6.2.1)
- D.M. 17.01.2018 (G.U. n. 42 del 20.02.18, Suppl. Ord. n. 8) Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni - in vigore dal 22.03.2018 (rif. par. 6.2.1)
- Ordinanza PCM n. 3519 del 28 Aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n. 108 del 11/05/2006). relativo agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006.
- Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche (Eurocodice 8) per le costruzioni in zona sismica";
- DGR Regione Calabria del 10.02.2004 n. 47 "Prime disposizioni per l'attuazione dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 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"
- UNI ENV 1997-2. "Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica. Parte 2: Progettazione assistita da prove di Laboratorio". Giugno 2002;
- UNI ENV 1997-3. "Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica. Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito". Settembre 2002;
- UNI ENV 1997-3. "Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture: Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnica
- DPR n. 380 del 06.06.2001 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia" art. 36, comma 1
- D.M. Min. LL.PP. n. 47 del 11.3.88 "Indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il coll delle opere di sostegno delle terre"
- Legge Regionale n. 16 del 15/9/2020 "Procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva sismica" – Regolamento Regionale approvato dalla Giunta Regionale nella seduta del 22 dicembre 2020 –Allegato 1 art. 1 co 6
- Decreto del Segretario Generale n. 540 del 13.10.2020 "Adozione Misure di Salvaguardia relative alle aree soggette a modifica di perimetrazione e/o classificazione della pericolosità e rischio dei Piani di Assetto Idrogeologico configurate nei progetti di variante di aggiornamento PAI alle nuove mappe del PGRA (Piano gestione Rischi Alluvione) da approvarsi ai sensi dell'Art. 68 comma 4-ter del D.Lgs 152 del 3 Aprile 2006, integrato dall'Art. 54 della Legge n. 120 dell'11 Settembre 2020 "Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale" - Nuove mappe PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale
- PAI Piano stralcio Assetto Idrogeologico – Autorità di Bacino Regione Calabria Regione Calabria - 2001
- Legge n. 183 del 18.5.89 art. 17; L. n. 267 del 3.8.98 art. 1; L. n. 365/2000)
- PSEC Piano di bacino Stralcio per l'Erosione Costiera – Autorità di Bacino Regione Calabria (Luglio 2016)
- QTRP Piano Territoriale Regionale Paesaggistico -2016 (artt. 17 e 25 della Legge urbanistica Regionale 19/02 e ss.mm.ii.)
- Aggiornamento Quadro Conoscitivo QTRP (DGR n. 134 02.04.2019) ai sensi degli artt. 25, c. 9 ter della L.R. 19/02 e dall'art. 35 del Tomo IV - Disposizioni normative del QTRP.

3 BIBLIOGRAFIA

- Studio geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico su siti limitrofi
- Studio geologico per il PSC del Comune di Isola Capo Rizzuto (KR) (All. Prog.Fattibilità) – Giugno 2015
- Carta Geologica ISPRA "Progetto GARG" Foglio n. 571 scala 1:25.000
- Carta Geologica della Calabria; Ed. Cassa per il Mezzogiorno, Foglio 243 San Leonardo di Cutro IV NO, della Carta Geologica d'Italia 1:25.000 IGM; rilevamento geologico eseguito dalla compagnia aerea-ricerche (1958-62) Marchetti M.P., Burton A.N., Hughes D.O
- Consiglio Nazionale dei Geologi (CNG) "Raccomandazioni per la redazione della Relazione Geologica da NTC" 2015
- Carta Geomorfologica d'Italia 1: 50.000 – Guida al rilevamento "Modifiche e le integrazioni a quanto pubblicato nel Quaderno, serie III, n. 4/1994, " Volume 13, Fascicolo I - Progetto CARG ISPRA: modifiche ed integrazioni al Quaderno n. 4/1994 - 2018
- PCM Ordinanza n.83 del 2 agosto 2019 "Approfondimenti conoscitivi in zone di attenzione per faglie attive e capaci, individuate con gli studi di microzonazione sismica condotti ai sensi dell'Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017.
- Dipartimento della Protezione Civile (2015) "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)"
- "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)" (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, OPCM 13 Novembre 2010 n. 3907).
- "Indirizzi e criteri di microzonazione sismica" Dipartimento di Protezione Civile – anno 2009
- Linee guida per la progettazione ed esecuzione degli interventi – Accordo di programma Quadro Difesa del Suolo – Erosione delle Coste - 2006 Regione Calabria – Autorità di Bacino Regionale
- A.G.I. (1977). "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche".
- A.G.I. (1994). "Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio".
- ISPRA Servizio Geologico d'Italia: Note illustrative della Carta geologica d'Italia; scala 1:50.000 Foglio 577
- "I terrazzi del Pleistocene superiore della penisola di Crotona (Calabria)" – E.Gliozzi, Geologica Rom. 26 1987
- Mardioscoron "L'ambiente marino della costa crotonese meridionale" – 1992 – Agip
- I Problemi geoambientali nella costa tra Capo Colonna e Isola di Capo Rizzuto- Atti del Convegno - 2001

Le tavole allegate sono state elaborate su supporto dello stralcio cartografico CTR Regione Calabria, Foglio n. 577053, scala 1:5.000, anno 2008:

- Stralcio foto aree: da Google Earth
- Foto allegate: da vari sopralluoghi eseguiti
- Postazione/Computer: Scerra Francesco/LAPTOP-UCT5D79E
- Programmi utilizzati: Word 2019, Adobe Acrobat XI Pro, Autocad 2016, GeoApp Geostru, Google Earth Pro

3.1 Allegati

- TAV B.03A_Planimetria dell'area
- TAV B.03B_Ubicazione indagini
- TAV B.03C_Carta geologica
- TAV B.03D_Sezione geologica AB
- TAV B.03E_Sezione geologica CD

4 UBICAZIONE DELL'AREA

L'area di progetto ricade nel territorio della frazione di Le Castella di Isola Capo Rizzuto (KR) e coincide con l'intera struttura portuale che si estende lungo la costa per un tratto di circa 500 m.

Il porto di Le Castella è costituito da un piccolo bacino portuale dotato di un molo adibito all'ormeggio dei pescherecci e di una darsena turistica ricavata da una antica in una cava di tufo dove attraccano imbarcazioni turistiche e in cui svolgono i servizi per l'utenza.

L'accesso al porto avviene da sud tramite la strada comunale litoranea e da nord con una stradina sterrata che si collega alla strada comunale posta all'interno.

Allo stato attuale la fruibilità e i servizi offerti dalla struttura portuale risultano compromessi da una serie di problematiche quali l'inadeguatezza del molo sopraflutto e la scarsa protezione offerta all'imboccatura dalle mareggiate provenienti dal principale settore di traversia, mentre la darsena turistica presenta un problema di agitazione interna e, in occasione delle mareggiate, vede sempre più diminuire il pescaggio delle imbarcazioni per la notevole sedimentazione presente al suo interno

L'area, rappresentata in Tavola B.03A Planimetria generale, è inquadrata a livello cartografico nel foglio n. 243 San Leonardo di Cutro IV NO della carta topografica d'Italia individuata con il punto di coordinate geografiche decimali (punto colore nero Lat. 38.909497°; Long. 17.026438°).



Figura 4.1 Il sito di intervento

5 DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO

Gli interventi previsti sono rivolti principalmente al consolidamento ed al potenziamento del molo sopraflutto ed al suo allungamento che consentirà la messa in sicurezza del porto peschereccio e, quindi, la sua completa fruibilità anche nel periodo invernale, oltre a interventi per la fruizione e servizi nella darsena turistica, atti a migliorare capacità ricettiva e le relazioni con il territorio.

Di seguito si elencano le opere previste per aree di intervento:

Porto peschereccio

- Prolungamento del molo di sopraflutto per un tratto di 60.0 m
- Ricarica della mantellata esterna con tetrapodi
- Sopralzo dei tratti di muro con coronamento a quote inferiori alla quota +7.0 m s.l.m.
- Prolungamento del molo di sottoflutto con annessa stazione di carburante e area sosta temporanea per lo scarico acque di sentina
- Realizzazione pontile pescatori
- Realizzazione n. 2 pontili molo sottoflutto
- Consolidamento banchina alla radice molo sopraflutto

Porto turistico (Darsena)

- Livellamento dei fondali per pescaggio di almeno 2.0 m
- Installazione di un pontile banchina lato nord
- Realizzazione sistema di chiusura delle prese a mare in corrispondenza dei canali scotolari
- Installazione di "seabin": per contrasto accumulo di rifiuti

Altri servizi

- Realizzazione di una stazione marittima sul limitare banchina nord darsena turistica:
- Realizzazione area manutenzioni
- Realizzazione parcheggio e riqualificazione viabilità
- Realizzazione di un piccolo anfiteatro
- Riqualificazione esistente percorso pedonale

6 VINCOLI AMBIENTALI

I vincoli ordinati e sovraordinati in materia ambientale che interessano la parte urbanizzata della frazione di Le Castella, comprendente la struttura portuale, sono di seguito elencati:

Vincolo idrogeologico PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico):

- rischio frane e aree di rispetto associate;
- rischio idraulico.

Vincolo erosione costiera PSEC (Piano di bacino Stralcio per l'Erosione Costiera):

- aree a pericolosità bassa (P1);
- aree a pericolosità media (P2);
- aree a pericolosità elevata (P3).

Vincoli paesistico-ambientali da QTRP:

- fascia di rispetto di 300 m per le zone costiere (D.Lgs. n° 42/2004 art. 142, lett. a, b).

Area Marina Protetta Capo Rizzuto (Decreto interminist 27.12.91 e succ. mod. con Decreto MATTM 19.02.2002):

- zona B di Riserva Generale.

Rete natura 2000. Direttiva 92/43/CEE "Habitat" (DPR n. 120 del 12.03.03):

- area SIC (IT9320097 "Fondali da Crotona a Le Castella").

Si rappresentano cartograficamente i vincoli presenti nell'area di progetto:

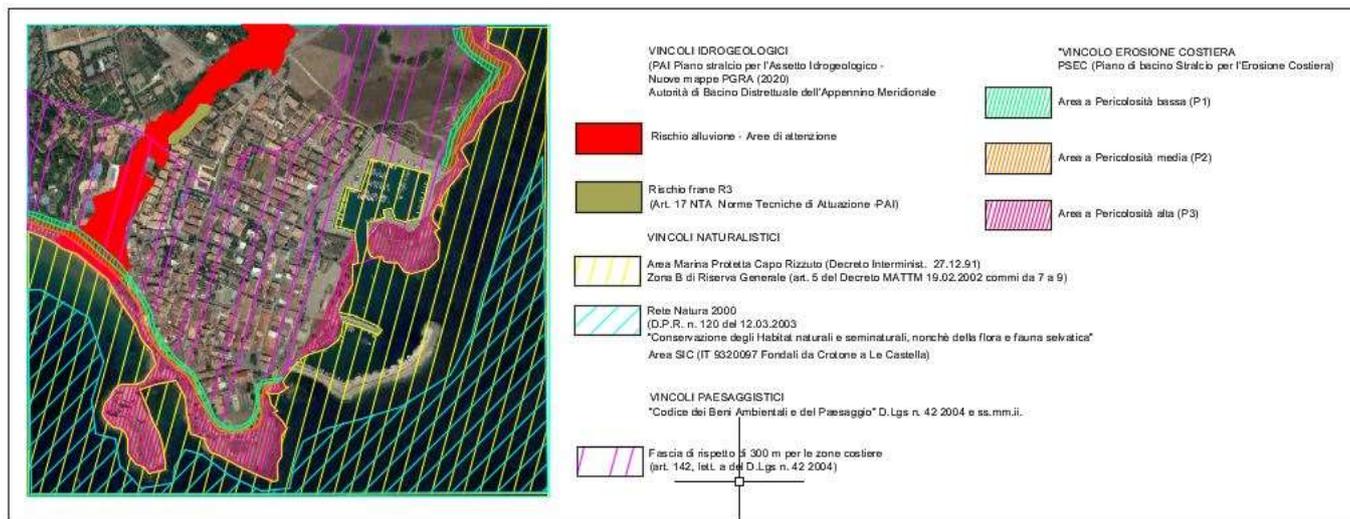


Figura 6.1 I vincoli ambientali presenti nell'area di progetto

I vincoli ambientali incombenti sul territorio di riferimento progettuale, oltre quelli rivolti alla tutela del patrimonio ecologico, biologico, antropologico e storico-culturale, indirizzano l'analisi di rischio principalmente alla sola valutazione degli elementi di vulnerabilità collegata al pericolo per l'erosione/arretramento della linea di costa.

RELAZIONE GEOLOGICA

Per contro, gli elaborati Piano di Assetto Idrogeologico PAI 2001 e le NAMS 2011 dell'ABR Autorità di Bacino Regionale (TAV AV 101013 Isola Capo Rizzuto/C: elaborato "Aree Vulnerate ed Elementi a Rischio" e nella TAV RI 101013 Isola Capo Rizzuto/C: " Perimetrazione Aree a Rischio Idraulico" e, di recente, la cartografia ufficiale PGRA dell'Autorità di Bacino dell'Appennino Meridionale (ott. 2020), non segnalano alla scala di riferimento problematiche legate al particolare rischio; per contro vista la forte azione erosiva portata dal moto ondoso sotto costa, di conseguenza è da considerare come aree vulnerabili sotto il profilo idraulico, potenzialmente inondabili per le criticità derivabili dai punti di debolezza delle strutture portuali.

Dall'esamina della planimetria riportata in Fig. 6.1 Il PSEC, infine, individua per l'impianto portuale di Le Castella aree a pericolo e rischio di erosione costiera per aree di sopraflutto e sottoflutto.

7 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Le indagini geognostiche e geotecniche sono state eseguite sulla base dei contenuti del piano indagini redatto sulla conoscenza degli obiettivi del progetto e dalle informazioni raccolte da dati geologici esistenti, con lo scopo di individuare le caratteristiche geologiche geosismiche e geomeccaniche degli strati del sottosuolo interessato dalla progettazione degli interventi.

In particolare, sono stati determinati:

- lo spessore, la successione e l'andamento spaziale dei litotipi presenti nell'area di progetto;
- lo stato fisico e le proprietà geomeccaniche dei terreni fino alle profondità di effettivo interesse progettuale;
- il modello geologico, geosismico che caratterizzano la superficie significativa del sito di progetto;
- il modello geologico-tecnico che caratterizza il volume significativo interagente con la specifica opera e la presenza di eventuali falde acquifere sub-superficiali;
- l'individuazione della categoria di suolo in base alle NTC "Aggiornamento delle Norme Tecniche Costruzioni" di cui al D.M. 17.1.2018, ai fini della definizione della risposta sismica;
- le criticità riscontrate del sottosuolo che ipotizzano eventuale instabilità nelle opere esistenti;
- Il livello di interrimento presente nei bacini portuali (molo peschereccio e darsena turistica);
- l'accertamento della fattibilità di opere di fondazioni indicate in studio preliminare.

Le indagini sono state eseguite in aree ben definite (stazioni di indagine ST, vedi TAV B03.B *Ubicazione indagini*) ritenute significative per la restituzione delle informazioni utili per la descrizione delle caratteristiche litostratigrafiche, litotecniche. Di seguito si riassumono le prove eseguite in situ:

Tabella 7.1 Stazioni di indagini e prove

Stazione di indagine	Id Carotaggio Coord. WGS84	Quota (m s.l.m.)	Prof. (m dal p.c.)	Id campioni Ind.(I) / Rim (R) Prof. (m dal p.c.)	Prove SPT Prof. (m dal p.c.) N Colpi SPT	Rinv. Acqua (m dal p.c.)	DPSH Prof. (m) Coord. WGS84	DH Coord. WGS84	Id Sismica Rif. Coord. WGS84	Id Masw Coord. WGS84
ST1	S1 Lat. 38.908288° Long. 17.028702°	1.8	40	(I) S1C1 (16.0-16.5) (I) S1C2 (25.0-25.5) (I) S1C3 (35.0-35.5)	12.0 Rcm13 16.5 5/7/11 25.5 6/9/14 35.5 10/14/17	1.8		DH Lat. 38.908288° Long. 17.028702	ST1 Lat. 38.907534° Long. 17.027086°	
ST2	S2 Lat. 38.907802° Long. 17.025679°	1.2	12	(R) S2C1 (4.0-4.5) (R) S2C2 (11.5-12.0)	4.5 13/15/8 12.0 7/9/10	1.2	DPSH3 Lat. 38.907757° Long. 17.025873		ST2 Lat. 38.907740° Long. 17.025930°	ST2 Lat. 38.907740° Long. 17.025930°
ST3	S3 Lat. 38.908521° Long. 17.027393°	1.5	12	(R) S3C1 (5.0-5.5) (R) S3C2 (11.5-12.0)	5.5 9/10/13 12.0 5/4/9	1.5	DPSH4 Lat. 38.908926° Long. 17.026036		ST3 Lat. 38.908612° Long. 17.027071°	ST3 Lat. 38.908612° Long. 17.027071°

RELAZIONE GEOLOGICA

ST4	S4 Lat. 38.911371° Long. 17.028889°	1.4	15	(I) S4C1 (6.0-6.5) (I) S4C2 (9.5-10.0)	6.60 4/5/8 10.0 5/7/10	1.4	DPSH1 Lat. 38.911452° Long. 17.028897°	ST4 Lat. 38.911213° Long. 17.028841°	ST4 Lat. 38.911213° Long. 17.028841°
ST5	S5 Lat. 38.912155° Long. 17.027994°	2.0	15	(I) S5C1 (2.0-2.5) (I) S5C2 (6.0-6.5) (I) S5C3 (14.0-14.5)	2.5 3/4/5 6.5 4/5/10 15.0 5/10/11	-	DPSH2 Lat. 38.912078° Long. 17.028172°	ST5 Lat. 38.912189° Long. 17.028726°	ST5 Lat. 38.912189° Long. 17.028726°

Le prove eseguite sono state:

- n. 5 sondaggi a rotazione (carotaggio continuo)
- n. 13 S.P.T. (*Standard Penetration Test*) distribuite sui n. 5 fori di sondaggio a varie profondità;
- n. 12 campioni di terreno indisturbati/rimaneggiati prelevati a varie quote da sottoporre ad analisi di laboratorio
- n. 4 DPSH Penetrometrie Dinamiche Super Pesanti, ubicate secondo TAV B.03B (Stazioni ST2,ST3, ST4,ST5)
- n. 1 prove Down – Hole eseguita secondo TAV B.03B (Stazione ST1)
- n. 5 Stendimenti sismici superficiali a rifrazione, ubicate secondo TAV B.03B (Stazioni ST1, ST2, ST3, ST4, ST5)
- n. 4 Stendimenti sismici superficiali MASW, ubicate secondo TAV B.03B (Stazioni ST2, ST3, ST4, ST5).

Oltre alle indagini sopra elencate sono state eseguite n. 2 campagne geofisiche per l'acquisizione di informazioni circa le criticità riscontrate alla radice della banchina molo sopraflutto (Stazione ST2, vedi TAV B.03B) e per approfondimenti circa le litologie presenti sui fondali all'interno del molo peschereccio e della darsena turistica ai fini del dragaggio per aumentare il pescaggio resosi difficile per l'insabbiamento. Vengono di seguito elencate le tipologie di prove svolte:

- n. 1 Stendimento Georadar GPR (*Ground Penetrating Radar*), ubicato come riportato in TAV B.03B (Stazione ST2)
- n. 1 campagna acquisizione *line drawing* con SBP (*Sub Bottom Profiler*) in bacino pescherecci e darsena turistica, secondo navigazioni riportate in TAV B.03B.

L'esecuzione e direzione delle indagini è stata affidata alla ditta aggiudicatrice della GIA CONSULTING S.r.l. viale degli Astronauti, 80131 Napoli (NA) che ha provveduto alla corretta gestione delle attività secondo i contenuti del piano indagini, procedendo alla redazione delle stratigrafie e dei certificati di prova, alla raccolta dei dati e degli elaborati sintetici descrittivi delle attività.

I n. 5 carotaggi sono stati eseguiti per una profondità di max 40 m dal p.c. a mezzo di una sonda a rotazione Atlas Copco Mustang 9-T3 di 1200 kgm di coppia, adottando la tecnica della conservazione del nucleo per tutto lo spessore indagato, con l'ausilio di tubi carotieri semplici tipo T2 e uso di corone in widia aventi diametro pari 101 mm con lunghezza di 2.0 metri; le manovre sono state eseguite anche con l'ausilio di fluidi di perforazione e con aste di perforazione di diametro 76 mm, lunghezza 3.0 metri (vedi Figura 7.1):



Figura 7.1 Impianto cantiere di perforazione in Stazione ST5 (carotaggio S5)

L'ubicazione dei carotaggi è stata scelta sulla base delle indicazioni contenute nel piano indagini, nei punti ritenuti più significativi per la caratterizzazione degli strati di terreno del sito.

Durante l'avanzamento in profondità sono stati prelevati sul totale dei carotaggi n. 12 campioni indisturbati e rimaneggiati alle diverse profondità prestabilite nel piano indagini. In fase di discesa del carotaggio inoltre, si è più volte misurato il livello di profondità della falda, con freatimetro sonoro.

Le carote estratte sono state appositamente collocate nelle cassette catalogatrici e descritte in tutte le loro caratteristiche geologiche e geotecniche, come riportati negli allegati stratigrafici.

I campioni indisturbati sono stati prelevati tramite campionatori a pareti sottili (tipo Shelby – diam. 80 mm) infissi a pressione mentre il prelievo dei campioni rimaneggiati è stato eseguito a mano e la conservazione in contenitori trasparenti a chiusura ermetica (v. Figura 7.2); successivamente alla raccolta, i campioni sono stati inviati al laboratorio terre specializzato ILAG S.r.l. via Terracina, 169/d 80125 Napoli (NA) per essere sottoposti alle prove indicate nel piano.



Figura 7.2 Particolare di cassette catalogatrici e campioni indisturbati in fustelle (tipo Shelby)

Durante la discesa del carotaggio, inoltre, sono state eseguite in totale *n.* 13 SPT utilizzando la seguente attrezzatura (vedi Figura 7.3)

- Massa battente di peso pari 63.5 Kg, con l'altezza di caduta uguale a 762 mm, munita di dispositivo automatico di sganciamento;
- Aste collegate al campionatore aventi peso pari a 6.5 Kg/ml;
- campionatore tipo Raymond, apribile longitudinalmente, diametro \varnothing_{est} 50.0 mm e \varnothing_{int} 35.0 mm, lunghezza utile 630 mm, munito di valvola a sfera alla sommità e con utensile di avanzamento costituito da punta conica.

Le prove sono state eseguite facendo riferimento alla normativa ASTM n° D. 1586/68 (Standard Penetration and Split-Barrel Sampling of Soil).



Figura 7.3 Esecuzione di prova SPT in sondaggio S5

A distanza dai punti di carotaggio sono state seguite prove DPSH con strumento DPSH TG-63 200 PAGANI con le seguenti caratteristiche:

- punta conica avente area base cono $A = 20 \text{ cm}^2$ ed angolo di apertura di 90° ;
- maglio dal peso di 63.5 kg;
- altezza di caduta 75 cm;
- avanzamento $\delta = 20 \text{ cm}$;

L'avanzamento è stato eseguito fino alla max discesa consentita (12-15 metri dal p.c.); i punti di indagine sono stati scelti in modo da estendere l'investigazione delle caratteristiche litostratigrafiche e litotecniche ai volumi di terreno significativi per l'interazione con le strutture previste.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica ha consentito di ispezionare il suolo attraversato con un'immagine in continuo (istogramma di avanzamento) e di avere un raffronto sulla consistenza dei vari livelli attraversati, oltre a permettere di ricavare indirettamente una caratterizzazione stratigrafica.



Figura 7.4 Posizionamento sonda TG-63 200 Pagani per esecuzione prova DPH1

Per avere informazioni sulla struttura del sottosuolo anche nelle aree non raggiunte dai sondaggi meccanici la cui conoscenza è indispensabile per le finalità del progetto, sono state eseguite n° 5 prove sismiche a rifrazione Srif in tutte le n. 5 stazioni di indagini, n. 4 prove Masw nelle stazioni ST2, ST3, ST4, ST5 e n. 1 prova Down Hole in ST1.

L'attrezzatura utilizzata è di seguito descritta: *sistema di acquisizione dati con memoria dinamica a 24 bit composto da 24 data loggers a 4 canali ciascuno per un totale di 96 canali, sismografo multicanale M.A.E. modello X 820 S* (vedi Figura 7.5).

Dall'incrocio dei risultati delle stratigrafie e la down-hole, per la taratura si è potuto ricostruire l'andamento lito-stratigrafico e l'andamento delle coperture di alterazione e del relativo substrato di tutte le opere d'interesse.

Tali indagini, inoltre, hanno permesso di individuare discontinuità eventualmente presenti nel sottosuolo e di definire lo spessore della copertura.

In alcune stazioni di indagine, dove non è stata programmata l'esecuzione delle prove Down-Hole, per poter conoscere la categoria di suolo del terreno interessato dalle opere, così come richiesto dall'O.P.C.M. 3519/2006 e s.m.i. e D. M. 17.01.2018, si è proceduto all'esecuzione di prospezioni geofisiche del tipo MASW (*Multichannel Analysis Surface Waves*) in n. di 4, posizionate nelle seguenti stazioni: ST2, ST3, ST4, ST5.

L'indagine permette la misurazione delle Vs nei primi 30 metri di terreno per cui, rende possibile l'individuazione delle Vsh,30 lungo la linea investigata e di conseguenza permette di stabilire la categoria di suolo (ai sensi del D.M. 17.01. 2018) a cui appartiene il terreno interessato al progetto.

L'ubicazione degli stendimenti sismici è riportata in planimetria TAV B.03B.

Nel foro di sondaggio S1, a fine foro, per consentire l'esecuzione della prova Down Hole si è proceduto all'allestimento del rivestimento in PVC del diametro interno di circa 80 mm, opportunamente cementato, in modo da essere solidale con le pareti del foro.

Ulteriori approfondimenti sulla strumentazione, accessori e modalità esecutive della prova sono riportati

negli appositi elaborati "Indagini geognostiche e geotecniche eseguite", allegati ai documenti di progetto.

La prova Down Hole ha consentito di integrare la conoscenza della stratigrafia del sottosuolo con particolare riferimento al comportamento sismico dei litotipi che compongono i terreni di copertura fino al bedrock.

I risultati ottenuti sono stati utilizzati per individuare attraverso la Vsh30, la categoria di suolo corrispondente secondo quanto indicato nel D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche delle Costruzioni".



Figura 7.5 Esecuzione prova Down Hole (a sinistra) e sismica a rifrazione (a destra) su Stazione ST)

Con la tecnica GPR (Ground Penetrating Radar) è stato possibile indagare i primi metri del sottosuolo tramite la riflessione delle onde elettromagnetiche nel terreno senza l'effrazione del sottosuolo n. 1 stendimento alla radice del molo sopraflutto composto da n. 6 swatch paralleli alla banchina e n. 9 ortogonali alla stessa.

Ditta esecutrice: GIA CONSULTING S.r.l. viale degli Astronauti, 80131 Napoli (NA).

L'attrezzatura utilizzata *GeoRadar Stream C Advanced 32 antenne a 600 MHz con doppia polarizzazione (23VV+9HH)*, *GPS Differenziale Leica Zeno GG04*, *software Gred HD 3D CAD* ha consentito la copertura, con un solo passaggio sul terreno, su di una porzione di sottosuolo di circa 1.0 m e con scansioni adiacenti è stato possibile ottenere una copertura totale dell'area (GPR 3D).

Con la tecnica SBP (Sub Bottom Profiler) sono stati restituiti i profili sismo-acustici relativi ai fondali della darsena turistica e del molo pescherecci.

Ditta esecutrice: GEONAUTICS S.r.l. via N. Paganini, 9 92100 Agrigento (AG)

Tipo di attrezzatura utilizzata: *Autonomous Surface Vessel ASV Geodrone marino e strumentazione accessoria (sistema DGPS, sonda CTD/SVP, software di navigazione, Generatore inverter (vedi allegati elaborati indagini)*

Per restituzione di profili sismo-acustici da n. 56 navigazioni (line drawing) che hanno consentito di estendere l'andamento delle strutture geologiche all'intero bacino portuale

L'ubicazione della stesa GPR e delle navigazioni mediante SBP sono riportati in TAV B.03B.

8 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Le prove di laboratorio sono state eseguite dal laboratorio incaricato ILAG S.r.l. (Autorizzazione Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 274 del 07.06.2018, rif. art. 59 del D.P.R. n. 380 del 06.06.2001) secondo indicazioni contenute nel piano indagini e facendo riferimento alle Normative e alle Raccomandazioni come indicate sui certificati di prova.

Di seguito si riassumono nella seguente tabella riepilogativa le prove eseguite in laboratorio:

Tabella 8.1 Prove eseguite

Camp.	Prof. (m dal p.c.)	Caratter. fisiche generali	Peso specifico dei grani	Analisi Gran. Sed.+Set.	Analisi Gran Set.	Limiti Atterberg	Prova Taglio Diretto CD	Prova TX UU	Prova TX CIU	Prova Uniass. ELL	Prova ED
S1-C1	16.0- 16.5	X	X	X	-	X	-	-	X	-	X
S1-C2	25.0- 25.5	X	X	X	-	X	-	X	-	-	-
S1-C3	35.0- 35.5	X	X	X	-	X	-	-	-	X	-
S2-C1	4.0- 4.5	X	X	-	X	-	X	-	-	-	-
S2-C2	11.5- 12.0	X	X	-	X	-	X	-	-	-	-
S3-C1	5.0- 5.5	X	X	-	X	-	X	-	-	-	-
S3-C2	11.5- 12.0	X	-	-	X	-	X	-	-	-	-
S4-C1	6.0- 6.5	X	X	X	-	X	-	-	X	-	X
S4-C2	9.5- 10.0	X	-	X	-	X	-	-	-	X	-
S5-C1	2.0- 2.5	X	X	X	-	X	-	-	X	-	X
S5-C2	6.0- 6.5	X	X	X	-	X	-	-	-	X	-
S5-C3	14.0- 14.5	X	-	X	-	X	-	-	-	X	-
Totale prove		12	9	12	4	8	4	1	3	4	3

L'interpretazione dei dati acquisiti a seguito dell'esecuzione delle indagini geognostiche e geotecniche, per come indicate dal piano indagini messo a base di gara per la restituzione di servizi propedeutici alla progettazione definitiva-esecutiva, ha permesso di ottenere, tramite il completamento delle informazioni acquisite dalla caratterizzazione geologica preliminare, gli elementi necessari ad esprimere un giudizio circa

la compatibilità geologica delle opere previste, eventuali condizionamenti nella fattibilità e individuare le osservazioni/prescrizioni/suggerimenti per una corretta esecuzione delle opere.

Di seguito si elencano gli elaborati analizzati e fatti recapitare al sottoscritto progettista geologo:

- report indagini delle indagini geofisiche, geognostiche e di laboratorio geotecnico – Porto Regionale Le Castella, pagine 224, data acquisizione 23.10.2020, autore GIA CONSULTING S.r.l.
- risultati prove geotecniche di laboratorio, pagine 110, data acquisizione 23.10.2020, autore ILAG S.r.l.
- report indagini geognostiche porto Le Castella, pagine 14, data acquisizione 17.09.2020, autore GEO.MAT.s.n.c Isola di Capo Rizzuto (sb. Aff. GIA CONSULTING S.r.l.)
- Indagine geofisica con strumentazione Georadar, pagine 15, data acquisizione 23.10.2020, autore GIA CONSULTING S.r.l.
- MD7540-RTC_P1575_20_Le Castella_SBP_Allegato 1_Chart_R00, pagine 1
- MD7540-RTC_P1575_20_Le Castella_SBP_Allegato 2_SBP_Atlante profili sismici_R02, pagine 59
- MD7540-RTC_P1575_20_Le Castella_SBP_Allegato 3_Schede-tecniche_R00, pagine 10
- MD7540-RTC_P1575_20_Le Castella_SBP_Allegato 4_DPR_R00, pagine 7
- MD7540-RTC_P1575_20_Le castella_SBP_R00, pagine 32
- Profili interpretativi allegati su base .jpg, .pdf, .dxf, .dwg, autore GEONAUTICS S.r.l. data acquisizione 23.10.2020

9 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO GENERALE

La struttura portuale di Le Castella ricade nella parte sud-orientale del bacino sedimentario crotonese, all'estremità di una vasta area geologicamente composta da un substrato argilloso sul quale si sono depositati in discordanza sedimenti di terrazzo marino di natura calcarenitica (rif. ISPRA Servizio Geologico d'Italia - Carta geologica Foglio n. 577 Isola Capo Rizzuto, v. Fig. 3)

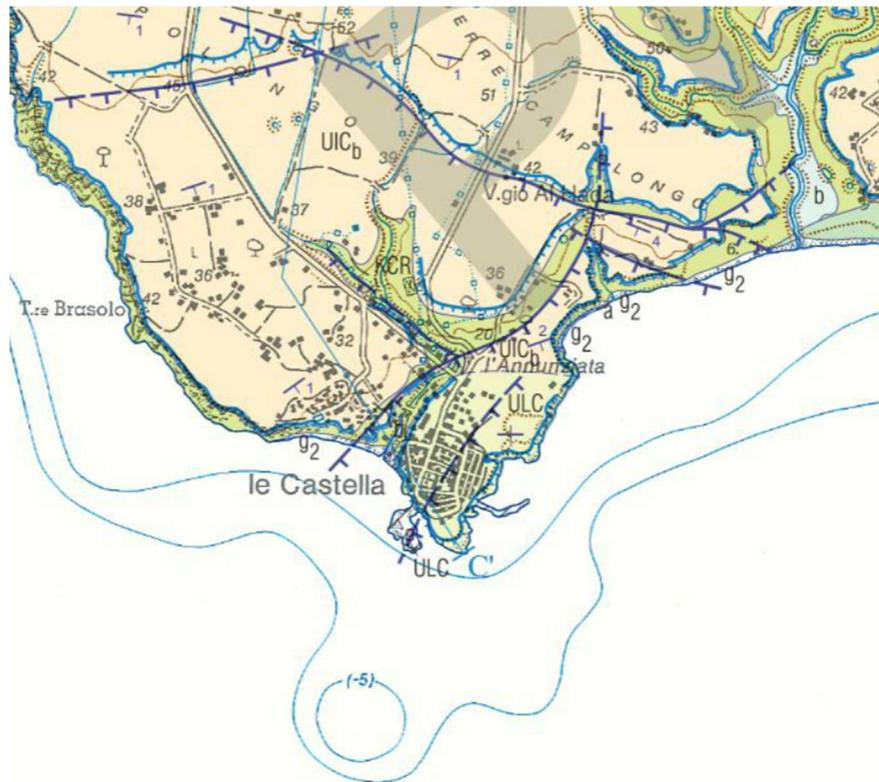


Figura 9.1 Rappresentazione cartografica (ISPRA) delle formazioni geologiche presenti nell'area portuale di Le Castella

La successione geologica interagente con le opere da realizzare è di seguito rappresentata con visione dal basso verso l'alto:

- **Argille marnose (formazione di Cutro); (Pliocene medio superiore – Calabriano)**

La formazione argilloso-marnosa rappresenta il substrato della zona che si estende fino a 1000 m di profondità (sigla KCR); è costituita da argille, argille marnose e siltiti da grigie a brune fossilifere di colore grigio azzurro con presenza di fossili (es. *Globorotalia crassaformis*), con stratificazione non sempre evidente e a volte intercalati dei livelli sabbiosi di colore grigio; a nord, lungo la linea di costa, affiora poco oltre la darsena a costituire la base della falesia (zona Annunziata). Il litotipo rappresenta il substrato compatto sul quale si sovrappone lo spessore arenaceo del terrazzo marino;

La formazione in superficie è interessata da fenomeni di alterazione, con fratture che diminuiscono in persistenza con la profondità.

La massa argillosa di superficie presenta un aumento della frazione limosa e sabbiosa per i prodotti colluviali provenienti dallo smantellamento della formazione sabbioso-arenacea del terrazzo marino.

Le acque di infiltrazione possono interessare la parte a contatto con la formazione arenacea del terrazzo marino posto alla sommità rendendo la massa argillosa poco consistente.

I fenomeni di ossidazione, maggiormente concentrati in superficie, concorrono alla colorazione avana e, a volte, varicolori.

- **Depositi marini terrazzati (sintema di Le Castella); Neotirreniano**

La formazione è composta da depositi di natura biocalcarenitica con resti di coralli e noduli algali dal grado di cementazione variabile e che passa in profondità a una calcarenite fossilifera costituita da sabbie calcaree ben cementate a volte con una forte presenza fossilifera (es. *Ostrea edulis*, Coralli, Briozoi, noduli algali); questi depositi arenaceo – sabbiosi caratterizzano l'intero sviluppo del bacino portuale e presenta notevoli variazioni verticali e orizzontali di facies per cui risulta difficile o quasi impossibile correlare i vari tipi litologici costituenti la formazione nel suo complesso (vedi Figura 9.2)



Figura 9.2 Affioramento delle calcarenite biocostruita alle pareti del piazzale darsena turistica lato nord-ovest

Le litologie cartografate sono in gran parte costituite, dal basso verso l'alto, da una biocalcarenitica, in parte biocostruita, passante verso l'alto ad arenarie e sabbie.

Alla base è presente un livello conglomeratico in discordanza con la parte alterata delle argille del substrato. Lo spessore max è di circa 7-8 m nella parte massiva ma che si può estendere anche a 15 m includendo gli strati sabbiosi di base. In cartografia viene indicato con la sigla ULC.

Lungo il bacino portuale la formazione si presenta in sommità con una coltre a diverso grado di alterazione dallo spessore variabile tra i 3-5 m; questi formano prodotti eluviali/colluviali originatisi dall'arretramento e disfacimento della originaria falesia del terrazzo marino che si dispongono lungo la morfologia più o meno acclive. Generalmente la coltre di alterazione è caratterizzata nella parte sommitale da terreni sabbiosi misti a blocchi arenacei relitti del disfacimento dell'orlo di terrazzo, che lungo la costa sono a luoghi stabilizzati dall'azione del moto ondoso e del vento sotto costa; questi terreni, a luoghi sono ricoperti da esigui spessori di prodotti del dilavamento superficiale (colluvi) rappresentati da sabbie e occasionalmente argille (zona a monte della darsena turistica).

Il deposito sfuma in profondità, ai depositi terrazzati, o direttamente alle argille marnose del basamento.

Nell'area portuale sono presenti a monte del tratto di costa del molo pescherecci con spessori che diminuiscono procedendo verso monte. Lo spessore si assume variabile con aumento verso la linea di costa. Nell'area in esame sono presenti blande episodi di depositi sabbiosi di spiaggia maggiormente concentrati nei pressi della radice del molo sopraflutto (molo pescherecci).

Si rappresenta di seguito una sezione rappresentativa dell'assetto geo-strutturale di Le Castella e i rapporti giacitureali tra le formazioni rappresentate (KCR – Formazione delle Argille Marnose di Cutro e ULC – Depositi terrazzati marini terrazzata del VI ordine).

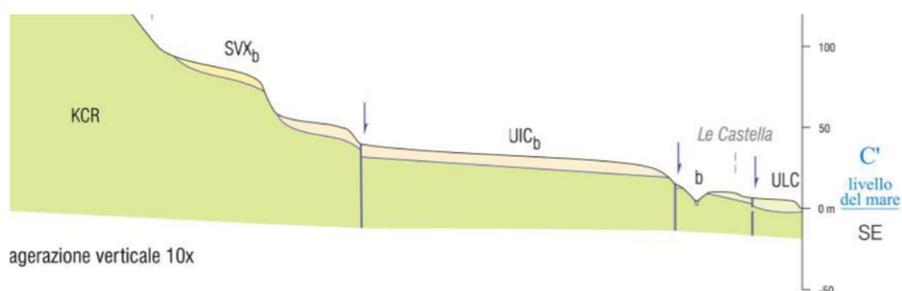


Figura 9.3 Sezione rappresentativa delle formazioni geologiche presenti nell'area portuale di Le Castella

9.1 Geomorfologia

La struttura portuale di Le Castella è situata alla base di un terrazzo marino costituito da rocce arenacee formatesi tra 70.000 e 50.000 anni fa, nel Pleistocene superiore (Neotirreniano-Eutirreniano), e costituivano in quel periodo il deposito sabbioso di spiaggia.

L'ambiente litoraneo, a seguito dell'azione del mare e del sollevamento tettonico dell'area, subisce tuttora continui cambiamenti, con conseguente oscillazione della linea di costa.

L'ambito geomorfologico significativo dell'area di progetto si estende al un lembo di terrazzo morfologico tabulare che si protrae verso mare a costituire il bordo esterno della falesia.

L'attuale conformazione morfologica dell'area portuale, oltre ad essere il risultato ad opera dell'azione antropica, è il risultato di movimenti verticali quaternari che hanno portato alla formazione di faglie normali secondo la direzione NE-SO e SE-NO, dislocando sia i termini argillosi del substrato sia i terrazzi morfologici di abrasione marina posti in trasgressione che si estendono fino all'attuale linea di costa (v. Figura 9.4). Il sito in esame si colloca nel terrazzo del VI ordine.

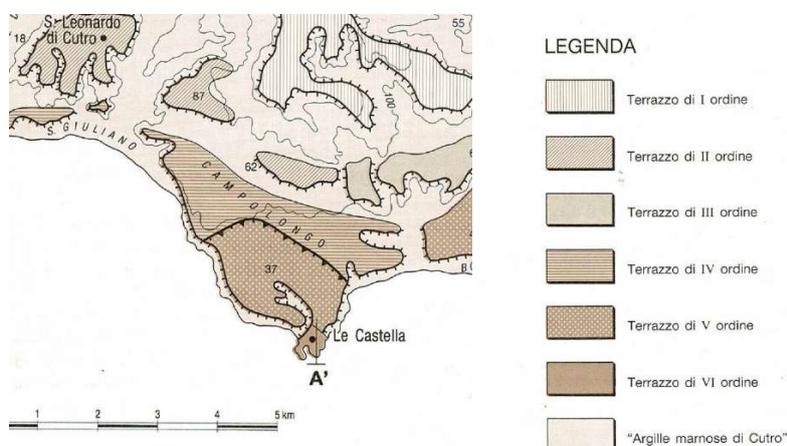


Figura 9.4 Rappresentazione schematica dei terrazzamenti marini

9.1.1 Analisi e descrizione delle forme o processi legati alla dinamica dell'erosione costiera e/o dei versanti

Sulla base della direzione predominante dei venti e, quindi, di propagazione del moto ondoso nonché dei loro effetti efficaci sul grado di erosione della particolare litologia affiorante si sono andate via via delineando forme di erosione sulle coste più o meno spinte: a nord, località Annunziata si delinea una tipica costa ripida a falesia mentre a sud molo pescherecci si contraddistingue una costa bassa che degrada dal bordo terrazzo verso la linea di costa di un mare poco profondo.

La configurazione morfologica alterna tratti di falesia a tratti di scogliera bassa che si raccordano con fondali dalla batimetria modesta, con l'isobata 10 che viene superata mediamente a 150 m dalla linea di costa e con approfondimento della scarpata sommersa procedendo verso sud ovest (capo Lacinio).

Le forme presenti sono il risultato del prodotto di una vasta azione erosiva che ha formato diverse tipologie di scogliera.

I fondali prospicienti il tratto di costa del porto pescherecci è composto da scogliere di erosione prossime alla riva, costituite da agglomerati rocciosi di dimensioni variabili tra qualche decimetro ad alcuni metri, derivanti dall'erosione della panchina franata.

Lungo il tratto di costa a nord (zona anfiteatro), il fondale passa a scogliere di tipo tettonico, caratterizzato da blocchi di notevoli dimensioni dovuto al lento sprofondamento della panchina.

I fenomeni erosivi della costa sono favoriti dalla vastità dei fenomeni di bradisismo positivo a cui è sottoposta l'area di studio.

La forte azione erosiva sui lastroni della panchina ha prodotto le varie dimensioni dei blocchi che oggi si osservano disseminati tra la zona di fondale sommerso a diverse batimetrie, semisommersa sia a riva che sulle secche, che affioranti generalmente prossime alla riva.

Il fondale della darsena turistica, di origine antropica, si è formato per approfondimento della vecchia cava fino al rinvenimento della formazione argillosa di base.

si presenta, fangoso misto a sabbia con un pescaggio non sufficiente ad ospitare le imbarcazioni.

Il tratto di costa oggetto di studio è caratterizzato da una alta fragilità morfologica. Studi sull'arretramento costiero hanno evidenziato che già nel 1870 la linea di costa coincideva con l'attuale isobata 10.

9.1.2 Analisi e ricostruzione degli aspetti e dei processi morfologici e i dissesti in atto o potenziali e la loro tendenza evolutiva

I principali elementi morfologici sono costituiti da falesie soggette a fenomeni di dissesto nelle zone di ciglio e da una intensa capacità erosiva delle onde alla base, lungo la linea di costa. Dai segni evidenti presenti nei luoghi di studio si può facilmente evidenziare che vi è una erosione spinta e diffusa su tutta la costa, maggiormente nei punti dove è concentrata l'energia del moto ondoso. Fenomeni di scalzamento, crollo e ribaltamento della falesia sono generalizzati su tutta la costa alta e nelle zone interne della darsena turistica interessate dai tagli per l'allargamento della struttura portuale; qui i litotipi a contatto (calcareniti sovrapposte a terreni argillosi) determinano uno scalzamento alla base della parete rocciosa e, conseguentemente, il crollo dell'ammasso soprastante (vedi Figura 9.2)

Il bacino portuale appare come il risultato di un'intensa antropizzazione che ha determinato principalmente a nord, in corrispondenza della darsena turistica, la quasi eliminazione dei segni geomorfici naturali a causa dell'approfondimento dell'originario piano campagna impostato nel piazzale di una cava di tufo, mentre a sud il prolungamento del molo sopraflutto ne caratterizza la diga foranea ricavata dalla posa di una massicciata. Le quote sono comprese tra 1 – 9 m s.l.m.

Le litologie presenti (arenarie, calcareniti e biocalcareniti) sono caratterizzate da una notevole variabilità

laterale di facies e da una resistenza all'erosione da discreta a bassa in funzione del grado di cementazione, passando in profondità alle argille marnose dalla scarsa resistenza all'erosione.

I rilievi di superficie, indirizzati alla individuazione dei caratteri geologici-geomorfologici di superficie sono state riscontrate le criticità di seguito esposte:

Nella parte nord della struttura portuale, oltre la darsena, sono presenti abbassamenti, ondulazioni della superficie; lungo il declivio sono presenti scoscendimenti, segni evidenti che vi è in atto una intensa attività erosiva che si manifesta in lenti movimenti di detrito per lo scalzamento e arretramento del ciglio che seguita parallelo alla stradina (zona Annunziata); questi fenomeni sono dovuti alla degradazione della formazione arenaceo-sabbiosa facilmente disaggregabile per la mancanza di cementazione, principalmente per le acque superficiali che dilavano il pendio. Lungo le pareti che delimitano il fronte dell'incavo della darsena, nelle vicinanze del muro di contenimento, è possibile seguire i segni dell'azione erosiva sulla calcarenite posta in affioramento che si espleta soltanto in blande colate di detrito. Procedendo verso sud le pareti dell'incavo si presentano stabili e con bassissima persistenza nella fratturazione

Sul pavimento della darsena non sono presenti dissesti in atto, segno che l'opera di piazzale poggia su un terreno arenaceo consistente.

A sud, lungo la diga foranea, i segni di locali distacchi lungo il coronamento del muro paraonde sono da collegare all'energia del moto ondoso e non attengono alla tenuta del corpo diga.

Nella zona di radice del molo sopraflutto sono presenti locali cedimenti, fratture nel pavimento in cemento che sono da collegare a distacchi tra i due corpi costituenti la banchina (massi in cemento) per le infiltrazioni di acqua che sono veicolate dalla sede di sottoservizi; conseguentemente si formano fenomeni di sifonamento alla base, al contatto tra la massicciata e i massi in cemento (vedi Figura 7.6).

Il dissesto sopra descritto interessa anche un tratto di banchina posta al centro del molo.

Lungo la strada di lungomare che costeggia la struttura portuale, in zona nord antistante la darsena turistica, si evidenzia verso monte una piccola rottura di pendenza che si esaspera rendendosi ancor più evidente nei pressi della stradina sterrata di collegamento. Il ribassamento della superficie è presumibilmente collegabile ad una lineazione tettonica di ordine secondario dovuta alla dislocazione del terrazzo morfologico del V ordine – VI ordine (zona Annunziata).

Dagli accertamenti visivi eseguiti si sintetizza che l'opera di "Potenziamento infrastrutturale e messa in sicurezza al porto di Le Castella" si realizzerà in un'area relativamente stabile in cui concorrono le dinamiche erosive della fascia litoranea a diretto contatto con il mare e il moto ondoso sotto costa.

La fragilità delle opere portuali e la loro inadeguatezza rendono molto evidenti le trasformazioni degli equilibri geologici in atto, per cui le opere di progetto sono da considerarsi ben rispondenti alle finalità di miglioramento ed efficientamento per una sicura e duratura fruizione del porto.

9.1.3 Idrogeologia

Il sito oggetto di studio ricade all'interno del bacino costiero coincidente con l'andamento morfologico del terrazzo. Le linee preferenziali di deflusso superficiale sono poco presenti se si esclude la parte a monte della darsena turistica mentre i dilavamenti seguono un percorso impostato secondo la linea di massima pendenza che in quest'area assume all'incirca andamento SSO - NNE e coincide con la direzione di massima immersione della tavola sedimentaria calcarenitica, formando localmente sistemi di drenaggio a permeabilità maggiormente secondaria per via dell'intensa fratturazione; qui si impostano preferenzialmente laddove questo risulta notevolmente fratturato e dislocato a blocchi per cui presenta una buona permeabilità ed una elevata infiltrazione efficace.

Le acque di precipitazione si infiltrano nel sottosuolo dopo ruscellamento per brevi tratti e si organizzano con deflussi sotterranei che assumono direzione secondo il locale andamento dell'interfaccia argilla -

calcarenite, prevalentemente NNE -SSO.

Nel sito in esame le acque che si infiltrano nel sottosuolo vanno ad alimentare una falda che ha sede nei meati e nelle fessure presenti nella calcarenite, fino a saturare lo strato sabbioso fine posto più superficialmente, impegnando generalmente spessori di terreno variabili durante le stagioni.

L'assetto idrostratigrafico è caratterizzato dai **depositi sabbiosi - conglomeratici del terrazzo marino e dai depositi argillosi del substrato**.

Nel sito di studio (a terra) per i primi 7-8 m di profondità è presente e allo spessore arenaceo, a luoghi litoide, della formazione del terrazzo marino. La matrice prevalentemente litoide (blocchi calcarenitici), si trova a luoghi in eteropia con livelli arenacei variamente cementati e la frazione sabbiosa sciolta.

La permeabilità varia da valori medio-alta per porosità primaria, alta nei depositi grossolani e vacuolari o con debole cementazione. Localmente, nelle zone di fratturazione e/o degradazione la permeabilità è elevata per fessurazione

L'elevata fratturazione localmente facilita l'infiltrazione, costituendo così un buon permeabile verticale e orizzontale. La permeabilità aumenta procedendo con la profondità.

Il litotipo, per le sopra citate caratteristiche, costituisce un acquifero dalle buone potenzialità (spessori drenanti di max 5 m).

Il complesso idrogeologico delle argille siltose è da considerarsi in sostanza impermeabile (coefficiente di permeabilità di 10^{-7} m/s). Una limitata circolazione idrica per imbibizione può verificarsi nella porzione superficiale fessurata del litotipo fino a profondità limitate ed in concomitanza di eventi meteorici di una certa intensità.

Nelle aree poste a nord della darsena turistica si passa dallo spessore costituente il suolo geopedologico in cui la permeabilità si presenta da bassa a discreta ($10^{-5} < k \text{ (cm/sec)} < 10^{-3}$) per la presenza della frazione limosa (miscela di sabbie e limi con occasionale ghiaia), allo spessore profondo in cui assume valori elevati ($10^{-1} < k \text{ (cm/sec)} < 10$) per la presenza della frazione sabbiosa sciolta e della calcarenite fratturata (miscela di sabbie e ghiaie

Nell'area a terra di pertinenza della struttura portuale non sono state riconosciute falde acquifere, sorge in genere.

9.2 Caratterizzazione e modellazione geologica del sito

Dai dati provenienti dal rilevamento geologico di dettaglio unitamente ai risultati delle indagini geognostiche e geotecniche, è stato possibile ricostruire dell'assetto litostratigrafico e delle successioni litotecniche contenute nel volume e superficie significativa per profondità di 30-40 m ritenute sufficienti per definire le interazioni delle strutture da realizzare con l'assetto geologico-geomorfologico-geosismico e geomeccanico interessate dal progetto, dalle cui proprietà geomeccaniche dipende l'equilibrio geostatico e geodinamico delle opere che si andranno a realizzare.

9.2.1 Stratigrafia geologica

Le indagini geognostiche hanno evidenziato che è presente una tipica successione di terreni sedimentari di terrazzi di abrasione marina dallo spessore di 7-8 m con estensione anche a 10-15 m nella porzione sabbiosa di base e crescente verso l'imboccatura del porto, passanti in profondità ad argille marnose del substrato.

Dal punto di vista macroscopico la granulometria dei terreni rappresentativi della superficie e volume significativo delle n. 5 stazioni di indagini è costituita prevalentemente da sabbie e calcareniti passante in

RELAZIONE GEOLOGICA

profondità ad argilla presentando, a luoghi, variazioni anche in senso laterale nelle percentuali delle componenti granulometriche e la presenza di componente organica. Lo stato di addensamento è, in generale, variabile con la profondità con blande diminuzioni della resistenza in prossimità dell'interfaccia tra le varie litologie, di livelli sabbiosi sciolti e al passaggio zona insatura/satura.

Sulla base dei risultati delle indagini è stato possibile ricostruire in dettaglio la successione litostratigrafica in corrispondenza delle stazioni di indagine (ST) in cui sono previsti gli interventi di sistemazione e/o nuova costruzione per il potenziamento della struttura portuale.

Per ogni stazione di indagine è stato ricostruito l'andamento degli strati litologici rappresentativi del sottosuolo che interagirà con le opere da realizzare, comprendenti il sottosuolo dell'intero sviluppo dei moli, delle banchine e dei fondali di pertinenza.

La tecnica utilizzata è stata la seguente: esecuzione di carotaggio nel punto centrale della stazione, estensione dell'informazione ad aree contermini mediante indagine indiretta (sismica a rifrazione/masw e DPSH).

I dati ottenuti sono stati estesi ai fondali marini prospicienti i moli tramite ancoraggio dei dati ricavati dalla prospezione SBP (Sub Bottom Profiler)

Di seguito vengono descritte le stratigrafie geologiche di ogni singola stazione ST.

Stazione ST1 (quota + 1.8 m s.l.m.) Coordinate (38.908288° - 17.028702°)

<i>Prof (m)</i>	<i>Descrizione stratigrafica</i>	<i>Litologia</i>
0.0 – 1.2 m	Ghiaia e ciottoli metamorfici in cemento magro (Materiale di riporto- banchina portuale)	Terrapieni, massicciate di base (opere marittime)
1.2 – 5.0 m	Ciottoli e blocchi calcarenitici, a luoghi fortemente cementati, in matrice ghiaioso-sabbiosa, colore giallastro (Materiale di riporto – Pietrame di base)	
5.0 – 11.8 m	Calcarenite variamente cementata con livelli ghiaioso-sabbiosi, colore giallastro, presenza di macrofossili	Deposito calcarenitico-arenaceo del terrazzo marino
11.8 – 14.0 m	Sabbia ghiaiosa, colore grigio molto addensata -conglomerato di base-	
14.0 – 40 m	Argilla limosa colore grigio, con a luoghi noduli e venature carboniose, fossili lamellibranchi, da molto consistente a dura con la profondità	Formazione Argille marnose di Cutro Argille limose del substrato

Stazione ST2 (quota + 1.2 m s.l.m.) Coordinate (38.907802° - 17.025679°)

Prof (m)	Descrizione stratigrafica	Litologia
0.0 – 0.6 m	Ghiaia e ciottoli metamorfici in cemento magro (Materiale di riporto - banchina portuale)	Terrapieni, massicciate di base (opere marittime)
0.6 – 2.5 m	Ciottoli e blocchi calcarenitici, a luoghi fortemente cementati, in matrice ghiaioso-sabbiosa, colore giallastro (Materiale di riporto – Pietrame di base)	
2.5 – 6.0 m	Calcarenite variamente cementata con livelli ghiaioso-sabbiosi poco addensati, colore giallastro, presenza di macrofossili	Deposito calcarenitico-arenaceo del terrazzo marino
6.0 – 15.0 m	*Sabbia ghiaiosa, colore giallastro, poco addensata	
15.0 – 30.0 m	*Argilla limosa colore grigio, con a luoghi noduli e venature carboniose, fossili lamellibranchi, da molto consistente a dura con la profondità	Formazione Argille marnose di Cutro Argille limose del substrato

*A partire dalla prof. di 12.0 m l'informazione è stata desunta dall'ancoraggio tra I risultati acquisiti da indagini dirette (carotaggi) ai risultati di indagini indirette (prove geofisiche SRif-Masw-SBP)

Stazione ST3 (quota + 1.5 m s.l.m.) Coordinate (38.908521° - 17.027393°)

Prof (m)	Descrizione stratigrafica	Litologia
0.0 – 1.0 m	Ghiaia e ciottoli metamorfici in cemento magro (Materiale di riporto- banchina portuale)	Terrapieni, massicciate di base (opere marittime)
1.0 – 3.5 m	Ciottoli e blocchi calcarenitici, fortemente cementati, colore giallastro (Materiale di riporto Pietrame di base) Sabbia ghiaiosa, colore grigio, poco addensata	
3.5 – 5.5 m	Sabbia ghiaiosa, colore giallastro, poco addensata	Deposito calcarenitico-arenaceo del terrazzo marino
5.5 – 7.5 m	Sabbia limosa con a luoghi ghiaia, colore da avana a grigio, poco addensata	
7.5 – 9.5 m	Calcarenite poco cementata in matrice sabbiosa poco addensata, colore giallastro, presenza di macrofossili	
9.5 – 15.0 m	*Sabbia fine colore avana, sciolta	Formazione Argille marnose di Cutro
15.0 – 30.0 m	*Argilla limosa colore grigio, con a luoghi noduli e venature carboniose, fossili lamellibranchi, da molto	

RELAZIONE GEOLOGICA

	consistente a dura con la profondità	Argille limose del substrato
--	--------------------------------------	-------------------------------------

*A partire dalla prof. di 12.0 m l'informazione è stata desunta dall'ancoraggio tra I risultati acquisiti da indagini dirette (carotaggi) ai risultati di indagini indirette (prove geofisiche SRif-Masw-SBP)

Stazione ST4 (quota + 1.4 m s.l.m) Coordinate (38.911371° - 17.028889°)

Prof (m)	Descrizione stratigrafica	Litologia
0.0 – 0.8 m	Ghiaia e ciottoli metamorfici in cemento magro (Materiale di riporto - banchina portuale)	Terrapieni, massicciate di base (opere marittime)
0.8 -2.5 m	Ciottoli e blocchi calcarenitici, a luoghi fortemente cementati, in matrice ghiaioso-sabbiosa, colore giallastro (Materiale di riporto – Pietrame di base)	
2.5 – 5.0 m	Calcarenite variamente cementata con livelli ghiaioso-sabbiosi, colore giallastro, presenza di macrofossili	Deposito calcarenitico-arenaceo del terrazzo marino
5.0 – 5.8 m	Argilla limosa varicolori, con a luoghi noduli carboniosi, mediamente consistente	Formazione Argille marnose di Cutro Argille limose del substrato
5.8 – 30.0 m	*Argilla limosa colore grigio, con a luoghi noduli e venature carboniose, fossili lamellibranchi, da molto consistente a durissima	

*A partire dalla prof. di 15.0 m l'informazione è stata desunta dall'ancoraggio tra I risultati acquisiti da indagini dirette (carotaggi) ai risultati di indagini indirette (prove geofisiche SRif-Masw-SBP)

Stazione ST5 (quota + 2.0 m s.l.m) Coordinate (38.912155°-17.027994°)

Prof (m)	Descrizione stratigrafica	Litologia
0.0 – 0.3 m	Pavimentazione in cemento precompresso con sabbia grosolana alla base (Riporto)	Terrapieni, massicciate di base (opere marittime)
0.3 – 2.5 m	Argilla limosa colore grigio, con blande venature avana, noduli carboniosi, poco consistente	
2.5 – 30.00 m	*Argilla limosa colore grigio, con a luoghi noduli carboniosi e fossili lamellibranchi, da molto consistente a dura con la profondità	Formazione Argille marnose di Cutro Argille limose del substrato

*A partire dalla prof. di 15.0 m l'informazione è stata desunta dall'ancoraggio tra I risultati acquisiti da indagini dirette (carotaggi) ai risultati di indagini indirette (prove geofisiche SRif-Masw-SBP)

L'indagine ha confermato in linea di massima i contenuti della caratterizzazione geologica eseguita per la fase preliminare della progettazione.

Vengono di seguito descritti nei caratteri litostratigrafici dei litotipi presenti nell'area di progetto riscontrati dall'analisi diretta sulle carote:

Terrapieni, massicciate di base (opere marittime):

corrispondono ai materiali utilizzati a formare il corpo diga foranea e i moli di sottoflutto, i terrapieni delle banchine per movimentazione di terreni in posto e/o con abbancamento dall'esterno.

Sono costituiti da blocchi, massi calcarenitici, a luoghi fortemente cementati, in matrice ghiaioso-sabbiosa-ciottolosa alla base (pietrame di base) per sopraelevazione della quota originaria del fondale a formare il corpo diga e in superficie da ghiaia e ciottoli metamorfici in cemento magro a formare il ripiano della banchina.

Deposito calcarenitico arenaceo del terrazzo marino:

corrisponde alla litologia del terrazzo marino costituita da una calcarenite poco cementata in matrice sabbiosa, colore giallastro, con presenza di macrofossili, in alternanza con livelli di sabbia limosa, con a luoghi ghiaia e intercalazioni di arenaria fortemente cementata. Alla base è presente un conglomerato di trasgressione (sabbia ghiaiosa) sulla superficie di abrasione marina.

Si presenta in tutte le stazioni di indagine a costituire lo strato di superficie, estendendosi a tutta la struttura portuale (continuità stratigrafica sull'intero areale di progetto).

Argilla marnosa di Cutro:

corrisponde alla litologia del basamento geologico dell'area viene di fatto confermato la sua presenza nel sottosuolo profondo dell'intera struttura portuale.

In tutte le stazioni di indagine, il passaggio ad argille di base è anticipato da una stratificazione alterata della stessa formazione dovuta all'interazione delle acque circolanti all'interfaccia con i depositi calcarenitico-arenacei del terrazzo. In alcuni punti del sottosuolo si è riscontrata la presenza, principalmente al top, di livelletti sabbiosi grigi.

Oltre le formazioni sopra riportate, la prospezione SBP (sub bottom profiler) ha permesso il riconoscimento al top dei fondali di tasche di sabbia sciolta, prodotte dall'alterazione della calcarenite in posto e distribuite dalle correnti lungo la costa. Lo spessore delle sacche è dell'ordine di max 1.0 m.

Dai rilievi geologico-stratigrafici effettuati si ipotizza che il processo di sedimentazione sia stato abbastanza regolare, con una continuità stratigrafica e le giaciture dei limiti litologici sostanzialmente sub orizzontali confermando di fatto il modello geo-strutturale della letteratura.

Le informazioni ricavate alla scala di dettaglio confermano che le successioni stratigrafiche sono continue e che i limiti formazionali si mantengono abbastanza costanti e con giacitura piano parallela che degrada verso SSO. Movimenti tettonici di basso ordine, per contro, sono stati evidenziati nei rilievi sismo-acustici SBP in alcune *line-drawing* eseguite all'imboccatura della darsena turistica, molto probabilmente collegate al sollevamento dell'area collegato alla formazione del terrazzo di Le Castella (VI ordine) dallo smembramento di quello del V ordine (Le castella-Capo Rizzuto); le evidenze dei profili propendono per azioni contenute di una faglia inversa che porta a fare risalire i depositi argillosi verso la superficie procedendo verso nord.

I meccanismi testé illustrati starebbero alla base della giustificazione della mancanza della successione calcareniti alla base del sondaggio S5, diversamente dal sondaggio S4 posizionato a circa 100 m dove sono

stati terebrati 2.5 m della stessa formazione. I rigetti verticali ipotizzati sono dell'ordine dei 2.0 – 3.0 m.

Le informazioni dedotte sono anche confermate dalla diversa risposta sismica strumentale osservata sulle argille marnose con prove Masw ST5 e ST4.

Il profilo delle velocità con la profondità restituisce per la Masw eseguita su ST5 delle caratteristiche geosismiche relativamente più scadenti che per ST4 dove la formazione argillosa è sormontata in discordanza dai depositi calcareniti del terrazzo.

10 MODELLAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI

La costruzione del modello sismo-stratigrafico è stata eseguita sulla scorta delle informazioni dedotte dalla campagna di indagine consistita in indagini geofisiche di tipo SRif- Masw-Down Hole mettendo in evidenza l'andamento in profondità i rapporti stratigrafici orizzonti sismici che presentano limiti ben netti, dividendo di fatto strati ad uguale rigidità sismica. Sono stati riconosciuti i seguenti sismostrati:

Tabella 10.1 Sismostrati del sito di progetto

ID	Sismostrato (macrostrato)	Velocità $V_{s_{med}}$ (m/sec)
1	Massicciate portuali (ghiaia, ciottoli, blocchi calcarenitici)	230 (min) – 450 (max)
2	Calcareniti (Calcareniti biocostruite arenarie, sabbie)	800 (min) – 1520 (max)
3	Argille alterate (argille marnose superficiali)	430 (max)
4	Argille marnose (substrato rigido)	1190 (min) – 1780 (max)

Le prospezioni sismiche hanno dato la possibilità di estrapolare la conoscenza delle caratteristiche sismiche all'intera area di progetto.

I risultati sismici sono stati tarati con i dati stratigrafici dei carotaggi concludendo con il pieno allineamento tra i sismostrati e gli strati geologici.

Con la prospezione SBP, inoltre, sono stati riconosciuti orizzonti sismo-acustici ascrivibili alle sacche di sabbia dei fondali; visti gli spessori rilevati (max 1 m) il dato è risultato poco rappresentativo per una modellazione sismo-stratigrafica.

Di seguito vengono rappresentati per stazione di indagini le suddivisioni in orizzonti sismici presenti nel sottosuolo:

Tabella 10.2 Descrizione dei sismostrati per stazione di indagine

ST1					
STESA SISMICA Down - Hole	SISMOSTRATO (MACRO)	Velocità media delle onde sismiche secondarie (m/s)	Spessore (m)	Strati geologici	
				Descrizione	Spessore (m)
DH S1	Sismostrato 1- Spessore ridotto di alterazione + basso grado di consistenza	233	4.0	Ghiaia, blocchi calcarenitici (Materiale di riporto)	1.2
				Massi calcarenitici, blocchi in matrice ghiaioso/sabbiosa	3.8

RELAZIONE GEOLOGICA

	Sismostrato2-elevato grado di consistenza	1521	6.5	Calcarenite, biocostruita variamente cementata, in alternanza con arenarie cementate	6.8
	Sismostrato3-medio grado di consistenza	830	5.0	Sabbia ghiaiosa -conglomerato di base-	2.0
	Sismostrato4-alto grado di consistenza	1189	15.0	Argilla siltosa e silts ultraconsistente (basamento rigido)	15.0
ST2					
STESA SISMICA	SISMOSTRATO (MACRO)	Velocità media delle onde sismiche secondarie (m/s)	Spessore (m)	Strati geologici	
				Descrizione	Spessore (m)
SRif 2	Sismostrato 1-Spessore ridotto di alterazione + basso grado di consistenza	447	2.0 – 8.0	Ghiaia, blocchi calcarenitici (Materiale di riporto)	0.6
				Massi calcarenitici, blocchi in matrice ghiaioso/sabbiosa	1.9
	Sismostrato2-medio grado di consistenza	888	10.0	Sabbia	3.5
	Sismostrato4-alto grado di consistenza	1189	> 10.0	Calcarenite, biocostruita variamente cementata, in alternanza con arenarie cementate	>6.0
ST3					
STESA SISMICA	SISMOSTRATO (MACRO)	Velocità media delle onde sismiche secondarie (m/s)	Spessore (m)	Strati geologici	
				Descrizione	Spessore (m)
SRif 3	Sismostrato 1-Spessore ridotto di alterazione + basso grado di consistenza	262	5.0	Ghiaia, blocchi calcarenitici (Materiale di riporto)	1.0
				Massi calcarenitici, blocchi in matrice ghiaioso/sabbiosa	2.5

RELAZIONE GEOLOGICA

	Sismostrato2- medio grado di consistenza	769	10.0	Sabbia	2.0
	Sismostrato3- elevato grado di consistenza	1941	> 10.0	Sabbia limosa con ghiaia Calcarenite, biocostruita variamente cementata, in alternanza con arenarie cementate Sabbia fine, avana	>6.5
ST4					
STESA SISMICA	SISMOSTRATO (MACRO)	Velocità media delle onde sismiche secondarie (m/s)	Spessore (m)	Strati geologici	
				Descrizione	Spessore (m)
SRif 4	Sismostrato 1- Spessore ridotto di alterazione + basso grado di consistenza	318	8.0	Ghiaia, blocchi calcarenitici (Materiale di riporto)	0.8
				Massi calcarenitici, blocchi in matrice ghiaioso/sabbiosa	1.70
	Sismostrato2- medio grado di consistenza	1217	10.0	Calcarenite, biocostruita variamente cementata, in alternanza con arenarie cementate	2.50
	Sismostrato4- elevato grado di consistenza	1780	> 12.0	Argilla siltosa e silts ultraconsistente (basamento rigido)	>10.0
ST5					
STESA SISMICA	SISMOSTRATO (MACRO)	Velocità media delle onde sismiche secondarie (m/s)	Spessore (m)	Strati geologici	
				Descrizione	Spessore (m)
SRif 5	Sismostrato 1- Spessore ridotto di alterazione + basso grado di consistenza	431	6.0	Pavimentazione	0.3
				Argilla limosa colore grigio, blande venature avana, alterata	2.20
	Sismostrato2- buon grado di consistenza	1422	>24	Argilla limosa colore grigio Substrato	>12.5

Dall'incrocio dei dati sismici (Down -hole, Srif, Masw) con i dati ottenuti dai carotaggi (stratigrafie ed andamento delle NSPT con la profondità) e dalle penetrometrie DPSH, si determina che il sottosuolo dell'area indagata presenta sismostrati (macrostrati) a rigidità sismica generalmente crescente con la profondità, sovrimposti sul substrato argilloso del Pliocene medio superiore- Calabriano.

In profondità, nelle stazioni di indagine ST2-ST3-ST4-ST5 non si segnalano inversioni di velocità nel profilo sismico dei sismostrati tali da essere tenute in conto in quanto non sono contemporaneamente verificate le condizioni di seguito elencate:

- *terreno rigido in profondità sovrastante un terreno soffice con un rapporto $V_s \text{ rig.} / V_s \text{ sof.} > 1.5$;*
- *differenza tra le V_s dei due terreni $> 200 \text{ m/s}$;*
- *spessore dello strato a velocità minore $> 5 \text{ m}$;*
- *V_s dello strato più rigido $\geq a 500 \text{ m/s}$.*

Non essendo soddisfatte contemporaneamente tutte le condizioni di cui sopra, per il sottosuolo significativo dell'area di progetto ST2-ST3-ST4-ST5 sono da escludere modalità di propagazione delle onde sismiche tra strati continui tali da generare amplificazioni importanti del moto del terreno.

Le condizioni di cui sopra non sono invece rispettate nel caso della stazione ST1 per la presenza dello strato sabbioso potente 5 m e dalla media rigidità, sormontato da uno strato a rigidità elevata (calcareniti del terrazzo marino) per cui l'analisi della risposta sismica locale dovrà essere condotta con approccio di livello superiore (III livello).

Di seguito si schematizzano per stazioni di indagine le inversioni di velocità non segnalate dalla strumentazione sismica (SRif – Masw) che non sono significative di generare amplificazioni per impedenza sismica in quanto non sono verificate le condizioni in elenco:

- ST2 – ST3 a profondità tra 9-13 m.

10.1 Sismicità storica e classificazione

Il sito in esame si inserisce nel contesto sismotettonico dell'arco calabro che pone in connessione strutturale la catena nord africana e siciliana delle Magrebidi a sud-ovest e quella appenninica a nord. L'arco calabro e l'associata zona di subduzione traggono origine dalla collisione tra la placca africana e quella europea avvenuta negli ultimi 70 mln di anni.

Dati geologici e geofisici suggeriscono che negli ultimi 700.000 anni l'evoluzione geodinamica dell'arco calabro è stata dominata da imponenti movimenti verticali; si tratta comunque di un sollevamento residuale legato a processi geodinamici a grande scala e solo in piccola parte a movimenti riconducibili all'attività di faglie sismogenetiche.

L'area in esame rientra nel settore centrale della zona sismogenetica 930, nella posizione indicativa riportata in Fig. 7.5 ed in prossimità di altre zone sismogenetiche, alcune delle quali caratterizzate da un tasso di sismicità annuo relativamente basso (parametro v nella Tabella 10.1) ma da magnitudo tra le massime temibili per l'area mediterranea.

La zona sismogenetica del Marchesato e del Crotonese comprende il versante orientale della Sila e del Bacino Crotonese, arrivando a contenere anche parte dell'*offshore* jonico.

Storicamente la zona è stata interessata da due forti terremoti di grande energia (9 giugno 1638, $I_{max} = 10$; 8 marzo 1832, $I_{max} = 10$) mentre mancano attendibili informazioni sulla sismicità di minore energia.

Entrambi questi eventi furono preceduti da scosse premonitrici che limitarono il numero delle vittime.

La struttura tettonica che caratterizza cinematicamente la zona è costituita da una grande faglia normale

(Faglia del Marchesato, Moretti 1999) che si estende in senso N-S per oltre 60 km e mostra dislocazioni verticali fino a 2000 m dopo il Pleistocene inferiore (Moretti, 1993); le fonti storiche riportano notizie di movimenti verticali della faglia principale e di altre strutture minori in occasione del terremoto del 9 agosto 1638. Alla faglia principale è associato un esteso sistema idrotermale ad alimentazione profonda (Quattrocchi et. Al., 2000) che evidenzia la tettonica attiva dell'elemento. La zona comprende, oltre alla sismicità connessa con le faglie N-S che bordano ad oriente l'altopiano silano, anche quella subcrostale al largo delle coste crotonesi, attribuita alla flessura ed alla subduzione dell'avampaese ionico.

In questo ambito territoriale degli eventi sismici verificatisi solo n. 4 hanno superato un valore di magnitudo pari a 6 e, tra questi, il terremoto del 1638 (v. Tabella 10.3) appare come l'evento più forte con l'attivazione della faglia normale che partendo dalla bassa valle del F. Tacina si collega con i laghi Ampollino e Arvo.

Tabella 10.3 parametri per elaborazione probabilistica

Nome	ZS	Mwmin	Mwmax	b	□
CALABRIA TIRRENICA	929	4.76	7.29	0.82	0.17
CALABRIA IONICA	930	4.76	6.60	0.98	0.17
EOLIE – PATTI	932	4.76	6.14	1.21	0.21
IBLEI	935	4.76	7.29	0.72	0.12
ETNA	936	4.76	5.45	1.63	0.33

Principali parametri adottati per l'elaborazione probabilistica ai fini della redazione della mappa di pericolosità del territorio italiano relativi alle ZS influenti sulla sismicità del Comune di Isola Capo Rizzuto.

Mwmin=magnitudo minima considerata nel catalogo;

Mwmax=magnitudo massima per la ZS;

b=parametro della relazione di Gutenberg-Richter;

□=numero di terremoti per anno di magnitudo superiore da Mwmin

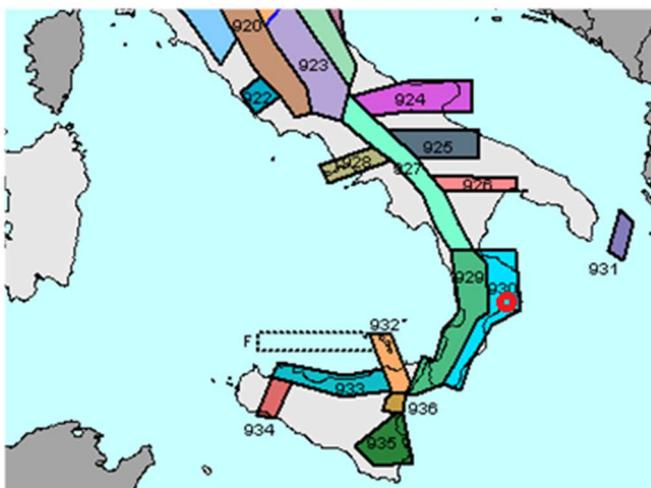


Figura 10.1 Mappa delle zone sismogenetiche nel Centro-Sud Italia. Il pallino rosso mostra la posizione indicativa del territorio comunale di Isola capo Rizzuto dove ricade l'area di progetto

Il quadro conoscitivo della sismicità evidenzia con chiarezza l'elevata pericolosità dell'area a fronte di una relativamente modesta conoscenza delle strutture tettoniche.

Sulla base della bibliografia geologico - strutturale eseguita sulla Calabria centro-settentrionale è stato identificato un sistema di faglie attive e capaci e/o potenzialmente.

In particolare per la Faglia del Marchesato varie fonti storiche parlano di dislocazioni avvenute in concomitanza del grande terremoto del 9 giugno 1638 (IMAX= X-XI MCS, MW=6.7) con risentimento nel Comune di Isola Capo Rizzuto pari al X -XI grado della scala Mercalli-Cancani -Sieberg. La stessa struttura è verosimilmente la sorgente sismogenetica del terremoto del 21 marzo 1744 al quale viene attribuita una magnitudo pari a 6.2 (Scionti e Galli – 2005).

L'area, come già accennato, è stata inoltre interessata da un forte terremoto avvenuto l'8 marzo del 1832 (MW=6.5) il cui epicentro è localizzabile in una zona non direttamente interessata da sistemi di faglie con evidenze morfologiche superficiali

Le ricerche condotte sulla sismicità storica del territorio crotonese evidenziano la particolare predisposizione di queste aree a subire violenti shocks sismici; vengono di seguito riportati in rappresentazione cronologica i vari eventi sismici e gli effetti provocati sull'ambiente delle principali crisi geosismiche più vicine ai tempi nostri che hanno coinvolto il Marchesato di Crotona.

Nella Tabella seguente sono riportati gli eventi sismici rilevanti per il territorio del comune di Isola Capo Rizzuto estratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, con epicentro entro una distanza di 100 km e magnitudo maggiore di 5.50, e quelli compresi nella base dati di osservazioni macrosismiche DBMI04.

Tabella 10.4 Eventi con epicentro entro 100 km dal Comune di Isola Capo Rizzuto

Anno	Mese	Giorno	Area epicentrale	Lat	Lon	Imx	Io	Maw	Daw	ZS9
951	-	-	Rossano	39.57	16.63	90	90	6.00	0.26	930
1184	5	24	Valle del Crati	39.43	16.25	90	90	6.00	0.26	929
1609	7	20	Nicastro	38.968	16.353	80	80	5.57	0.19	929
1626	4	4	Girifalco	38.82	16.42	100	90	6.08	0.20	929
1638	3	27	Calabria	39.03	16.28	110	110	7.00	0.13	929
1638	6	8	Crotonese	39.28	16.82	100	95	6.60	0.17	930
1659	11	5	Calabria centrale	38.7	16.25	100	100	6.50	0.17	929
1743	12	7	Calabria meridionale	38.58	16.139	75	75	5.79	0.15	929
1767	7	14	Cosentino	39.38	16.28	85	85	5.83	0.13	929
1783	2	7	Calabria	38.58	16.2	105	105	6.59	0.10	929
1783	3	1	Calabria centrale	38.77	16.3	95	90	5.92	0.11	929
1783	3	28	Calabria	38.78	16.47	110	100	6.94	0.09	929
1791	10	13	Calabria centrale	38.63	16.27	90	90	5.92	0.10	929
1824	12	11	Rossano	39.54	16.588	75	75	5.53	0.22	929
1832	3	8	Crotonese	39.07	16.9	100	95	6.48	0.16	930
1835	10	12	Cosentino	39.33	16.3	100	90	5.91	0.13	929

Anno	Mese	Giorno	Area epicentrale	Lat	Lon	Imx	Io	Maw	Daw	ZS9
1836	4	25	Calabria settentrionale	39.57	16.73	100	90	6.16	0.13	930
1854	2	12	Cosentino	39.25	16.3	100	95	6.15	0.14	929
1870	10	4	Cosentino	39.22	16.33	100	95	6.16	0.15	929
1886	3	6	Cosentino	39.338	16.191	75	75	5.56	0.20	929
1887	12	3	Calabria settentrionale	39.57	16.22	90	80	5.52	0.08	929
1905	9	8	Calabria	38.67	16.07	105	110	7.06	0.09	929
1913	6	28	Calabria settentrionale	39.53	16.23	85	80	5.65	0.04	929
1917	6	12	Mar Ionio	39.662	16.877	50	-	5.50	0.03	930
1932	1	2	Crotonese	39.096	16.958	60	65	5.62	0.05	930
1947	5	11	Calabria centrale	38.65	16.52	90	80	5.71	0.04	930

Estratto dal catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI, 2004) degli eventi con epicentro entro 100 km dal Comune di Isola Capo Rizzuto e con magnitudo maggiore di 5.50. Imx=intensità massima; Io=intensità epicentrale; Maw=magnitudo momento; Daw=errore associato alla stima di Maw; ZS9=zona sorgente.

10.2 Pericolosità sismica

Per la pericolosità sismica locale sono state poste in rilievo le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche che in occasione di eventi sismici possono produrre effetti diversi rispetto alla pericolosità sismica generale già riconosciuta per l'area.

Per le caratteristiche geologiche, geosismiche riscontrate l'area si caratterizza con una certa pericolosità sismica, fatto del resto confermato anche da studi recenti di microzonazione sismica (a piccola scala) che la rendono attenzionabile e collocano la stessa tra le aree a maggiore pericolosità sismica locale per l'amplificazione portata dagli effetti litologici, dalla presenza di lineazioni tettoniche potenzialmente attivabili e, per ultimo, da fenomeni di liquefazione locale.

Sulla base della valutazione delle caratteristiche geologico-sismiche di sito (microzonazione) si schematizza, per il sito in esame, la presenza o meno di effetti prodotti dall'azione sismica suddividendo nelle seguenti caratteristiche di suscettibilità:

- **Zone suscettibili di amplificazioni per effetti stratigrafici e morfologici**

Nella zona di progetto affiorano depositi di terrazzo che poggiano sulle argille marnose del substrato caratterizzati da valori di Vs generalmente > 800 m/sec.

Le caratteristiche meccaniche della successione migliorano con la profondità, anche se localmente possono verificarsi delle inversioni di velocità delle onde S con valori di Vs più elevati nella porzione superficiale per la presenza di spessori fortemente cementati, per cui non sono attese amplificazioni del moto, come effetto dell'assetto litostratigrafico senza peraltro manifestare amplificazioni indotte da particolari condizioni di risonanza per contrasti di rigidità sismica all'interno degli strati.

Le caratteristiche testé descritte sono da riferire alle diverse condizioni stratigrafiche riscontrate nelle stazioni di indagine, tranne che per la stazione ST1; qui, visto l'andamento del profilo sismico si rilevano condizioni tali da non escludere fenomeni di risonanza per inversione delle rigidità sismiche con la profondità.

Per quanto riguarda l'assetto morfologico locale, in prossimità degli elementi sotto elencati si associano amplificazioni anche sensibili per effetto della focalizzazione delle onde sismiche. Per l'area in esame si riassume di seguito:

- orlo di scarpata morfologica con altezza compresa tra 10 e 20 m: NON APPLICABILE
- orlo di scarpata morfologica con altezza maggiore di 20 m: NON APPLICABILE

- | | |
|--------------------|-----------------|
| - linee di cresta: | NON APPLICABILE |
| - picco isolato: | NON APPLICABILE |

• **Zone suscettibili di instabilità locale (faglie capaci)**

Il principale sistema di faglie presunte nella zona sono da considerarsi come potenzialmente attive e capaci FPAC . Il sistema, originatosi in età quaternaria, è collegato infatti alla formazione della struttura terrazzata di Le Castella (VI ordine) e non risulta obliterato da depositi più recenti di 40 Ka, tale per cui è da rendersi potenzialmente a pericolosità di riattivazione.

Nei luoghi che caratterizzano il sito di studio a monte (strada litoranea), i depositi superficiali del terrazzo evidenziano segni, deformate, gibbosità del terreno collegate molto probabilmente a lineazioni tettoniche che, unitamente alle informazioni dedotte dai rilievi geologici effettuati nell'area darsena turistica, propendono per la presenza di tali strutture estese alle superfici significative del sito di progetto.

Per queste considerazioni si definisce che il sito è da considerarsi all'interno della fascia di attenzione per la presenza di potenziale riattivazione dell'energia sismica lungo le lineazioni ipotizzate (vedi TAV B.03C-Carta geologica).

Le considerazioni conclusive comunque non prescindono da un ulteriore approfondimento degli studi geologico-strutturali del caso.

Ad ogni modo, secondo quanto cartografato nel più recente aggiornamento della mappatura ITHACA (*ITaly HAZard from Capable faults*) in cui sono raccolte le informazioni disponibili sulle faglie attive e capaci, non risulta presente la presunta lineazione dedotta dagli studi di dettaglio per il potenziamento della struttura portuale, mentre la stessa struttura portuale risulta distante oltre 200 m dalla faglia capace cartografata in Fig. 10.2.



Figura 10.2 Rappresentazione cartografica da "catalogo delle faglie capaci ITHACA". Viene riportata con linea rossa (alto a sinistra) la faglia attiva e capace FAC presente a monte del sito di progetto e la faglia presunta dedotta su base dei rilievi geologici di dettaglio (linee tratteggiate) riportata su TAV B.03C Carta geologica allegata alla presente relazione

La conoscenza approfondita e la precisa collocazione spaziale delle faglie in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie (faglie attive e capaci FAC), assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio.

L'importanza di valutare la pericolosità in termini di *ground rupture* viene indicata anche in Eurocodice 8 (nella parte 5 sulle fondazioni).

Per gli effetti sismici attesi e predominanti si possono manifestare delle deformazioni permanenti. In definitiva, relativamente alle seguenti tipologie di instabilità si riscontra per il sito di progetto il seguente prospetto:

- zona attenzione ZA_{FAC} - PFAC faglia attiva e capace e/o potenzialmente attiva e capace:
APPLICABILE

- **Zone suscettibili di instabilità (effetti cosismici: liquefazione, sink hole, instabilità di versante)**

Il sottosuolo della struttura portuale in alcuni casi può essere interessato da fenomeni di liquefazioni sotto scuotimento sismico.

Per un primo screening di valutazione del potenziale di liquefazione si è fatto riferimento a metodologie empiriche basate per lo più su osservazioni sulla granulometria del deposito e la sua distribuzione, il suo stato di addensamento legata al basso grado di addensamento, presenza di acqua e condizioni granulometriche critiche (uniformità del fuso); queste criticità collegate alla liquefazione sono state facilmente individuati nei fondali del molo pescherecci (Stazioni ST2 – ST3), nelle successioni del terrazzo dove in profondità è più marcata l'alterazione per effetto, tra l'altro, della presenza del battente di acqua marina; qui, localmente si riscontrano delle condizioni geomeccaniche e granulometriche che favoriscono la liquefazione dei fondali (strati deboli sabbiosi molto sciolti sovrapposti a strati molto addensati sabbioso arenacei).

Diversamente, i fondali e i terreni a terra della darsena turistica (Stazioni ST4-ST5) non sono presenti caratteri geologico-tecnici tali da innescare i meccanismi di liquefazione.

Per quanto riguarda ST1, vista l'elevata rigidità dei depositi sabbiosi ghiaiosi posti al di sotto dello strato calcarenitico del terrazzo relativamente più rigido non sussistono le condizioni perché l'energia sismica locale possa generare liquefazione; per contro, effetti di impedenza sismica per inversione tra calcareniti e sabbie sono da tenere in conto e l'analisi di risposta sismica locale dovrà essere condotta con approccio di livello superiore (III livello) al metodo semplificato.

Si conclude per il sottosuolo di pertinenza delle stazioni di indagine interessato dalle opere:

- stabilità nei confronti del fenomeno della liquefazione: **liquefacibilità per i terreni di pertinenza dei fondali relativi alle stazioni ST2-ST3 posti in profondità in corrispondenza del molo pescherecci**

- sinkhole: NON APPLICABILE

- Instabilità di versante: NON APPLICABILE PER LE OPERE DA REALIZZARE

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Per il sito di progetto il valore medio della accelerazione massima al suolo in condizione di sito roccioso, stimato per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente ad un periodo di ritorno TR=475 anni), risulta compreso tra 0.125 g e 0.200 g.

A questo si devono sovrapporre gli effetti di disaggregazione della pericolosità sismica citati nello studio a corredo degli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica per la Presidenza del Consiglio dei Ministri-Dipartimento *Protezione civile*.

La disaggregazione della pericolosità sismica è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma di disaggregazione bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M.

Il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Per la definizione del contributo di diverse sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti con magnitudo M a distanza R con periodi di ritorno T = 475 anni, suggeriscono per il Comune di Isola Capo Rizzuto i seguenti valori medi e modali di M ed R - ($M_{media}=5,44-R_{media}=15$) - ($M_{moda}=4,75-R_{moda}=5$) Il valore modale M è quello che fornisce il maggior contributo alla pericolosità.

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido (categoria **A**) e ad una superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente **$S_e(T)$** , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza **PVR** nel periodo di riferimento **VR**.

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento):

a_g = accelerazione orizzontale massima;

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.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_0 e **T_C^*** i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti dalla tabella contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Sono di seguito definiti i parametri sismici per il sito in esame:

Ubicazione sito di progetto:

- ✓ Coord. WGS 84: Latitudine 38,9096718 (°), Longitudine 17,0266209 (°)
- ✓ Coord. ED50: Latitudine 38,9106903, Longitudine 17,0274067

Le coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della

distanza rispetto al punto in esame sono:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	41458	38,928240	17,020610	2038,09
2	41459	38,926150	17,084720	5247,88
3	41681	38,876190	17,081990	6085,36
4	41680	38,878280	17,017940	3695,85

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento:

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,043	2,359	0,280
SLD	50	0,057	2,354	0,310
	72	0,069	2,359	0,322
	101	0,082	2,391	0,333
	140	0,096	2,386	0,341
	201	0,115	2,377	0,348
SLV	475	0,170	2,374	0,363
SLC	975	0,227	2,432	0,376
	2475	0,321	2,487	0,392

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,040	2,402	0,275
SLD	50	0,053	2,347	0,314
	72	0,063	2,398	0,324
	101	0,075	2,397	0,337
	140	0,088	2,405	0,345
	201	0,104	2,402	0,354
SLV	475	0,153	2,399	0,367
SLC	975	0,205	2,434	0,378
	2475	0,292	2,494	0,390

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,038	2,397	0,273
SLD	50	0,050	2,350	0,315
	72	0,059	2,420	0,325
	101	0,070	2,406	0,340
	140	0,081	2,426	0,353
	201	0,095	2,418	0,362
SLV	475	0,137	2,437	0,377
SLC	975	0,183	2,410	0,413
	2475	0,255	2,492	0,421

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,041	2,394	0,276
SLD	50	0,054	2,359	0,312
	72	0,065	2,391	0,324
	101	0,076	2,402	0,336
	140	0,089	2,398	0,346
	201	0,106	2,397	0,355
SLV	475	0,155	2,404	0,371
SLC	975	0,206	2,432	0,383
	2475	0,289	2,498	0,396

Punto 5

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,041	2,380	0,277
SLD	50	0,055	2,353	0,312
SLV	475	0,159	2,395	0,368
SLC	975	0,212	2,429	0,383

10.3 Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

Nel DM 17 gennaio 2018-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tabella 10.5.

Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tabella 10.5 Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso specifico $V_N = 50$ anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono, specificatamente all'opera da realizzare, la classe d'uso seguente con associato un valore del coefficiente d'uso C_U .

Classe II: *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

Nel caso in esame alla **classe d'uso II** è associato il coefficiente d'uso $C_U = 1.0$

Ricavati i valori di V_N , C_U è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale: $V_R = 50 \cdot 1 = 50$ anni.

10.4 Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** *a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;*
- **Stato Limite di Danno (SLD):** *a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.*
- Gli stati limite ultimi sono:
- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** *a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;*
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** *a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.*

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento* P_{VR} (Tabella 10.6), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata (a_g = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$ (T_R = periodo di ritorno).

Tabella 10.6 Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$P_{VR} = 81\%$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$P_{VR} = 10\%$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$P_{VR} = 5\%$

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana. Poiché è $V_R = 50$ anni, il tempo di ritorno T_R sarà (Tabella 10.7):

Tabella 10.7 Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$T_R = 30$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$T_R = 50$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$T_R = 475$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$T_R = 975$

10.5 Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (5.1)$$

con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

Tabella 10.8 Coefficienti sismici

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0,015	0,019	0,065	0,094
k_v	0,007	0,010	0,032	0,047
a_{max} [m/s ²]	0,718	0,940	2,646	3,278
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

10.6 Pericolosità sismica di sito: categoria di sottosuolo e topografica

Ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto, assumendo che questa viene descritta tramite accelerazione massima del suolo, si definiscono gli effetti della risposta sismica locale tramite il metodo semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

Attraverso le particolari condizioni stratigrafiche e topografiche, la risposta sismica locale viene definita con la modifica dello spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento, come indicato nel §

3.2.2. del NTC 2018 e nel C.3.2.2. della Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del CS.LL.PP.

La categoria di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III) del NTC 2018 viene di seguito individuata attraverso l'elaborazione dei dati di stesa sismica *Masw* che consiste nel determinare il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie e, successivamente, stimare indirettamente la distribuzione della velocità delle onde di taglio V_s .

La prova ha individuato n. 4 macrostrati di terreno a diverso comportamento sismico, abbastanza continui su tutta l'area che si presentano limiti ben netti, dividendo di fatto strati ad uguale rigidità sismica.

L'azione sismica di progetto si è definita, secondo la classificazione sismica del territorio nazionale (Ord. n. 3274 e succ. mod. ed integr.), in riferimento ai valori del parametro V_s , in profondità, di sottosuolo.

La Normativa applicata è il D.M. 17 Gennaio 2018 "NTC Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

In riferimento alla profondità del substrato sismico con velocità V_s non inferiore a 800 m/sec ($H > 30$ m) sono stati calcolati per ogni stazione di indagine per una profondità di 30 m le seguenti $V_{s,eq}$.

- ST1 $V_{s,eq}$ (m/sec) = 748
- ST2 $V_{s,eq}$ (m/sec) = 523
- ST3 $V_{s,eq}$ (m/sec) = 517
- ST4 $V_{s,eq}$ (m/sec) = 419
- ST5 $V_{s,eq}$ (m/sec) = 492

per cui i tipi di suolo generalizzato all'intera struttura portuale, secondo Normativa NTC 17.01.2018, ricadono nella **Categoria 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 equivalenti compresi tra 360 m/s e 800 m/s"**

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST in funzione della categoria topografica di riferimento nell'ubicazione delle opere da realizzare.

Per il sito di progetto la **Categoria Topografica** di riferimento è la seguente: ***T1 – Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15° = 1.0***

11 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI

Nel territorio della struttura portuale sono presenti formazioni geologiche caratterizzate da una estrema variabilità delle proprietà geomeccaniche determinatesi oltre che per caratteri deposizionali anche per l'attività erosiva e, in generale, per stress tettonici.

Le caratteristiche geomeccaniche dei terreni sono state determinate sulla scorta dell'analisi dei dati ottenuti dalle indagini geognostiche e geotecniche eseguite in corrispondenza delle stazioni di indagine dove saranno realizzati gli interventi, tali comunque da garantire l'individuazione e caratterizzazione di una zona significativamente ampia che interagisce con le opere da realizzare.

Vengono definiti, di seguito, gli orizzonti geomeccanici suddivisi per omogeneità di caratteristiche geomeccaniche ottenuti dalla taratura dei carotaggi, delle prove SPT in foro e dall'interpretazione dei profili di resistenza di avanzamento della punta del penetrometro DPSH.

Nella cartografia allegata (TAV B.03D-E) viene riportato attraverso la sezione geologica il modello di terreno che più approssima le caratteristiche geomeccaniche dell'area di progetto.

La sezione mette in evidenza che gli spessori litotecnici profondi che andranno ad interferire con le strutture da realizzare si presentano sostanzialmente omogenei e continui. Tuttavia, vista la natura eterogenea del deposito, si possono riscontrare variazioni nelle caratteristiche di resistenza e compressibilità che comportano delle criticità da porre in evidenza.

Di seguito vengono descritti i caratteri geomeccanici dei corpi geologici presenti nell'area di progetto:

Opere portuali esistenti (Terrapieni, massicciate di base)

Le opere portuali sono costituite da materiale incoerente da sabbie grossolane miste a blocchi, massi di varie dimensioni a formare la base dei rilevati, colmate in genere.

Lo spessore varia dai 0.3 m ai 5.0 m a seconda dell'opera (banchina, molo) e dei luoghi; se si esclude la parte nord della darsena in corrispondenza della stazione ST5, dove il substrato argilloso emerge quasi in superficie, risulta che i materiali per le opere portuali sono stati abbancati a contatto diretto con la formazione calcarenitica del terrazzo, nei termini sabbiosi (ST2-ST3-ST4) e/o calcarenitici (ST1)

Presentano alla scala dell'ammasso una rigidità modesta con velocità delle onde sismiche V_s (m/sec) tra 230-450, un grado di costipazione variabile sia in senso laterale che con la profondità, in genere coincidente con le riprese degli abbancamenti.

Presentano generalmente una buona resistenza e capacità di tenuta sotto carico, oltre ad nel complesso avere una bassa compressibilità.

Tuttavia, possono presentarsi situazioni locali, distribuite in profondità nella massa arenacea, dove sono in atto azioni di degrado con allontanamento della matrice sabbiosa che portano a decadimenti della resistenza del materiale.

Il passaggio al corpo geologico di base risulta ben netto, come è risultato della prospezione sismica, evidenziando a luoghi aumenti o inversione della consistenza che possono costituire delle criticità per quanto riguarda la risposta sismica.

Calcareniti (Calcareniti biocostruite arenarie, sabbie)

La formazione arenacea è quella che predomina in affioramento nell'area di progetto, direttamente a contatto con le opere, ad esclusione della zona ST5 che ospiterà la stazione marittima dove affiora la formazione delle argille marnose (substrato).

Le prospezioni eseguite hanno restituito un andamento delle velocità delle onde sismiche V_s (m/sec) variabile da 800 (sabbie di base) a 1520 (calcarenite); oltre a restituire un dettagliato andamento dei suoi

limiti e dei rapporti giaciture con gli altri corpi geologici, sono state determinate le sue proprietà geomeccaniche nei vari termini stratigrafici (sabbie, arenarie, calcareniti) facendo rilevare nel complesso una elevata variabilità sia con la profondità che lateralmente o per riduzione degli spessori e/o per la presenza di eteropie di facies.

Le opere previste andranno ad interagire direttamente con spessori di scarso e/o elevato profilo di resistenza; nel caso delle palificate dei pontili (ST3-ST2), o dell'opera di blocchi artificiali per l'allungamento molo di sottoflutto e impianto carburanti (ST3), le strutture di fondazione interagiranno direttamente (pali in acciaio nel caso dei pontili) o indirettamente (blocchi artificiali) con strati sabbiosi sciolti della stessa formazione. Nel caso dell'allungamento del molo sopraflutto (ST1) la fondazione (massicciata di base) verrà adagiata direttamente sulla calcarenite dall'elevato profilo di resistenza.

Le criticità da segnalare sono collegate al comportamento geomeccanico dello spessore sabbioso sciolto che si estende a tutto il sottosuolo dei fondali del molo pescherecci, per il suo comportamento sotto sollecitazione tellurica che facilmente si estremizza in liquefazione in quanto sono presenti le caratteristiche di base per innesco del fenomeno: scarso stato di addensamento, granulometria uniforme, potenza degli spessori in presenza di acqua marina.

Gli effetti conseguenti ad eventuali sollecitazioni sismiche influiscono sulle condizioni di stabilità delle opere per cui occorre è necessario procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire i carichi a strati di terreno che non presentano suscettibilità alla liquefazione come, nei casi in esempio, le argille di base.

Argille alterate (argille marnose superficiali)

Le argille costituiscono lo strato alterato (superficie di erosione della lacuna stratigrafica) che passano superiormente alle calcareniti dalle argille alterate in affioramento nella parte nord della darsena turistica, a monte dell'area dedicata alla stazione marittima.

Le argille alterate possono suddividersi in n. 2 orizzonti omogenei dalle stesse caratteristiche geomeccaniche e di seguito elencati:

- **strato argilloso poco consistente (plastico):**

lo strato corrisponde allo spessore superficiale di terreno (suolo) soggetto a reiterati cicli di rigonfiamento ed essiccazione per cui si presenta molto degradato; si è originato per trasporto dei materiali colluviali principalmente di natura argillosa erosi a monte; al suo interno si rinviene una matrice con clasti calcarenitici mista a sabbia; si presenta pseudo consistente alla base e altamente fessurato in superficie; a contatto con l'acqua può facilmente modificare la sua struttura trasformandosi in un terreno dalle scarsissime caratteristiche di resistenza, anche a consistenza fluida.

Lo spessore *max* è di 50 m, (massimo alla base della scarpata retrostante l'area di costruzione della stazione marittima), per poi diminuire verso il culmine della scarpata.

In superficie, principalmente in coincidenza di eventi piovosi, è possibile reperire accumuli idrici, piccole infiltrazioni di acque meteoriche che rimangono intrappolate in un lentissimo drenaggio.

Per le suddette caratteristiche geomeccaniche presenta una compressibilità alta ed una bassa capacità di tenuta sotto carico; il litotipo facilmente modifica il suo comportamento strutturale per alterazione (essiccazione, rigonfiamento) per cui viene sconsigliato come piano di posa delle strutture fondali.

- **strato argilloso mediamente consistente (semi solido):**

Lo strato è presente in prossimità della superficie nelle aree di sedime poste a monte della darsena turistica (ST5), mentre costituisce l'interfaccia con la calcarenite a costituire la lacuna di discordanza stratigrafica nelle aree di pertinenza ST4 ed ST1.

RELAZIONE GEOLOGICA

Lo spessore è variabile tra i 4–6 m lungo la scarpata a monte della stazione marittima, a circa 1 m in corrispondenza di ST4, mentre in ST1 appare molto ridotto (1 m). Nel sondaggio ST5 sono stati attraversati spessori di 2.5 m.

Il suo profilo di consistenza cresce con la profondità ed è associato alla diminuzione della persistenza delle venature avana all'interno della massa argillosa grigia.

In corrispondenza della stazione marittima si evidenzia la sua quasi totale asportazione, associata alle opere di pavimentazione della banchina; si caratterizza con uno stato di consistenza generalmente semi solido, poco sovraconsolidato, con le venature avana dalla spaziatura poco distante (min 0.5 m).

Presenta una discreta capacità di tenuta sotto carico e una bassa compressibilità e può essere ritenuto idoneo a sopportare i carichi previsti dal progetto; comunque, per la valutazione dell'idoneità a sopportare i carichi indotti dall'opera, lo stesso va comunque verificato in funzione della tipologia e geometria fondale, oltre che dei carichi applicati. Visto il disturbo portato all'interfaccia con la superficie, per la posa della fondazione, si consiglia la sua asportazione per almeno 1 m.

Argille marnose di base

- strato argilloso da molto consistente (solido) ad estremamente consistente (estr.solido):

Lo strato rappresenta la parte superficiale del substrato ultra compatto (basamento argilloso rigido) ed è stato direttamente investigato in ST1-ST4-ST5, mentre la sua presenza in ST2 – ST3 è stata accertata dalla restituzione dei dati di prospezione sismica.

È costituito da una massa argillosa dalla elevata consistenza e molto sovraconsolidata, con compressibilità praticamente nulla ed un'alta capacità di tenuta sotto carico.

Il suo profilo di consistenza sfuma verso orizzonti a crescente rigidità attestandosi uno strato geologico argilloso dalla elevatissima consistenza.

Vengono riportati di seguito i parametri rappresentativi delle classi litotecniche presenti nell'area di progetto:

Tabella 11.1 Principali parametri geomeccanici delle classi litotecniche del sottosuolo presenti nelle stazioni di indagine (Valori medi)

ID	Macrostrato	STAZIONE	Densità (kg/mc)	G (Mpa)	Eed (Mpa)	Ey (Mpa)	Ev (Mpa)	Vs (m/sec)
1	Massicciate portuali (ghiaia, ciottoli, blocchi calcarenitici)	ST1	1957	106	411	281	270	230 (min)- 450 (max)
		ST2	-	361	1564	974	-	
		ST3	-	123	536	333	-	
		ST4	-	183	793	494	-	
		-	-	-	-	-	-	
2	Calcareniti (Calcareniti biocostruite arenarie, sabbie)	ST1	2247	5893	22071	15534	14213	800 (min) - 1520 (max)
		ST2	-	1420	6156	3836	-	
		ST3	-	1149	4980	3103	-	
		ST4	-	2666	11553	7198	-	
		-	-	-	-	-	-	
3	Argille alterate (argille marnose superficiali)	-	-	-	-	-	-	430 (max)
		-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	
		ST5	1727	335	1451	904	-	

RELAZIONE GEOLOGICA

4	Argille marnose (substrato rigido)	ST1	2602	3478	15323	9414	10685	1190 (min) – 1780 (max)
		ST2	-	2237	9696	6041	-	
		ST3	-	6786	29407	18322	-	
		ST4	-	5706	24727	15406	-	
		ST5	2025	3643	15790	9838	-	

E_y (MPa) = Modulo di Young

E_{ed} (MPa) = Modulo edometrico

E_v (Mpa) = Modulo di compr volumetrica

G (MPa) = Modulo di deformazione a taglio dinamico

Come evidenziato dai valori, si desume che caratteristiche geomeccaniche si presentano estremamente variabili con la profondità e su tutta l'area.

Per le finalità progettuali assume importanza dare indicazioni sui circa le caratteristiche di resistenza e il comportamento sotto carico dei volumi significativi dei terreni che saranno interessati dalle opere di potenziamento infrastrutturale.

Per comodità di trattazione le caratteristiche degli strati di fondazione, le criticità e le raccomandazioni da prendere in fase esecutiva delle opere, verranno esposti per stazione di indagine:

Stazione ST1

Prof (m)	Litologia	Descrizione stratigrafica	NSPT/ DPSH	Vs (m/sec)	γ (KN/mc)	*C (kg/cm ²)	* Φ (°)
0.0 – 1.2 m	Terrapieni, massicciat e di base (opere marittime)	Ghiaia e ciottoli metamorfici in cemento magro	Rif.	233	-	-	-
1.2 – 5.0 m		Ciottoli e blocchi calcarenitici, a luoghi fortemente cementati, in matrice ghiaioso-sabbiosa, colore giallastro	Rif.		-	0	42
5.0 – 11.8 m	Deposito calcareniti co-arenaceo del terrazzo marino	Calcarenite variamente cementata con livelli ghiaioso-sabbiosi, colore giallastro, presenza di macrofossili	Rif.	1521	-	0	45
11.8 – 14.0 m		Sabbia ghiaiosa, colore grigio molto addensata	Rif.	830	-	0	45
14.0 – 40 m	Formazion e Argille marnose di Cutro Argille limose del substrato	Argilla limosa colore grigio, con a luoghi noduli e venature carboniose, fossili lamellibranchi, da molto consistente a dura con la profondità (**limo con argilla sabbioso, solido-plastico, a semi solido) da poco a estremamente sovraconsolidato	18	1189	19.44	1.5	15
			23		19.27		
			31		18.81		

*valori indicative su base strumentale eseguita in sito e da letteratura

**da analisi granulometrica su campioni prelevati

RELAZIONE GEOLOGICA

Le informazioni sul grado di resistenza del sottosuolo riscontrati nella stazione ST1 danno indicazioni circa i fondali dell'imboccatura che saranno interessati dalle opere di massicciata per il prolungamento del molo foraneo.

I risultati delle indagini strumentali SBP, ancorati ai dati ottenuti nelle indagini geognostiche e geotecniche su ST1, escludono criticità nelle caratteristiche geomeccaniche di portanza. Per l'intera estensione, visto l'andamento delle isobate che danno una configurazione del fondale circa pianeggiante, le spinte attive sono portate al rilevato dall'altezza e dall'inclinazione della scarpata.

I sedimenti sabbiosi posti alla base della calcarenite, restituiscono un andamento crescente della rigidità sismica e di conseguenza un aumento con la profondità delle capacità geomeccaniche a sopportare i carichi indotti dal rilevato (diga); questi comunque vanno verificati sotto condizioni sismiche tenendo conto dei probabili fenomeni di amplificazione dell'effetto di risonanza per l'inversione di rigidità presente all'interfaccia con le sabbie (conglomerato di base della formazione terrazzata).

Stazione ST2

Prof (m)	Litologia	Descrizione stratigrafica	NSPT/ DPSH	Vs (m/sec)	γ (KN/mc)	*C (kg/cmq)	* Φ (°)
0.0– 0.6 m	Terrapieni, massicciat e di base (opere maritime)	Ghiaia e ciottoli metamorfici in cemento magro	0	447	-	-	-
0.6 – 2.5 m		Ciottoli e blocchi calcarenitici, a luoghi fortemente cementati, in matrice ghiaioso-sabbiosa, colore giallastro, mediamente addensato			-	0	45
2.5 – 6.0 m	Deposito calcareniti co-arenaceo del terrazzo marino	Calcarenite variamente cementata con livelli ghiaioso-sabbiosi poco addensati, colore giallastro, presenza di macrofossili, **(sabbia ghiaiosa debolmente limosa, sciolta moderatamente addensata) **(sabbia ghiaiosa, colore giallastro, moderatamente addensata)	23 5 19	898	23.62	0	28
6.0 – 15.0 m					20.38	0	35
					15.0 – 30.0	Formazioni e Argille marnose di Cutro Argille limose del substrato	Argilla limosa colore grigio, con a luoghi noduli e venature carboniose, fossili lamellibranchi, da molto consistente a dura con la profondità

* valori indicativi su base strumentale eseguita in sito e da letteratura

**da analisi granulometrica su campioni prelevati

Stazione ST3

Prof (m)	Litologia	Descrizione stratigrafica	NSPT/ DPSH	Vs (m/sec)	γ (KN/mc)	*C (kg/cm ²)	* Φ (°)	
0.0– 1.0 m	Terrapieni, massicciat e di base (opere maritime)	Ghiaia e ciottoli metamorfici in cemento magro		262				
1.0 – 3.5 m		Ciottoli e blocchi calcarenitici, fortemente cementati, colore giallastro Sabbia ghiaiosa, colore grigio, poco addensata						
3.5 – 5.5 m	Deposito calcareniti co-arenaceo del terrazzo marino	Sabbia ghiaiosa, colore giallastro, poco addensata (**sabbia con ghiaia debolmente limosa, moderatamente addensata)	23	769	21.97	0	47	
5.5 – 7.5 m		Sabbia limosa con a luoghi ghiaia, colore avana a grigio, poco addensata						
7.5-9.5 m		Calcarenite poco cementata in matrice sabbiosa poco addensata, colore giallastro, presenza di macrofossili						
9.5 – 15.0 m		Sabbia fine colore avana, da sciolta ad addensata	13			21.62	0	41
15.0 – 30.0 m	Formazion e Argille marnose di Cutro Argille limose del substrato	Argilla limosa colore grigio, con a luoghi noduli e venature carboniose, fossili lamellibranchi, da molto consistente a dura con la profondità		1941				

* valori indicative su base strumentale eseguita in sito e dal letteratura

**da analisi granulometrica su campioni prelevati

Le informazioni ricavate dalle prospezioni geognostiche e geotecniche eseguite nella stazione di indagine ST2-ST3 che saranno interessati dalle opere di palificazione in acciaio dei pontili e dell'allungamento del molo sottoflutto propendono per un generale aumento della rigidità con la profondità.

Lo stato di addensamento assume degli andamenti variabili per tutto lo spessore (12-14 m); al di sotto dello strato calcarenitico rigido, sono presenti degli stati sabbiosi dal basso profilo di resistenza e suscettibili al fenomeno della liquefazione, per cui nella posa in opera, le fondazioni vanno dimensionate e posizionate in certe condizioni dopo le verifiche a tenuta sotto carico e, se è il caso, per superare le criticità della liquefazione consolidare e/o by passare gli strati attestandosi in strati profondi relativamente più addensati.

Stazione ST4

Prof (m)	Litologia	Descrizione stratigrafica	NSPT/ DPSH	Vs (m/sec)	γ (KN/mc)	*C (kg/cm ²)	* Φ (°)
0.0 – 0.8 m	Terrapieni, massicciat e di base (opere maritime)	Ghiaia e ciottoli metamorfici in cemento magro (Materiale di riporto- banchina portuale)	33	318			
0.8 – 2.5 m		Ciottoli e blocchi calcarenitici, a luoghi fortemente cementati, in matrice ghiaioso-sabbiosa, colore giallastro (Materiale di riporto – Pietrame di base)					
2.5 – 5.0 m	Deposito calcareniti co-arenaceo del terrazzo marino	Calcarenite variamente cementata con livelli ghiaioso-sabbiosi, colore giallastro, presenza di macrofossili	4	1217	20.50	0	28
5.0 – 5.8 m	Formazioni e Argille marnose di Cutro Argille limose del substrato	Argilla limosa varicolori, con a luoghi noduli carboniosi, mediamente consistente (limo con argilla sabbioso, solido-plastico), poco consistente	13	1780	20.38	0.8	26
5.8 – 30 m		Argilla limosa colore grigio con inclusi noduli e venature carboniose, fossili lamellibranchi, molto consistente a dura con la profondità **(limo con argilla sabbioso, consistenza solido plastica a semisolida) da poco a molto consistente	17		19.50	1	24

* valori indicative su base strumentale eseguita in sito e dal letteratura

**da analisi granulometrica su campioni prelevati

Le informazioni sul grado di resistenza del sottosuolo riscontrati nella stazione ST4 danno indicazioni circa le caratteristiche dei fondali che saranno interessati dalle palificazioni per il pontile e dalle opere accessorie.

I risultati delle indagini strumentali SBP, ancorati ai dati ottenuti nelle indagini geognostiche e geotecniche su ST4, escludono particolari criticità nelle caratteristiche geomeccaniche di portanza; l'opera di fondazione del pontile (palificata), tuttavia, dovrà tenere conto della scarsa resistenza offerta dal terreno al passaggio calcarenite/argilla per cui la testa dei pali di fondazione deve superare lo strato debole sopra rappresentato per immorsarsi negli strati argillosi più consistenti posti in profondità in modo da dare garanzia di tenuta

sotto carico.

Profondità minime di infissione, riferite alla quota della banchina: 8-10 m

In caso di scuotimento sismico non sono presenti fenomeni di instabilità per liquefazione, vista la particolare granulometria.

Stazione ST5

Prof (m)	Litologia	Descrizione stratigrafica	NSPT/ DPSH	Vs (m/sec)	γ (KN/mc)	*C (kg/cmq)	* Φ (°)
0.0 – 0.3 m	Terrapieni, massicciat e di base (opere maritime)	Pavimentazione in cemento precompresso con sabbia grosolana alla base (Riporto)					
0.3 – 2.5 m	Formazioni e Argille marnose di Cutro	Argilla limosa colore grigio, con blande venature avana, noduli carboniosi, poco consistente **(limo con argilla sabbioso, solido plastico) poco sovraconsolidato	2	431	19.25	0.25	20
			9				
2.5 – 30.00 m	Argille limose del substrato con intercalazioni sabbiose	Argilla limosa colore grigio, con a luoghi noduli carboniosi e fossili lamellibranchi, da molto consistente a dura con la profondità **(limo con argilla sabbioso, da solido plastico a solido) mediamente sovraconsolidato	15	1422	18.98	0.30	22
			21				

* valori indicative su base strumentale eseguita in sito e dal letteratura

**da analisi granulometrica su campioni prelevati

Per la stazione di indagine ST5 si rileva un aumento delle caratteristiche geomeccaniche con la profondità, senza presentare particolari inversioni, debolezze nel sottosuolo profondo per cui le criticità risiedono nelle modalità esecutive dello scavo per la posa della fondazione.

Particolare attenzione va data in fase movimentazione del terreno di scavo per la presenza a monte di terreni cedevoli sotto determinate condizioni clivometriche.

Per le particolarità geologiche -tecniche riscontrate va evidenziato che il terreno superficiale (spessore 0.0 – 1.0 m) si presenta rimaneggiato e con scarsa consistenza e, conseguentemente, con una bassa capacità di tenuta sotto carico, per cui dovrà essere rimosso, migliorato alla base mediante compattazione e, se è il caso, ricaricato con nuovo terreno granulare prima posare la fondazione.

Si consiglia di posizionare l'opera di fondazione superficiale ad una profondità di almeno di 1.0 – 1.5 m dal p.c. attuale in modo da superare lo strato superficiale interessato da cicli stagionali di umidità, principalmente responsabili dei fenomeni di rigonfiamento e ritiro.

Nel caso di scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di personale, e per scavi che ricadano in prossimità del manufatto esistente in adiacenza all'area di sedime,

deve essere previsto un progetto che adotti una struttura di sostegno delle pareti di scavo.

Per le opere accessorie non si rilevano criticità nell'interazione della struttura previste con i terreni, visti i carichi, la tipologia di fondazione, l'estensione e le funzionalità.

Di seguito sono riportati dei consigli e dare indicazioni di massima per la posa in opera:

- **Strada di accesso**: Il terreno vegetale limoso non offre le necessarie garanzie se usato come fondo stradale a causa dei fenomeni di ritiro e rigonfiamento ai quali è sottoposto. Di conseguenza, è opportuno sostituire con materiale sabbioso a basso contenuto argilloso, previa asportazione dello stesso spessore; diversamente, si può costipare con rulli compattatori lo stesso terreno di superficie prima di adagiare terreno misto a ghiaia e sabbia in modo da contrastare la risalita capillare del terreno di fondazione. Vista l'opera, si può posare uno spessore opportuno e, come base si può adoperare, se è il caso, una massicciata. Ai bordi, infine, dovranno essere predisposti i canali di carreggiata per l'incanalamento e allontanamento.
- **Magazzino manutenzione**: realizzato in struttura leggera se posato direttamente sulla pavimentazione della banchina, lato sud ovest della darsena turistica, sarà sufficiente un ancoraggio di superficie; diversamente, se posato in profondità, dovranno essere migliorate le caratteristiche di compattazione del terreno posto sotto la pavimentazione, se è il caso anche con ricarica di materiale inerte, prima di adagiare le fondazioni. Le caratteristiche di portanza offrono le necessarie garanzie di tenuta sotto carico.
- **Anfiteatro**: la struttura sarà ricavata dallo sterro della nuda roccia in affioramento e rinterro a valle per regolarizzazione quote. Il terreno di base non dovrà contenere argilla nel qual caso dovrà essere sostituito con materiale inerte classato opportunamente compattato prima di posare la pavimentazione.
- **Percorso pedonale**: nella profilatura del sentiero, in caso di movimentazione del terreno e riprofilatura delle quote, saranno necessarie opere di compattazione per garantire la tenuta del calpestio, principalmente nei tratti scoscesi.
- **Opere accessorie (opzionali)**: in caso di adozione di muri di contenimento (es. a monte di stazione marittima), dovrà essere eseguita la verifica di stabilità d'insieme muro/terreno; occorrerà evitare eventualmente accumuli d'acqua a tergo che ne aumenterebbero la spinta per cui andranno dimensionati dei drenaggi e, a seconda che il terrapieno risulti più o meno permeabile, disporre delle feritoie al suo piede (ogni 2-3 m), anche al di sopra se il muro supera una certa altezza. In caso di utilizzo di terrapieni poco permeabili si dovrà predisporre apposito dreno inclinato per l'allontanamento dell'acqua al suo interno. Alla base si dovrà, invece, posare un cuscinio di materiale grossolano (sabbia mista a ghiaia), sistemato sotto il muro in modo da facilitare l'allontanamento delle sovrappressioni dell'acqua ed aumentare così la stabilità.

12 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

L'analisi della pericolosità geologica è rivolta principalmente alla valutazione di quegli elementi di vulnerabilità dipendenti dalle caratteristiche geomeccaniche, geosismiche, geoidrologiche.

Per lo scopo sono state condotte le necessarie verifiche in un congruo intorno del sito di progetto, estese alla superficie ed al volume significativo posto in profondità delle opere della struttura portuale.

Oltre alle indagini, sono state utilizzate le informazioni disponibili in bibliografia coinvolgimento dell'area in dissesti e/o i relativi livelli di rischio segnalato.

La definizione delle tipologie dei fenomeni geologici presenti sull'area di studio e la loro intensità è stata determinata facendo riferimento allo schema proposto nelle linee guida regionali utilizzando tutte le informazioni di base e di dettaglio disponibili, al fine di individuare zone omogenee che presentano stessa pericolosità o potenziale.

Di seguito vengono elencati i coinvolgimenti dell'area di studio secondo le tipologie di pericolosità di seguito riportate:

Pericolosità da frane, instabilità del terreno

Per le caratteristiche morfologiche inerenti l'area di progetto non si segnalano condizioni tali da presentare significativi fenomeni di instabilità in atto, premesso che gli affioramenti calcarenitici prospicienti le strutture portuali sono messi in sicurezza dai muri perimetrali, le potenzialità portate dalla propensione delle stesse rocce a frane di crollo possono considerarsi ininfluenti in atto e/o potenziali

Per cui la verifica sulla pericolosità risulta:

NON APPLICABILE

Pericolosità idraulica

Fatta esclusione dei fenomeni di inondazioni portati su segmenti delle strutture portuali in occasione di forti mareggiate (es. zona radice del molo sopraflutto, molo foraneo, area archeologica), l'ubicazione dell'area di sedime nel contesto del bacino idraulico di pertinenza, (bacino portuale) viste le caratteristiche idrologiche-idrauliche, escludono di fatto lo stesso ambito territoriale portuale da coinvolgimenti in scenari di pericolosità idraulica.

APPLICABILE (per inondazione sotto costa)

Pericolosità da erosione costiera

L'area di studio presenta, per le caratteristiche di erodibilità dei litotipi in affioramento interagenti di continuo con le attività del moto ondoso costituiscono elementi di vulnerabilità collegata al pericolo per l'erosione/arretramento della linea di costa. Il PSEC individua per l'impianto portuale di Le Castella aree a pericolo e rischio di erosione costiera per aree di sopraflutto e sottoflutto. Sono presenti tutte le fasce di pericolosità associata (area P1 – bassa, area P2 – media, area – P3 alta)

APPLICABILE

Pericolosità da liquefazione (effetto cosismico)

Il fenomeno della liquefazione è facilmente manifestabile sotto determinate condizioni geologico-tecniche del sottosuolo associato a un livello di energia del moto sismico.

Dai rilievi eseguiti si ritiene molto probabile che il fenomeno si possa innescare nel bacino del molo pescherecci, mentre non sussistono le condizioni per quanto riguarda le altre aree di pertinenza portuale interessate alle restanti opere. Le verifiche in ordine alla stabilità del sito nei confronti della liquefazione, eseguite in accordo alla normativa vigente, hanno consentito di considerare i depositi sabbiosi posti in profondità dei fondali marini del porticciolo pescherecci come liquefacibili, quindi cedevoli per effetto di

fenomeni di maggior addensamento a seguito eventi sismici

APPLICABILE

Pericolosità da instabilità locale (faglie)

Il sito in esame risente del rischio collegato all'attività sismica testimoniata da terremoti storici anche di una certa intensità; dai rilievi eseguiti si riscontra la pericolosità per la interferenza con faglie attive e capaci FAC o potenzialmente PFAC (ISPRA - Catalogo ITHACA) per cui rientra in quelle fasce di salvaguardia di territorio che in occasione di terremoti possono essere soggetti a possibili effetti cosismici come deformazioni del terreno, fagliature superficiali del suolo.

Gli studi e le ricerche eseguite ai fini della fattibilità dell'opera hanno evidenziato fenomeni in atto o potenziali tali da costituire pericolosità, per cui sono necessari approfondimenti degli studi e delle ricerche per individuare modalità di mitigazione del rischio e/o controlli in continuo. (Eurocodice 8) **APPLICABILE**

Per gli elementi di giudizio ricavati da studi e ricerche sul sito in relazione all'utilizzazione delle opere da realizzare, se si esclude il rischio di erosione portata sulla formazione calcarenitica esposta direttamente all'erosione costiera, l'analisi è rivolta alla sola valutazione degli elementi di vulnerabilità collegati alla capacità di tenuta sotto carico in condizioni statiche e dinamiche.

13 CONCLUSIONI

La presente relazione descrive il modello geologico, geomorfologico, idrogeologico di riferimento, di dettaglio progettuale e le criticità collegate per gli accertamenti in merito alla compatibilità geologica, geomorfologica, idrogeologica delle opere al progetto per il "**Potenziamento infrastrutturale del porto regionale di Le Castella, ubicato nella frazione omonima del comune di Isola Capo Rizzuto (KR)**" attraverso l'estensione alla pericolosità geologica, sismica ed idraulica e, nel contempo, evadere un giudizio sulla relativa fattibilità e le prescrizioni/osservazioni che si sono rese necessarie a seguito dell'analisi degli elementi ottenuti dai rilievi eseguiti.

L'area di progetto ricade nel territorio della frazione di Le Castella di Isola Capo Rizzuto (KR) e coincide con l'intera struttura portuale che si estende lungo la costa per un tratto di circa 500 m.

Gli interventi prevedono il consolidamento ed il potenziamento del molo sopraflutto e l'allungamento del molo sottoflutto del porto pescherecci, oltre a interventi per la fruizione e servizi nella darsena turistica, atti a migliorare capacità ricettiva e le relazioni con il territorio.

La costruzione del modello geologico-tecnico di riferimento per l'analisi delle caratteristiche geologiche, geosismiche e geomeccaniche del sottosuolo interessato dalla progettazione degli interventi è stato operato sulla base delle informazioni raccolte da dati di letteratura, integrati dei risultati di una campagna di indagini geognostiche e geotecniche eseguite per l'occorrenza.

Dall'esecuzione di una serie di carotaggi (n. 5) e di altri metodi invasivi e non (DPSH-SRif-Down Hole-Masw-SBP-GPR) ubicati opportunamente nei punti ritenuti significativi a coprire le aree del sito indicate per la realizzazione delle opere, si è proceduto successivamente alla sistemazione e taratura dei dati mediante proiezione spaziale e restituzione delle informazioni sui rapporti litostratigrafici, sulle proprietà geomeccaniche, geosismiche tra i vari corpi geologici presenti attraverso tabelle riassuntive, sezioni geologiche (vedi TAV B.03D-E) organizzate secondo aree predefinite della struttura portuale ritenute capisaldi per la ricostruzione del modello geologico – tecnico di base.

I dati ottenuti dal sottosuolo degli affioramenti sono stati estesi a quelli dei fondali di pertinenza del bacino portuale attraverso l'interpolazione con i rilievi SBP (sub bottom profiler) organizzati per stazioni di indagine (ST) rispondenti a specifiche aree interagenti con le opere da eseguire sulle quali sono state eseguite le tipologie di indagini, nelle modalità e quantità sufficienti a garantire tutte le informazioni necessarie per una corretta progettazione delle opere.

La struttura portuale di Le Castella ricade nella parte sud-orientale del bacino sedimentario crotonese, all'estremità di una vasta area geologicamente composta da vasti affioramenti dai depositi marini terrazzati (sintema di Le Castella) di età Pleistocene superiore, di natura arenaceo – sabbiosa, posti in discordanza sulle argille marnose di Cutro che costituiscono il substrato del territorio, di età Pliocene medio superiore – Calabriano.

Queste formazioni caratterizzano l'intero sviluppo del bacino portuale su cui risultano impostate le opere marittime esistenti (moli, banchine) costituiti dai terrapieni e massicciate di base.

L'attuale conformazione morfologica dell'area portuale, oltre ad essere il risultato dell'azione antropica e dell'opera di una vasta azione erosiva in atto, si è configurata per i movimenti verticali quaternari che hanno portato alla formazione di faglie normali secondo la direzione NE-SO e SE-NO, dislocando sia i termini argillosi del substrato sia i terrazzi morfologici di abrasione marina posti in trasgressione che si estendono fino all'attuale linea di costa; qui, si alternano tratti di falesia a tratti di scogliera bassa che si raccordano con fondali dalla batimetria modesta, con l'isobata 10 che viene superata mediamente a 150 m dalla linea di costa e con approfondimento della scarpata sommersa procedendo verso sud ovest (capo Lacinio).

I vincoli ambientali incombenti sul territorio di riferimento progettuale, oltre quelli riferiti alla tutela dei valori ecologici, biologici, antropologico e storico-culturali (Area naturale marina protetta, aree SIC dei fondali,

zona archeologica di località l'Annunziata, ecc.), vista la forte azione erosiva portata dal moto ondoso, sono limitati principalmente alla sola valutazione degli elementi di vulnerabilità collegata al pericolo per l'erosione/arretramento della linea di costa; il PSEC, infatti, individua per la struttura portuale di Le Castella aree a pericolo e rischio di erosione costiera sia per le aree di sopraflutto che di sottoflutto, mentre sotto il profilo del rischio idraulico, le aree di pertinenza sono potenzialmente inondabili per le criticità derivabili dai punti di debolezza delle strutture portuali; infine, la cartografia ufficiale PGRA dell'Autorità di Bacino dell'Appennino Meridionale (ottobre 2020), non segnalano alla scala di riferimento problematiche legate al particolare rischio idrogeologico da inondazioni e/o frane.

Dai dati provenienti dal rilevamento geologico di dettaglio, unitamente ai risultati delle indagini geognostiche e geotecniche, è stato possibile ricostruire dell'assetto litostratigrafico per profondità di 30-40 m ed estensione all'intera area portuale.

La prospezione SBP (sub bottom profiler) ha permesso, inoltre, il riconoscimento al top dei fondali di tasche di sabbia sciolta, prodotti dell'alterazione della calcarenite in posto, distribuiti dalle correnti lungo la costa.

Le informazioni ricavate alla scala di dettaglio confermano che le successioni stratigrafiche ricostruite in tutte le aree di pertinenze delle opere sono continue e che i limiti formazionali si mantengono abbastanza costanti, con giacitura piano parallela che degrada secondo direzione NNE-SSO.

L'assetto geologico-stratigrafico ipotizza un processo di sedimentazione abbastanza regolare, con una continuità stratigrafica e le giaciture dei limiti litologici sostanzialmente sub orizzontali, confermando di fatto il modello geo-strutturale della letteratura.

I caratteri geosismici, inoltre, attestano che il sottosuolo presenta sismo-strati a rigidità sismica generalmente crescente, sovrimposti al substrato argilloso per cui le caratteristiche geomeccaniche della successione migliorano con la profondità, anche se localmente in alcuni casi possono verificarsi delle inversioni di velocità V_s (m/sec) per la presenza in superficie di spessori fortemente cementati.

I profili delle velocità all'interno dei sismo-strati rilevati nelle varie aree di prospezione ST (vedi TAV B.03B Ubicazione indagini), comunque, ad esclusione della stazione di indagine ST1 corrispondente all'area di pertinenza della progettazione per l'allungamento del molo foraneo, non presentano condizioni tali da essere tenute in conto in quanto nel sottosuolo significativo sono da escludere modalità di propagazione delle onde sismiche tra strati continui tali da generare amplificazioni importanti del moto del terreno per fenomeni di impedenza. Per le considerazioni circa le problematiche di amplificazione sismica per il particolare assetto stratigrafico di ST1, l'analisi della risposta sismica locale dovrà essere condotta con approccio di livello superiore (RSL III livello); per contro, il sottosuolo della struttura portuale in alcuni casi può essere interessato da fenomeni di liquefazioni sotto scuotimento sismico, come ad esempio nei fondali di pertinenza del molo pescherecci, per la presenza di condizioni critiche (particolare granulometria e distribuzione, basso grado di addensamento, presenza di acqua); diversamente, i fondali e il sottosuolo della banchina della darsena turistica (stazioni ST4-ST5) non presentano caratteri geologico-tecnici tali da costituire potenziali inneschi per la liquefazione.

A fronte delle caratteristiche geologiche, geosismiche riscontrate l'area è da considerare come interessata a pericolosità sismica, fatto del resto confermato anche da studi recenti di microzonazione sismica (a piccola scala) che collocano la struttura portuale tra le aree a maggiore pericolosità sismica per l'amplificazione portata dalla presenza di lineazioni tettoniche potenzialmente attivabili a cui si aggiungono, per ultimo, sulla base delle recenti indagini a scala di dettaglio, situazioni locali di potenzialità alla liquefazione.

Il quadro conoscitivo della sismicità dell'area evidenzia con chiarezza l'elevata pericolosità dell'area a fronte di una relativamente modesta conoscenza delle strutture tettoniche.

Sulla base dei rilevamenti estesi oltre i confini della struttura portuale, le indagini geognostiche eseguite e i richiami alla bibliografia geologico - strutturale, si riconosce la sussistenza delle condizioni per ipotizzare la presenza di una lineazione tettonica collegabile a faglie attive e capaci e/o potenzialmente con ubicazione

riportata in Fig. 6 allegata alla presente relazione.

Nei luoghi che caratterizzano il sito di studio a monte (strada litoranea), i depositi superficiali del terrazzo, infatti, si evidenziano segni, deformate, gibbosità del terreno che, unitamente alle informazioni dedotte dai rilievi geologici effettuati nell'area darsena turistica, propendono per la presenza di tali strutture estese alle superfici significative dell'area di progetto.

Il sistema tettonico, originatosi in età quaternaria, è infatti collegabile alla formazione della struttura terrazzata di Le Castella (VI ordine), non risultando obliterato da depositi più recenti di 40 Ka, per cui si può ritenere che il sito rientra all'interno della fascia di attenzione dei 400 m per la potenziale riattivazione dell'energia sismica lungo le lineazioni ipotizzate (vedi TAV B.03C- Carta geologica).

Tuttavia, si ritiene necessario estendere le indagini eseguendo specifici rilievi geo-strutturali ai fini di una conoscenza approfondita della precisa collocazione spaziale del sistema di faglie a monte del bacino portuale, in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie.

Per quanto riguarda l'assetto morfologico locale, non sono da segnalare particolari forme della superficie che associano amplificazioni anche sensibili per effetto della focalizzazione delle onde sismiche.

Attraverso l'elaborazione dei dati delle prove sismiche effettuate viene individuata la categoria di sottosuolo di riferimento applicando la normativa D.M. 17 Gennaio 2018 "NTC Norme Tecniche per le Costruzioni"

Vista la presenza o meno del substrato sismico con velocità $V_{s,eq}$ inferiore e non a 800 m/sec per profondità ($H < 30$ m o > 30 m), si è calcolato un valore di $V_{s,eq}$ per ogni stazione di indagine, di seguito elencati:

- ST1 $V_{s,eq}$ (m/sec) = 748
- ST2 $V_{s,eq}$ (m/sec) = 523
- ST3 $V_{s,eq}$ (m/sec) = 517
- ST4 $V_{s,eq}$ (m/sec) = 419
- ST5 $V_{s,eq}$ (m/sec) = 492

per cui i tipi di suolo generalizzato all'intera struttura portuale, secondo Normativa NTC 17.01.2018, ricadono nella **Categoria 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 equivalenti compresi tra 360 m/s e 800 m/s"**

Visti i profili morfologici dei fondali e delle aree in affioramento (ST5) sui quali si attesteranno le fondazioni delle strutture previste, si dovrà fare riferimento alla **Categoria topografica T1: "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15° = 1.0."**

Le caratteristiche geomeccaniche dei terreni sono state determinate sulla scorta dell'analisi dei dati ottenuti dalle indagini geognostiche e geotecniche eseguite in corrispondenza delle stazioni di indagine dove saranno realizzati gli interventi.

Gli strati dei litotipi che andranno ad interferire con le strutture da realizzare si presentano sostanzialmente omogenei e continui con un crescente stato di addensamento con la profondità, localmente decrescente in coincidenza di cambiamenti di granulometria/facies, caratteristiche proprie della formazione calcarenitica, per cui comportano delle criticità da porre in evidenza; queste condizioni sono collegate principalmente allo spessore sabbioso sciolto che si estende a tutto il sottosuolo dei fondali del molo pescherecci, per il suo comportamento sotto sollecitazione tellurica che facilmente si estremizza in liquefazione.

Le opere di fondazione dei pontili (palificate in ST2-ST3-ST4) dovranno, di conseguenza, tenere conto della criticità portate dallo strato sabbioso sciolto (ST2-ST3) o dello strato dalla scarsa consistenza posto all'interfaccia calcarenite/argilla (ST4), per cui lo stesso va superato per immorsarsi negli strati più consistenti posti in profondità, in modo da dare garanzia di tenuta sotto carico sia in condizioni statiche che dinamiche.

Gli effetti conseguenti ad eventuali sollecitazioni sismiche, infatti, influiscono sulle condizioni di stabilità delle opere interagenti per cui in questi casi è necessario procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire i carichi a strati in profondità che non presentano suscettibilità alla liquefazione come, nei casi in esempio, alle argille marnose di base o negli orizzonti sabbiosi più consistenti in profondità, nei fondali.

Nell'area di sedime destinata alla stazione marittima (stazione ST5) sono presenti differenti condizioni geologico-tecniche definite dalla sola presenza in profondità di strati argillosi dal diverso stato di consistenza;

qui, lo strato superficiale è interessato a fenomeni di alterazione naturale e da plasticizzazione della componente limo argillosa dovuta all'umidità ed agli stress portati dai cicli stagionali di essiccazione/rigonfiamento, mentre in profondità non sono state riconosciute presenze idriche per impantamento o falde acquifere; l'informazione risulta utile per le necessarie considerazioni in sede esecutiva dello scavo, per le verifiche di tenuta delle pareti e per le indicazioni nelle modalità di impermeabilizzazione della fondazione. La composizione granulometrica del terreno a diretto contatto con la fondazione è costituita da limo con argilla sabbioso, fino a oltre 30 m dal p.c., costituendo nell'orizzonte a diretto contatto con la fondazione un terreno dalla discreta capacità di tenuta sotto carico e compressibilità contenuta per cui eventuali cedimenti nel tempo dovuti alla presenza del terreno argilloso potranno essere dissipati dalla rigidità della fondazione che può adattarsi reagendo con deformazioni di tipo visco-plastico.

Gli strati geologici caratterizzati si presentano sostanzialmente omogenei e continui, a luoghi con variazioni laterali delle caratteristiche litologiche e geomeccaniche, risultando così poco probabile la possibilità che si possano verificare cedimenti differenziali, quanto più i carichi saranno distribuiti nel sottosuolo.

Per le particolarità geologico-tecniche riscontrate va evidenziato che il terreno superficiale si presenta rimaneggiato e con scarsa consistenza e, conseguentemente, con una bassa capacità di tenuta sotto carico, per cui dovrà essere rimosso, migliorato alla base mediante compattazione e, se è il caso, ricaricato con terreno granulare prima posare la fondazione. Per queste considerazioni, l'opera di fondazione superficiale dovrà essere impostata a profondità di almeno di 1.0 – 1.5 m dal p.c. attuale in modo da superare lo strato superficiale rimaneggiato.

Nel caso di scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di personale, e per scavi che ricadano in prossimità del manufatto esistente posto in adiacenza all'area di sedime, deve essere previsto un progetto che adotti una struttura di sostegno delle pareti di scavo.

Durante la movimentazione del terreno, infine, si dovrà provvedere a realizzare superfici/solchi provvisori dotati di pendenza in modo da allontanare le acque meteoriche che precipitano o convergono in prossimità dello scavo.

Un altro aspetto importante circa le problematiche dell'interazione terreno - struttura riguarda il comportamento del sistema sotto sollecitazione tellurica; in caso di sisma, possono manifestarsi accelerazioni orizzontali di una certa intensità per cui occorre prevedere un orizzontamento strutturale della fondazione resistente alle forze sismiche e tali da impedire spostamenti.

Per le opere accessorie previste non si rilevano particolari criticità nell'interazione delle strutture previste con i terreni, visti i carichi, la tipologia di fondazione, l'estensione e le funzionalità. L'area di sedime può essere interessata da edificabilità adottando le normali tecniche costruttive, con le dovute precauzioni e gli interventi ammissibili.

Di seguito sono riportati osservazioni e suggerimenti e indicazioni di massima per la posa in opera:

- **Strada di accesso:** Il terreno vegetale limoso non offre le necessarie garanzie se usato come fondo stradale a causa dei fenomeni di ritiro e rigonfiamento ai quali è sottoposto. Di conseguenza, è opportuno sostituire con materiale sabbioso a basso contenuto argilloso, previa asportazione dello stesso spessore; diversamente, si può costipare con rulli compressori lo stesso terreno di superficie

prima di adagiare terreno misto a ghiaia e sabbia in modo da contrastare la risalita capillare del terreno di fondazione. Vista l'opera, si può posare uno spessore opportuno e, come base si può adoperare, se è il caso, una massicciata. Ai bordi, infine, dovranno essere predisposti i canali di carreggiata per l'incanalamento e allontanamento.

- **Magazzino manutenzione:** realizzato in struttura leggera se posato direttamente sulla pavimentazione della banchina, lato sud ovest della darsena turistica, sarà sufficiente un ancoraggio di superficie; diversamente, se posato in profondità, dovranno essere migliorate le caratteristiche di compattazione del terreno posto sotto la pavimentazione, se è il caso anche con ricarica di materiale inerte, prima di adagiare le fondazioni. Le caratteristiche di portanza offrono le necessarie garanzie di tenuta sotto carico;
- **Anfiteatro:** la struttura sarà ricavata dallo sterro della nuda roccia in affioramento e rinterro a valle per regolarizzazione quote. Il terreno di base non dovrà contenere argilla nel qual caso dovrà essere sostituito con materiale inerte classato opportunamente compattato prima di posare la pavimentazione.
- **Percorso pedonale:** nella profilatura del sentiero, in caso di movimentazione del terreno e riprofilatura delle quote, saranno necessarie opere di compattazione per garantire la tenuta del calpestio, principalmente nei tratti scoscesi.
- **Opere accessorie (opzionali):** in caso di adozione di muri di contenimento (es. a monte di stazione marittima), dovrà essere eseguita la verifica di stabilità d'insieme muro/terreno; occorrerà evitare eventualmente accumuli d'acqua a tergo che ne aumenterebbero la spinta per cui andranno dimensionati dei drenaggi e, a seconda che il terrapieno risulti più o meno permeabile, disporre delle feritoie al suo piede (ogni 2-3 m), anche al di sopra se il muro supera una certa altezza. In caso di utilizzo di terrapieni poco permeabili si dovrà predisporre apposito dreno inclinato per l'allontanamento dell'acqua al suo interno. Alla base si dovrà, invece, posare un cuscino di materiale grossolano (sabbia mista a ghiaia), sistemato sotto il muro in modo da facilitare l'allontanamento delle sovrappressioni dell'acqua ed aumentare così la stabilità.

Maggiori ragguagli circa le problematiche geologiche riscontrate sono trattate all'interno degli specifici paragrafi dedicati.

In conclusione, gli studi e le ricerche sull'area della struttura portuale non hanno evidenziato elementi di giudizio tali da precludere la fattibilità delle opere, per cui il terreno di studio può essere interessato da edificabilità; le particolari problematiche geologico-tecniche riscontrate, infatti, possono essere superate ponendo le dovute attenzioni al fine di evadere le prescrizioni/osservazioni precedentemente indicate.

Infine, si raccomanda di avvalersi dell'assistenza di un geotecnico (geologo o ingegnere) in sede esecutiva, con particolare riguardo alla fase di scavo e la posa delle opere di fondazione, al fine di consentire una verifica ed un puntuale accertamento delle caratteristiche geologico – tecniche dei terreni fondali e, conseguentemente, consentire un miglioramento nelle scelte delle procedure esecutive.

Poste le dovute attenzioni alle problematiche testé richiamate, si conclude che il sito risulta idoneo ad ospitare le opere previste dal progetto.





COMUNE DI ISOLA DI CAPO RIZZUTO

Provincia di Crotone



POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL PORTO REGIONALE DI LE CASTELLA

Progetto Definitivo-Esecutivo

B. RILIEVI E INDAGINI

B.03A

PLANIMETRIA AREA

Data:
15-01-2021

Scala:

PROGETTAZIONE:



Ingegnere
DOMENICO CONDELLI

PROJECT MANAGER

Ing. Antonino SUTERA

PROGETTISTI

ing. Davide Ferlazzo
ing. Domenico Condelli
arch. Pasquale Billari
ing. Giuseppe V. Racco
ing. Achille Tricoli
ing. Roberta C. De Clario
GEOLOGO
geol. Francesco Scerra

GRUPPO DI LAVORO

ing. Simone Fiumara
arch. Rossella Faralla
arch. Erica Pipitò
arch. Roberto Lembo

Architetto
PASQUALE BILLARI

Ingegnere
GIUSEPPE V. RACCO

Ingegnere
ACHILLE TRICOLI

Geologo
FRANCESCO SCERRA

REVISIONI			
Rev. n°	Data 15.01.21	Motivazione	

R.U.P.	Visti/Approvazioni
ing. Antonio Otranto	

Codice elaborato: TAV B.03A_Planimetria area.dwg





COMUNE DI ISOLA DI CAPO RIZZUTO
Provincia di Crotone



**POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE
DEL PORTO REGIONALE DI LE CASTELLA**

Progetto Definitivo-Esecutivo

B. RILIEVI E INDAGINI

B.03B

UBICAZIONE INDAGINI

Data: **15-01-2021**
Scala:

PROGETTAZIONE:



Architetto
PASQUALE BILLARI
Ingegnere
ACHILLE TRICOLI

Ingegnere
DOMENICO CONDELLI

Ingegnere
GIUSEPPE V. RACCO

Geologo
FRANCESCO SCERRA

PROJECT MANAGER

Ing. Antonino SUTERA

PROGETTISTI

ing. Davide Ferlazzo
ing. Domenico CondeLLi
arch. Pasquale Billari
ing. Giuseppe V. Racco
ing. Achille Tricoli
ing. Roberta C. De Clario
GEOLOGO
geol. Francesco Scerra

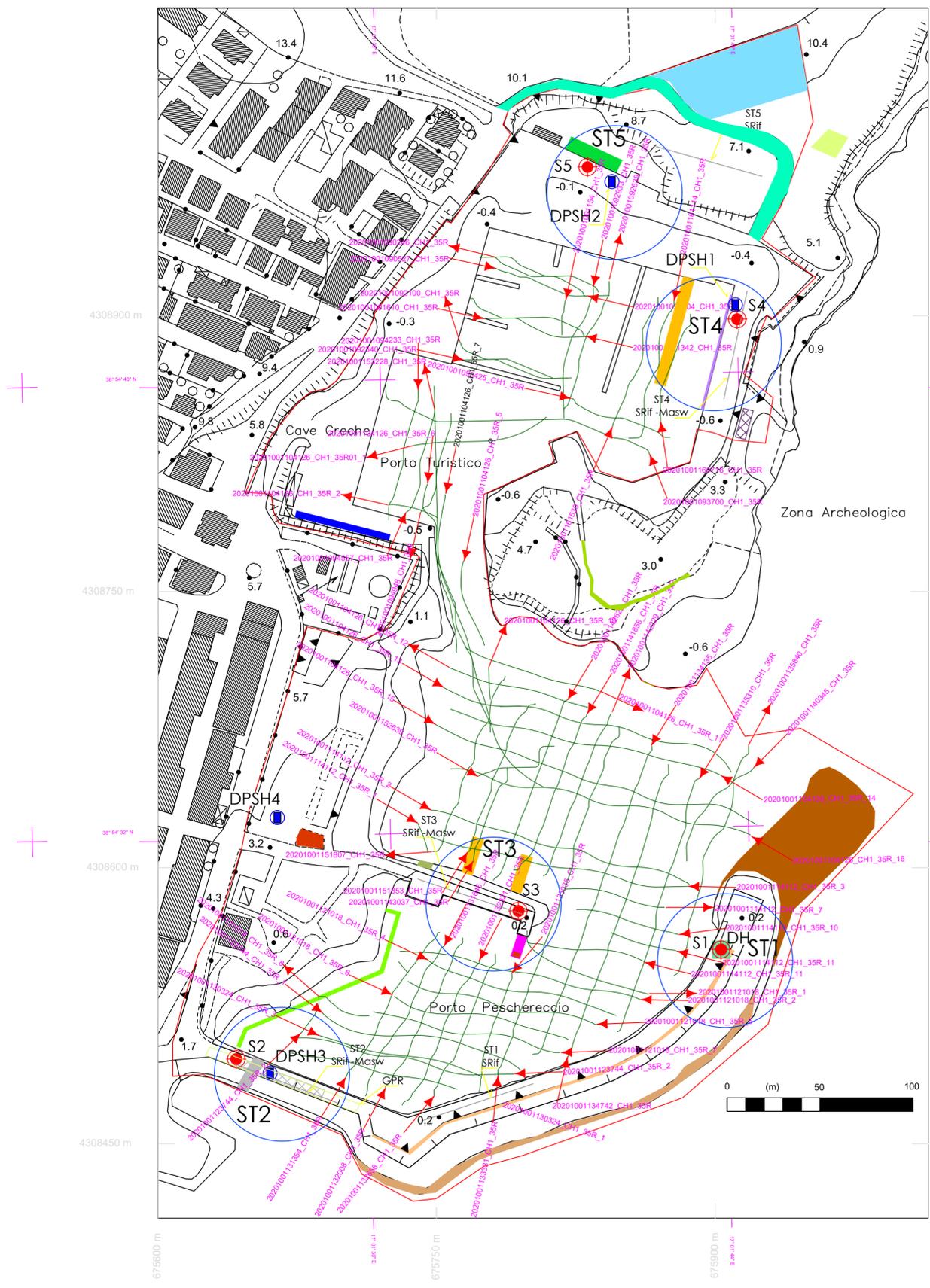
GRUPPO DI LAVORO

ing. Simone Fiumara
arch. Rossella Faralla
arch. Erica Pipitò
arch. Roberto Lembo

REVISIONI	Rev. n°	Data	Motivazione

R.U.P.	Visti/Approvazioni

ing. Antonio Otranto
Codice elaborato: TAV B.03B Ubicazione indagini.dwg



Area interventi

-  Stazioni di indagini
-  Sondaggi a carotaggio continuo
-  DPSH (Dynamic Penetrometer Super Heavy)
-  Prova Down Hole
-  Stendimenti prove sismiche Masw - Sismica a rifrazione SRif
-  GPR (Ground Penetrating Radar)
-  Sub Bottom Profiler (Tracce/Direzione Navigazioni)

- Intervento 1.1 - Berme esterne 
- Intervento 1.3 - Coronamento muro paraonde 
- Intervento 1.4 - Allungamento molo 
- Intervento 1.6 - Sistemazione molo sottoflutto 
- Intervento 1.7 - Pontile su pali 
- Intervento 2.1 - Dragaggio porto turistico
- Intervento 2.2 - Sistema chiusura prese a mare
- Intervento 2.4 - Sistemazione pontili 
- Intervento 3.1 - Stazione distribuzione carburanti e impianto 
- Intervento 3.2 - Realizzazione scarico acque di sentina
- Intervento 3.3 - Realizzazione stazione marittima 
- Intervento 3.5 - Area manutenzione 
- Intervento 3.6 - Percorso naturalistico 
- Intervento 3.7 - Area parcheggio 
- Intervento 3.8 - Anfiteatro 
- Intervento 3.9 - Strada di accesso 



COMUNE DI ISOLA DI CAPO RIZZUTO
Provincia di Crotone



**POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE
DEL PORTO REGIONALE DI LE CASTELLA**

Progetto Definitivo-Esecutivo

B. RILIEVI E INDAGINI

B.03C

CARTA GEOLOGICA

Data:
15-01-2021
Scala:

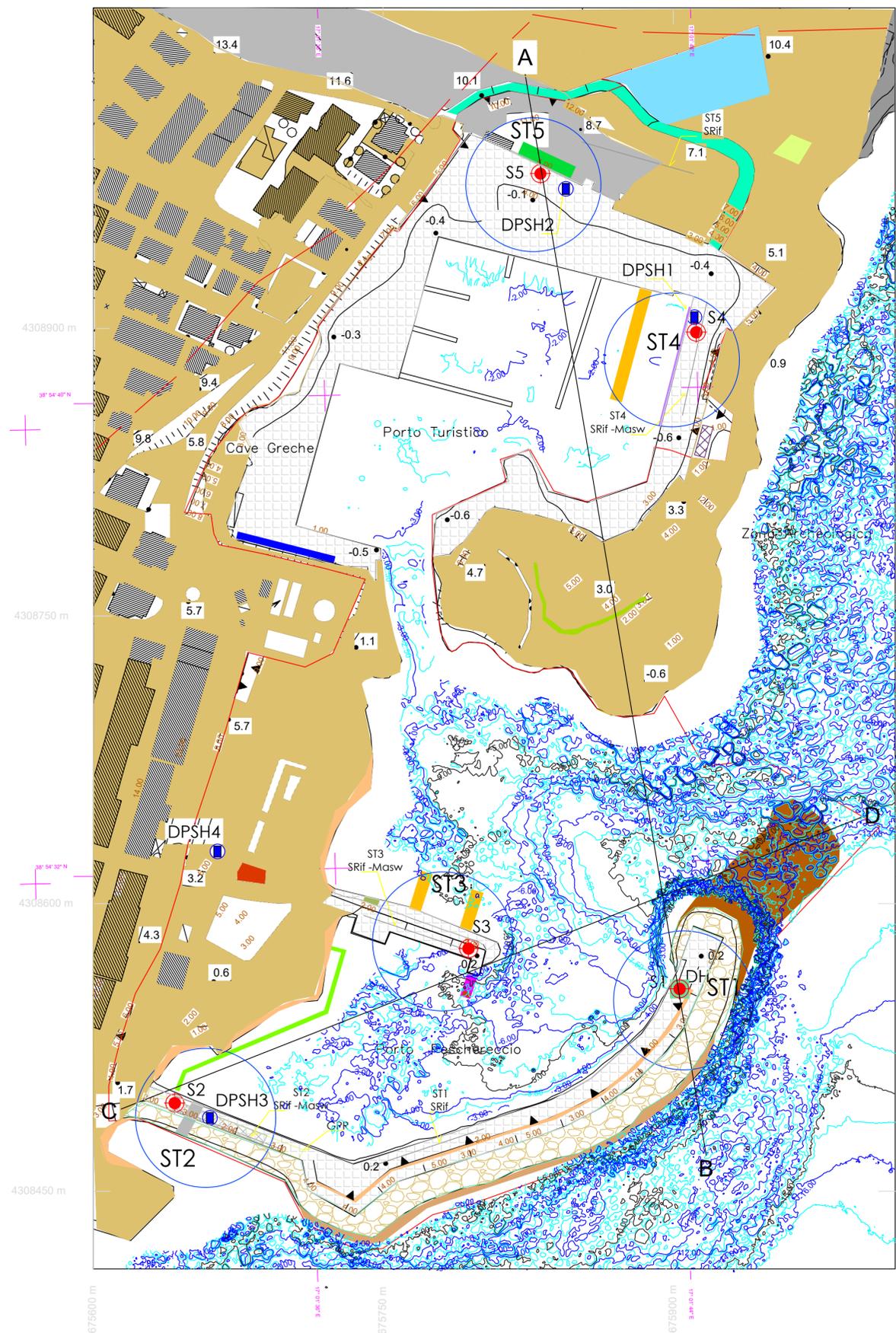
PROGETTAZIONE:

INGEGNERE	PROJECT MANAGER	PROGETTISTI	GRUPPO DI LAVORO
DINAMICA Ingegnere DOMENICO CONDELLI	Ing. Antonino SUTERA	ing. Davide Ferlazzo ing. Domenico Condelli arch. Pasquale Billari ing. Giuseppe V. Racco ing. Achille Tricoli	ing. Simone Fiumara arch. Rossella Faralla arch. Erica Pipitò arch. Roberto Lembo
Architetto PASQUALE BILLARI Ingegnere ACHILLE TRICOLI	Ingegnere GIUSEPPE V. RACCO Geologo FRANCESCO SCERRA	ing. Achille Tricoli ing. Roberta C. De Clario GEOLOGO geol. Francesco Scerra	

REVISIONI	Rev. n°	Data	Motivazione
		15.01.21	

R.U.P.	Visti/Approvazioni
ing. Antonio Otranto	

Codice elaborato: TAV B.03C_Carta geologica.dwg



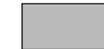
Banchina portuale (Attuale)



Opere marittime
(Pietrame di base, accropodi) (Attuale)



Depositi di spiaggia (Attuale)



Argille alterate (Recente)



Depositi marini terrazzati -
(Pleistocene sup. - Neotirreniano)



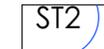
Argille marnose (Formazione di Cutro)
(Pliocene medio sup. - Calabriano)



Traccia sezione geologica



Faglia presunta



Stazioni di indagini



Sondaggi a carotaggio continuo



DPSH (Dynamic Penetrometer Super Heavy)



Prova Down Hole



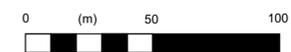
Stendimenti prove sismiche Masw - Sismica a rifrazione SRif



GPR (Ground Penetrating Radar)

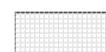


Area interventi

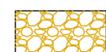




Opere marittime (accropodi)



Banchina portuale (ghiaia e blocchi calcarenitici di varia pezzatura in cemento magro)



Massi calcarenitici, blocchi in matrice ghiaioso - sabbiosa (pietrame di base)



Calcarenite biocostruita variamente cementata, a luoghi massiva, con livelli sabbiosi colore giallastro a luoghi ghiaiosi (ciottoli calcarenitici arrotondati), in alternanza con arenarie cementate a livelli (Formazione terrazzo marino di Le Castella)



Sabbia ghiaiosa, colore grigio



Limo con argilla sabbioso, colore grigio o varicolori con a luoghi blande venature avana, rara presenza di noduli carboniosi (Formazione argilla marnosa di Cutro - alterazione superficiale)



Limo con argilla sabbioso, colore grigio, presenza di noduli e venature carboniose, fossili lamellibranchi (Formazione argille marnose di Cutro)



Stazioni di indagini



Sondaggi a carotaggio continuo



DPSH (Dynamic Penetrometer Super Heavy)



Prova Down Hole



Stendimenti prove sismiche Masw - Sismica a rifrazione SRif



COMUNE DI ISOLA DI CAPO RIZZUTO
Provincia di Crotone



POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE
DEL PORTO REGIONALE DI LE CASTELLA

Progetto Definitivo-Esecutivo

B. RILIEVI E INDAGINI

B.03D SEZIONE GEOLOGICA A-B

Data: 15-01-2021
Scala:

PROGETTAZIONE:

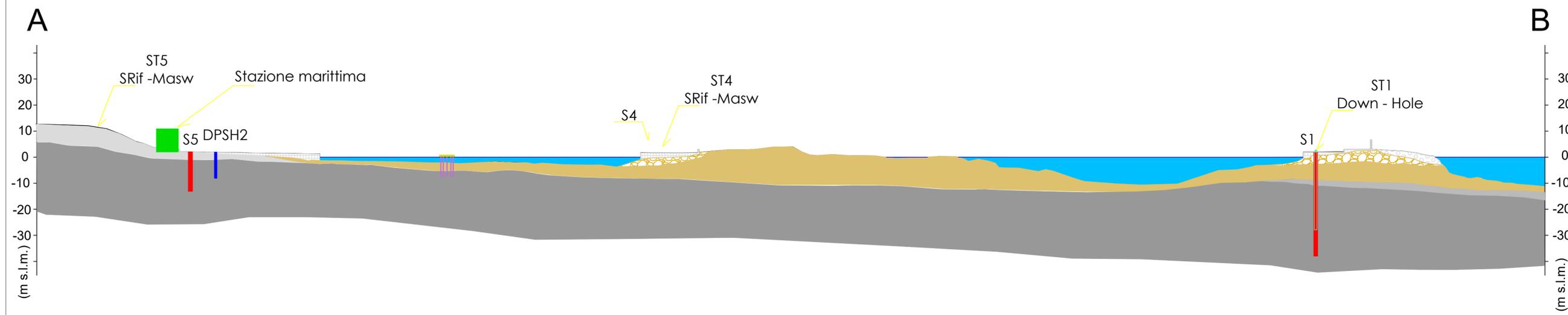
	Ingegnere DOMENICO CONDELLI	PROJECT MANAGER Ing. Antonino SUTERA	PROGETTISTI ing. Davide Ferlazzo ing. Domenico CondeLLi arch. Pasquale Billari ing. Giuseppe V. Racco ing. Achille Tricoli ing. Roberta C. De Clario	GRUPPO DI LAVORO ing. Simone Fiumara arch. Rossella Faralla arch. Erica Pipitò arch. Roberto Lembo
Architetto PASQUALE BILLARI	Ingegnere GIUSEPPE V. RACCO	Geologo FRANCESCO SCERRA	GEOLOGO geol. Francesco Scerra	

REVISIONI	Rev. n°	Data	Motivazione
		15.01.21	

R.U.P. Visti/Approvazioni

ing. Antonio Otranto

Codice elaborato: TAV B.03D_Sez geologicaAB.dwg

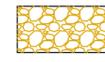




Opere marittime (accropodi)



Banchina portuale (ghiaia e blocchi calcarenitici di varia pezzatura in cemento magro)



Massi calcarenitici, blocchi in matrice ghiaioso - sabbiosa (pietrame di base)



Calcarenite biocostruita variamente cementata, a luoghi massiva, con livelli sabbiosi colore giallastro a luoghi ghiaiosi (ciottoli calcarenitici arrotondati), in alternanza con arenarie cementate a livelli (Formazione terrazzo marino di Le Castella)



Sabbia ghiaiosa, colore grigio



Limo con argilla sabbioso, colore grigio, presenza di noduli e venature carboniose, fossili lamellibranchi (Formazione argille marnose di Cutro)



Stazioni di indagini



Sondaggi a carotaggio continuo



DPSH (Dynamic Penetrometer Super Heavy)



Stendimenti prove sismiche Masw - Sismica a rifrazione SRif



GPR (Ground Penetrating Radar)

COMUNE DI ISOLA DI CAPO RIZZUTO
Provincia di Crotone

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL PORTO REGIONALE DI LE CASTELLA

Progetto Definitivo-Esecutivo

B. RILIEVI E INDAGINI

B.03E SEZIONE GEOLOGICA C-D

Data: 15-01-2021
Scala:

PROGETTAZIONE:

DINAMICA Ingegnere DOMENICO CONDELLI	PROJECT MANAGER Ing. Antonino SUTERA	PROGETTISTI ing. Davide Ferlazzo ing. Domenico Condelli arch. Pasquale Billari ing. Giuseppe V. Racco ing. Achille Tricoli ing. Roberta C. De Clario	GRUPPO DI LAVORO ing. Simone Fiumara arch. Rossella Faralla arch. Erica Pipitò arch. Roberto Lembo
Architetto PASQUALE BILLARI	Ingegnere GIUSEPPE V. RACCO	GEOLOGO geol. Francesco Scerra	
Ingegnere ACHILLE TRICOLI	Geologo FRANCESCO SCERRA		

REVISIONI	Rev. n°	Data	Motivazione

R.U.P. Visti/Approvazioni

ing. Antonio Otranto

Codice elaborato: TAV B.03E Sez geologica CD.dwg

